

TNO-rapport

**Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT)
van kunststofafval**

Referentienummer 92-448
Dossiernummer 112326-23411
Datum februari 1993
NP

Auteurs
Dr.Ir. F. van den Aarsen Nesraad B.V.
Ir. H.M.G. Temmink IMET-TNO

Bestemd voor
NOH NOVEM/RIVM
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Nederlandse organisatie voor
toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek

TNO-Milieu en Energie stelt zich ten doel om, gebaseerd op
de noodzaak van een duurzame ontwikkeling van de
maatschappij, door middel van onderzoek en advisering bij te
dragen aan een goed milieubeheer, een verantwoord
energiegebruik en een doelmatig beheer en gebruik van de
ondergrondse natuurlijke hulpbronnen.

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO,
zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank
en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

**Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT)
van kunststofafval**

Referentienummer 92-448
Dossiernummer 112326-23411
Datum februari 1993
NP

Auteurs
Dr.Ir. F. van den Aarsen Nesraad B.V.
Ir. H.M.G. Temmink IMET-TNO

Bestemd voor
NOH NOVEM/RIVM
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Samenvatting

Door NOVEM is in het kader van het NOH aan Nesraad/TNO opdracht verleend voor het uitvoeren van een studie naar de HTV (hoge temperatuur vergassing) van kunststofafval. Bij de vergassing wordt stookgas met een calorische waarde van circa 4000 kJ/m^3_0 verkregen als lucht als vergassingsmedium wordt gebruikt, als zuivere zuurstof wordt gebruikt syngas met een calorische waarde van circa 10.000 kJ/m^3_0 .

Doel van de studie was na te gaan of dit voor de Nederlandse situatie een interessante optie is voor het verwerken van dit afval. Hierbij lag de nadruk op de productie van syngas omdat dit i.t.t. stookgas geschikt is als grondstof en dus hergebruik mogelijk maakt.

Conform het projectvoorstel werd de studie als volgt uitgevoerd:

De laatste stand van zaken op het gebied van vergassen werd nagegaan via een literatuurstudie en directe contacten met potentiële leveranciers van vergassers. De hoeveelheid kunststofafval werd geïnventariseerd. Op basis van deze hoeveelheid werd berekend hoeveel stookgas dan wel syngas geproduceerd kan worden. Via contacten met de industrie werd nagegaan hoeveel syngas zou kunnen worden afgezet en welke eisen aan de zuiverheid worden gesteld. De mogelijkheden om de as af te zetten werden globaal beoordeeld. Tenslotte werd een schatting gemaakt van de kosten van vergassen ten opzichte van verbranden.

Het resultaat van de studie is:

Gebleken is dat HTV van **alleen** polymeer afval niet in de literatuur is beschreven. Ook bij de bedrijven die benaderd zijn is dit niet uitgevoerd. Er zijn wel plannen in die richting (zoals bij Texaco en Shell).

De evaluatie van de diverse HTV vergassingssystemen op hun geschiktheid voor het vergassen van polymeer afval kan derhalve niet geschieden op basis van experimentele gegevens daarover. Uit de beschrijvingen over vergassing van allerlei afvalmateriaal kan echter worden geconcludeerd dat de vergassers zonder meer puur kunststofafval zullen kunnen vergassen. De voeding echter is hierbij als probleemgebied geïdentificeerd. Bij de CWB en vooral bij de entrained bed vergassers moet de voeding verkleind worden dan wel vloeibaar worden gemaakt. Ook bij de schacht vergassers dient aan de voeding veel aandacht te worden besteed om te voorkomen dat de toevoer door smelten van het kunststofafval verstopt. Enkele in bedrijf geweest zijnde vergassingsplants zijn om economische redenen gestopt (Funabashi, HTW in Finland). Voor zover bekend is alleen bij VAI Oostenrijk het onderzoek om (nog niet geheel duidelijke) technische redenen gestopt.

Ook voor de midden temperatuur vergassingssystemen geldt dat de voeding als probleemgebied wordt gezien. Kenmerkend verschil met de HTV systemen is dat de as niet door het smeltpunt is geweest en daardoor naar verwachting een slechter uitlooggedrag zal vertonen. Het is echter niet uitgesloten dat de combinatie MTV met een verglazing van de as concurrerend zal zijn met HTV, omdat de verglazing steeds goedkoper uitgevoerd kan worden.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

Mits eventuele voedingsproblemen zijn opgelost kan de vergassing als een omni-voor proces worden beschouwd in vergelijking met andere technieken voor recycling van kunststofafval zoals back to monomer en back to feedstock waar eisen aan de samenstelling van de voeding moeten worden gesteld.

De gasreiniging zal bij het vergassen van kunststofafval mogelijk eenvoudiger zijn dan bij kolenvergassing of vergassing van gemengd afval waar verwijdering van stof, zwavel (H_2S) en zure gassen noodzakelijk is. In kunststof zit slechts weinig zwavel waardoor een zwavelverwijderingsstap mogelijk kan vervallen.

Naast de technische mogelijkheden van hoge temperatuur vergassing zijn ook de economische randvoorwaarden nagegaan zoals de mogelijke afzet van het te produceren syngas en de kosten.

De potentiële afzetmogelijkheden van het syngas zijn aanmerkelijk groter dan de hoeveelheid die bij vergassing van kunststofafval geproduceerd kan worden. Geconcludeerd wordt dan ook dat de zuiverheid en prijs voor deze afzet bepalend zullen zijn. Het blijkt dat bij een gate-fee van f 200/ton afval, een prijs van f 190/ton voor de opbrengst van het geproduceerde syngas, en een investering van f 3200 per ton verwerkingscapaciteit per jaar een terugverdientijd van 8 à 10 jaar mogelijk is. De genoemde prijzen zijn relatief laag voor de opbrengst en hoog voor de investering, met andere woorden er is conservatief gerekend; ter vergelijking: voor een nieuw te bouwen AVI (AfvalVerbrandingsInstallatie) geldt een investering van f 1400/ton verwerkingscapaciteit per jaar en een terugverdientijd die gelijk is aan de levensduur van de installatie (circa 25 jaar).

De resultaten van de economische evaluatie zijn vergeleken met gegevens van NSC (Nippon Steel Corporation) uit Japan en van Exxon uit België. NSC vraagt een gate-free van 98 \$/ton; dit komt goed overeen met de bovengenoemde gate-free. Exxon berekent een gate-free tussen de DM 200,- en DM 600,-. Onbekend is op basis van welke uitgangspunten deze gate-fee berekend is. Om deze getallen met boven berekende gate-free van f 200/ton te kunnen vergelijken, is daarom meer informatie over de berekeningswijze van Exxon nodig.

Concluderend: de mogelijkheden van de vergassingsroute ten behoeve van de verwerking van polymere afvalstoffen lijken zowel technisch als financieel veelbelovend.

Op basis van voorgaande eindconclusie is het aan te bevelen om het vergassings-alternatief voor de verwerking van polymere afvalstoffen nader uit te werken met als doel om een implementatie op industriële schaal te bewerkstelligen. Hiertoe kan het volgende ontwikkelingspad bewandeld worden:

- A. Inventarisatie van het potentieel draagvlak voor de vergassingsoptie in Nederland middels een voorbereidende studie; de opdracht hiervoor is inmiddels door Senter aan TNO/Nesraad verleend;
- B. Een workshop met vertegenwoordigers van industrie en overheid, met als doel een go/no go beslissing omtrent de wenselijkheid van en de structuur voor de ontwikkeling van de vergassingsoptie;
- C. Identificatie van bottle necks en definiëring van een technisch ontwikkelingsprogramma;
- D. Ontwikkeling van een conceptprogramma met fasering van een pilot- en demonstratie fase tot implementatie op industriële schaal.

Lijst van afkortingen

AVI	Afvalverbrandingsinstallatie
CWB	Circulerend wervelbed
HTV	Hoge temperatuur vergassing ($T > 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$)
HTW	Hoch Temperatur Winkler verfahren
IMET	Instituut voor Milieu en Energie Technologie - TNO
KV	Kolenvergassing
KWD	Kantoor Winkel Diensten
MTV	Midden temperatuurvergassing ($T \approx 950\text{ }^{\circ}\text{C}$)
NOH	Nationaal onderzoekprogramma hergebruik van afvalstoffen
NOVEM	Nederlandse Maatschappij voor Energie en Milieu
PAV	Polymeer afvalvergasser
PCB	Polychloorbifenylen
POT	Pay out time (terugverdientijd)
PWMI	Plastic Waste Management Institute
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
ROI	Rookgasontzwavelingsinstallatie
SGP	Shell gasification process
STEG	Stoom en gasturbine eenheid
TGP	Thermal processes Studsvik
VAI	Voest Alpine Industrie Anlagbau

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Lijst van afkortingen	4
1	Inleiding	7
1.1	Algemeen	7
1.2	Uitvoering	8
1.3	Indeling van het rapport	8
2	Vergassingssystemen	9
2.1	HTV – Hoge Temperatuur Vergassing	9
2.1.1	Het HTV-proces van VAI (Voest Alpine Industrie Anlagebau) [1, 2]	9
2.1.2	Het TGP (Texaco Gasification Process) [4]	10
2.1.3	HTV systemen in Japan [5, 6]	11
2.1.4	Het SGP (Shell Gasification Proces) [8]	12
2.2	MTV–Midden Temperatuur Vergassing	13
2.2.1	Circulerend wervelbed (CWB) (Lurgi) [9, 10]	13
2.2.2	Het CWB systeem van Oy Bioflow AB (Ahlstrom en Sydkraft) [11]	14
2.2.3	Het CWB systeem van TPS (Thermal Processes) v.h. Studsvik Energy [12]	15
2.2.4	Het HTW (Hochtemperatur Winkler) procédé [13, 14]	16
3	Resultaten	17
3.1	Evaluatie van de vergassingssystemen voor vergassing van kunststofafval	17
3.2	Inventarisatie kunststofafval	18
3.3	Gebruik van en eisen aan het syngas c.q. stookgas	19
3.4	Berekening van de verwachte samenstelling van stookgas en syngas	20
3.5	Evaluatie van de produktie en afzet van syngas en stookgas	21
3.6	Vergassen met lucht dan wel zuurstof mede in relatie tot drukgasvergassing	22
3.7	De mogelijke structuur van grootschalig vergassen in Nederland	22
3.8	Toepassingsmogelijkheden van de slak	23
3.8.1	Samenstelling van de HTV-slakken	23
3.8.2	Uitlooggedrag van HTV-slakken	24
3.8.3	Vergelijking kolomtest (NEN 7343) en Duitse uitloogtest (DIN 38 414 S4)	25
3.8.4	Vergelijking uitloging HTV-slakken, AVI-assen en KV-slakken	27
3.8.5	Toepassingsmogelijkheden	28
3.9	Economische evaluatie	30

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

4	Conclusies en aanbevelingen	33
4.1	Conclusies.....	33
4.2	Aanbevelingen	34
5	Literatuur	35
6	Verantwoording	39

Figuren

1	<i>Het HTV proces van VAI</i>	
2	<i>Het HTV proces van Texaco (TGP)</i>	
3	<i>Het HTV proces van Nippon Steel</i>	
4	<i>Details van het HTV proces van Nippon Steel</i>	
5	<i>Het HTV proces van Shell (SGP)</i>	
6	<i>Afvalvoorbewerking bij het MTV proces van Lurgi</i>	
7	<i>Het MTV proces van Lurgi</i>	
8	<i>Gasreiniging bij het MTV proces van Lurgi</i>	
9	<i>Het MTV proces van Oy Bioflow</i>	
10	<i>Het MTV proces van TPS</i>	
11	<i>Het MTV (Winkler) proces van Rheinbraun, Lurgi, Uhde</i>	
12	<i>Mogelijk gebruik van synthese-gas</i>	
13	<i>Economische evaluatie: gevoeligheid van de POT voor de investeringskosten bij produktie van syngas</i>	
14	<i>Economische evaluatie: gevoeligheid van de POT voor de gate-fee bij produktie van syngas</i>	
15	<i>Economische evaluatie: gevoeligheid van de POT voor de syngasprijs bij produktie van syngas</i>	
16	<i>Schema van de PAV-STEg</i>	
17	<i>Economische evaluatie: gevoeligheid van de POT voor de investeringskosten bij een PAV-STEg</i>	
18	<i>Economische evaluatie: gevoeligheid van de POT voor de gate-fee bij een PAV-STEg</i>	
19	<i>Economische evaluatie: gevoeligheid van de POT voor de elektriteitsprijs bij een PAV-STEg</i>	
20	<i>Kostenoverzicht voor recycling van plastic afval</i>	

Bijlage 1 tot en met 8

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Door NOVEM is aan Nesraad/TNO opdracht verleend voor het uitvoeren van een studie naar de HTV (hoge temperatuur vergassing) van kunststofafval. Doel van de studie is na te gaan of dit voor de Nederlandse situatie een interessante optie is.

De produktie van syngas (dat wil zeggen recycling) is het uitgangspunt. Mocht syngasproduktie om welke reden dan ook niet zinvol blijken te zijn, dan kan de produktie van stookgas worden overwogen omdat ook dan vrijwel alle hierna genoemde voordelen van vergassing ten opzichte van verbranding geldig blijven.

De voordelen van vergassing ten opzichte van verbranding zijn:

- Bij vergassing ontstaan doordat er reducerende omstandigheden heersen vrijwel zeker geen dioxines;
- De te reinigen gashoeveelheid is aanzienlijk kleiner dan bij verbranding; de gasreinigingstrein is dus kleiner en goedkoper. De gasreiniging kan ook efficiënter gebeuren; dit is gewenst omdat een goede verwijdering van Cl⁻ nodig is om bij de verbranding van het stookgas ‘de novo’ synthese van dioxines te voorkomen;
- Het totale rendement van een PAV-STEG (polymeer afval vergasser STEG) combinatie zal hoger zijn dan van een verbrandingsinstallatie. Dit houdt verband met;
 - De noodzakelijke beperking in de stoomtemperatuur bij de verbranding in verband met corrosie door chloride;
 - De noodzakelijk beperking in verbrandingstemperatuur in verband met de toelaatbare roostertemperatuur;
 - De aanzienlijk lagere luchtvermaat waarmee het geproduceerde gas kan worden verbrand dan het huisvuil;
- Door het hogere rendement is de CO₂ emissie relatief gezien lager;
- Er is geen kostbare NO_x verwijderingsinstallatie nodig; het gas kan in Low NO_x-branders of -gasturbines (NO_x ≤ 9 ppm) verbrand worden;
- Er van uitgaande dat **hoge** temperatuur vergassing (zoals in deze studie omschreven) wordt toegepast, ontstaat als restprodukt een verglaasde slak die vrijwel zeker zonder problemen als (wegen)bouwstof kan worden gebruikt;
- Het gas is te distribueren; het kan eventueel in het gasnet worden bijgemengd;
- Syngas is een bouwstof voor de chemische industrie;
- Indien HTV (temperatuur > 1300 °C) wordt toegepast, zijn voor chemisch afval geen aparte draaitrommelovens nodig; het chemisch afval kan in de HTV meevergast worden.

1.2 Uitvoering

Conform het projectvoorstel (bijlage 1) werd de studie in de volgende fasen uitgevoerd:

- A. Literatuurstudie;
- B. Inventarisatie kunststofafval;
- C. Gebruik en eisen aan het syngas c.q. stookgas;
- D. Inschatting/berekening samenstelling van stookgas en syngas;
- E. Beslispunt;
- F. Analyse van vergassen met lucht dan wel zuurstof;
- G. Aangeven van de mogelijke structuur van grootschalig vergassen in Nederland;
- H. Aangeven van de toepassingsmogelijkheden van de slak;
- I. Schatting van de kosten van vergassen;
- J. Rapportage.

Tijdens de studie werd enige malen tussentijds verslag uitgebracht aan RIVM/NOVEM. Na punt d werd een tussenrapport uitgebracht en vervolgens een bespreking belegd om, zoals onder e aangegeven te kunnen beslissen of voortzetting van de studie gewenst was. Het bleek dat de zekerheid ten aanzien van de afzet van het syngas nog onvoldoende hard was om gefundeerd te kunnen beslissen. Dit kwam enerzijds omdat niet duidelijk was tegen welke prijs het syngas afgezet zou kunnen worden (daarvoor was eerst de informatie van punt i, schatting van de kosten, noodzakelijk; anderzijds was de studie sterk gericht op de VAI vergassingstechnologie. Inmiddels had VAI echter aangekondigd met de HTV te zullen stoppen.

Ter bespreking werd daarom vastgesteld dat een aanpassing van het voorstel gewenst was. Op 11 juni 1992 werd aan het RIVM een aangepast voorstel uitgebracht. De studie werd conform deze aanpassing uitgevoerd.

1.3 Indeling van het rapport

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de vergassingssystemen waarvan via een aantal routes, (literatuur, bezoeken en schriftelijke verzoeken om informatie) gegevens zijn verzameld. Daarbij zijn naast HTV-procédés ter vergelijking ook MTV procédés beschreven en is niet alleen naar vergassing van kunststofafval gekeken. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de studie gepresenteerd. In hoofdstuk 4 worden de conclusies van de studie geformuleerd.

2 Vergassingssystemen

Zoals in de inleiding vermeld had de opdracht specifiek betrekking op vergassing van kunststofafval. In dit hoofdstuk wordt desondanks een wat bredere beschrijving van de diverse vergassingssystemen gegeven. Voor de hier beschreven systemen geldt dat de meeste daarvan weliswaar ontwikkeld zijn voor de vergassing van kolen, maar later zijn en/of nu worden gemodificeerd voor het vergassen van afval.

2.1 HTV – Hoge Temperatuur Vergassing

2.1.1 Het HTV-proces van VAI (Voest Alpine Industrie Anlagebau) [1, 2]

Bij het VAI-HTV proces wordt gebruik gemaakt van een reactor die uit twee delen bestaat: een vergassingsruimte en een daarop volgende schacht (zie figuur 1). In de vergassingsruimte wordt vloeibaar afval (bijvoorbeeld afgewerkte olie en/of oplosmiddelen) met voorverwarmede lucht bij temperaturen van circa 1600 °C tot een zogenaamd primair gas omgezet. Via diverse doseersystemen worden pasteuze (zoals verfresten) en vaste afvalstoffen aan de reactor gedoseerd. Deze stoffen reageren met het primaire gas en worden daarbij tot een zogenaamd ruw gas omgezet. Dit ruwe gas stroomt vervolgens door een bed van cokes in de schacht van de reactor. Dit cokesbed is vooral bedoeld als heet gas filteren teerconvector. Daarbij verstopt een deel van de poriën van de cokes. Daardoor is het nodig dat dit deel van de cokes meevergast en door nieuwe cokes wordt vervangen. Het cokesverbruik wordt overigens om economische redenen zo laag mogelijk gehouden.

De niet te vergassen delen (slakken) van de afvalstoffen smelten bij de in de vergassingsruimte heersende temperatuur van 1600 °C. Via een overloop lopen de slakken in een waterbad en stollen daar tot een korrelig granulaat.

Het gas verlaat de reactor bij een temperatuur van 900 - 1000 °C en komt daarna in een cycloon. Hier wordt het grove stof afgescheiden dat vervolgens teruggevoerd wordt naar de vergassingsruimte.

Het ruwe gas uit de HTV installatie bevat als voornaamste verontreinigingen stof, HCl, en zwavelverbindingen. Dit gas komt, na warmtewisseling, op een temperatuur van circa 200 °C in de gasreinigingstrein. Deze bestaat uit een elektrofilter, een HCl water gecombineerd met een fysisch chemische afvalwaterbehandeling, en een tweetraps zwavelverwijdering. Het in het elektrofilter afgescheiden stof wordt net als het cycloonstof naar de vergassingsruimte teruggevoerd. Na het elektrofilter wordt het gas nogmaals gekoeld (tot 65 °C).

De HCl water bestaat uit twee in serie geschakelde straalwassers; in deze wasers worden naast HCl en andere halogenen ook reststof en zware metalen uitgewassen. Het waswater wordt met natronloog op een pH van 2,5 gehouden. Een deel van het waswater wordt gespuid en door schoon water vervangen. Het spuiwater wordt naar een afvalwaterreiniging geleid waar de zware metalen door middel van loog als hydroxyden worden geprecipiteerd. De hydroxyden worden na sedimentatie in een kamerfilterpers ontwaterd en als chemisch afval afgevoerd.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

Het water wordt gefiltreerd in een zandbed, van resten zware metalen ontdaan met ionenwisselaars en kan dan in het riool worden geleid.

Na de HCl wasser wordt het gas in de zwavelverwijdering geleid waar H_2S met ijzercomplexen tot S wordt omgezet ($\text{Fe}^{3+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{S}$). De zwavel zet zich als slib af en wordt ontwaterd. Het Fe^{2+} wordt door middel van beluchting weer in Fe^{3+} omgezet.

Het VAI proces is alleen bij atmosferische druk getest. Het bedrijven onder druk is in principe mogelijk.

Status

VAI heeft het proces circa 8000 uur op pilot schaal (circa 5000 ton/jaar) bedreven met goede resultaten. Op basis daarvan is een mobiele vergassingsinstallatie ontwikkeld die in Tsjechoslowakije voor vergassing van PCB houdend afval is gebruikt. De resultaten daarvan waren echter zodanig dat VAI besloten heeft met zijn HTV ontwikkeling te stoppen [3].

2.1.2 Het TGP (Texaco Gasification Process) [4]

Texaco heeft zijn vergassingstechnologie ontwikkeld uitgaande van olie. Bij daarop volgende ontwikkeling naar kolenvergassing heeft men het principe van de vloeibare voeding gehandhaafd. De kolen worden tot poederkool gemalen; de poederkool wordt na toevoeging van water in slurryvorm (vaste stofconcentratie > 60%) naar de vergasser gepompt. Het water dient als transport medium, om de reactortemperatuur in de hand te houden en als reactant in de vergasser. Dezelfde werkwijze wordt gebruikt bij het verwerken van autobanden (figuur 2). De geshredderde autobanden worden met olie gemengd waarna dit mengsel tot circa 370 °C wordt verhit. Hierdoor ontstaat een zware olie die vervolgens aan de vergasser wordt gevoed. De gasreiniging bestaat uit een zwavelverwijdering gevolgd door een tweetal scrubbers waar respectievelijk stof en zure gasen (HCl, HF etc.) worden uitgewassen.

De vergasser is van het entrained bed type dat wil zeggen het te vergassen materiaal wordt in meestroom met de zuurstof van boven naar onder door de vergasser geleid. De temperatuur ligt boven het smeltpunt van de as (gewoonlijk > 1300 °C); de druk bedraagt circa 20-60 bar.

Kenmerkend verschil met de schacht vergassers van VAI en Nippon Steel (hierna beschreven) is dat de voeding tot poeder vermalen moet worden of via een voorbewerking tot olie omgezet. In deze voorbewerking dienen ook alle metaaldelen en andere niet tot olie om te zetten materialen verwijderd te worden.

In principe is elke afvalstof geschikt voor vergassing in het Texaco systeem indien:

- A. Er een slurry van gemaakt kan worden;
- B. De verbrandingswaarde hoog genoeg is om (eventueel met een steunbrandstof) vergassing op een voldoende hoog conversieniveau te kunnen handhaven;
- C. De verslakkings temperatuur van de as kan worden gehandhaafd.

Status

Texaco heeft wereld wijd circa 100 industriële vergassingsinstallaties geplaatst waaronder een aantal kolenvergassingsunits.

Texaco heeft in zijn Montebello plant (1 ton/h) met succes HTV van hazardous wastes' (voornamelijk olietank residuen) uitgevoerd en werkt nu aan vergassing van autobanden. Texaco wil na de experimenten met autobanden ook kunststofafval gaan verwerken waarbij men hetzelfde procédé wil toepassen.

2.1.3 HTV systemen in Japan [5, 6]

In Japan is door een drietal firma's (Nippon Steel, Tsukishima en Ebara) HTV van (fracties) van huishoudelijk afval uitgevoerd. De precieze resultaten ten aanzien van techniek en milieu-aspecten zijn niet bekend. Wel wordt in een onafhankelijk overzicht van het Japanse PWMI (Plastic Waste Management Institute) van diverse verwerkingssystemen vermeld dat het vergassen een 'virtually pollution free' proces is.

Via een bezoek van een TNO-delegatie aan Nippon Steel is in augustus 1992 enige recente informatie over de activiteiten van deze firma verkregen. Het blijkt dat er twee plants in bedrijf zijn: een waarbij uit redelijk schoon kunststofafval via pyrolyse een dieselolie wordt geproduceerd en een waarbij allerlei afval materiaal wordt vergast. In figuur 3 is van dit laatste systeem een processchema opgenomen; in figuur 4 zijn de vergasser en daarna geschakelde verbrandingskamer in detail te zien. Het proces toont sterke gelijkenis met het VAI-proces. Ook hier wordt cokes gebruikt. Deze wordt tezamen met kalksteen (CaCO_3) en het te vergassen materiaal van boven aan de vergasser toegevoerd. Grote stukken moeten van te voren verkleind worden. Het materiaal zakt van boven naar beneden door de schacht vergasser, passeert een voorverwarmings- en droogzone ($200\text{--}300^\circ\text{C}$) en komt vervolgens in de thermische decompositie zone (vergassingszone). Hier worden CH_4 , CO , H_2 en NH_3 gevormd. HCl wordt door de NH_3 en de CaO gebonden tot NH_4Cl , CaCl_2 en NaCl . Zwavel wordt tot CaS omgezet of gebonden aan metalen. Uit het schema blijkt dat de gassen door het toegevoerde materiaal (afval, cokes en kalksteen) opstijgen (bij het VAI proces gaat het geproduceerde gas alleen door het cokesbed). Doordat diverse componenten reeds in de vergasser aan CaO worden gebonden wordt de gasreiniging ontlast. Het materiaal dat na de vergassing nog over is zakt in de verbrandings- en smeltzone. Hier verbrandt de cokes met de via nozzles toegevoerde met zuurstof verrijkte lucht bij een temperatuur van $> 1500^\circ\text{C}$. Alle materialen smelten inclusief de CaO . De slak wordt afgetapt en door middel van verschil in soortelijk gewicht wordt hierbij ijzer en restsak van elkaar gescheiden. Door het koelproces van de slak langzaam of snel te maken kan men de gewenste structuur (zanderig of korrelig) verkrijgen. De uitloogeigenschappen van de slak zijn bepaald; de uitloogbaarheid blijkt voor de belangrijkste zware metalen onder de detectielimiet te liggen. De slak voldoet daarmee aan de Japanse deponie normen.

Afhankelijk van het percentage zuurstof in de verbrandingslucht zal het geproduceerde gas hoog- of laagcalorisch zijn. Hierover wordt in de informatie niets vermeld. Gezien het feit dat het gas direct na de vergasser wordt verbrand, is aan te nemen dat een soort stookgas wordt geproduceerd.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

Een kenmerkend verschil met het VAI proces is dat er geen separate brandstof wordt gebruikt (in de informatie wordt melding gemaakt van kerosine, maar aangenomen wordt dat dit alleen voor opstarten wordt gebruikt). Dit betekent dat de calorische waarde van het afval hoog moet zijn of het cokesverbruik hoog. Dit laatste is ongunstig met betrekking tot de economie van het proces. Hierover is echter niets bekend.

Status

- De HTV activiteiten van Tsukishima zijn om economische redenen gestopt [7].
- Nippon Steel heeft sinds 1980 twee plants in bedrijf, een van 3×150 ton/dag in Ibaraki (provincie Osaka) en een van 100 ton/dag in Kamaishi (provincie Myagi).

2.1.4 Het SGP (Shell Gasification Proces) [8]

Met het Shell olievergassingsproces worden koolwaterstoffen met behulp van zuurstof en stoom bij hoge temperatuur ($1300 - 1500^\circ\text{C}$) en druk (10 - 100 bar) omgezet in een ruw synthesegas.

Een vereenvoudigd processchema van het SGP is weergegeven in figuur 5. De te vergassen voeding kan in voorkomende gevallen eerst worden gemengd met eerder geproduceerd roet en dan worden voorverwarmd, in de reactor geperst en verneveld. Zuurstof wordt vermengd met stoom toegevoerd. De stoom dient onder meer om de reactortemperatuur te controleren. Onder vlamvorming worden de koolwaterstoffen in de 'entrained flow' reactor afgebroken onder de eerder genoemde condities. Het produktgas bevat voornamelijk CO en H_2 met daarnaast CO_2 en H_2O en kleine hoeveelheden verontreinigingen (H_2S , NH_3 , HCN, roet- en asdeeltjes).

Het hete, met roet beladen gas wordt afgekoeld in een afvalwarmteketel, waar hoge druk stoom opgewekt wordt. Daarna wordt het gas verder gekoeld door directe waterinjectie, waarbij tevens het roet voor het merendeel wordt afgevangen, alsmede een belangrijk deel van de H_2S , NH_3 en HCN. Het restant aan roet wordt uitgewassen in een wastoren.

Het gekoelde en van stof en roet gereinigde produktgas is op dit punt beschikbaar voor verdere opwerking, zoals diepzwavelverwijdering en eventueel shifting om de gewenste commerciële kwaliteit syngas te verkrijgen.

Status

Sinds de introductie van het Shell vergassingsproces (SGP) in 1956, zijn meer dan 140 units voor de vergassing van lichte olie tot zeer zware olieresiduen (waarin zich alle verontreinigingen uit ruwe aardolie geaccumuleerd hebben) wereldwijd gerealiseerd. Naast het gebruik van aardgas als voedingsvariant, heeft Shell een enigszins verwant proces ontwikkeld voor de vergassing van kolen; Shell's eerste commerciële kolenvergasser is thans in aanbouw (kolenvergassingscentrale Buggenum). Shell heeft voor zover bekend geen alternatieve brandstoffen vergast anders dan olie, aardgas of kolen, hoewel het proces er in principe wel de mogelijkheden voor heeft.

2.2 MTV–Midden Temperatuur Vergassing

Alhoewel de studie in feite beperkt is tot de Hoge Temperatuur Vergassing (HTV) van kunststofafval wordt hier ter vergelijking toch een korte beschrijving van de vergassing in een wervelbed gegeven.

Kenmerkend verschil met HTV is uiteraard de relatief lage vergassingstemperatuur van 900 - 1000 °C die moet worden aangehouden om te voorkomen dat de as door het smeltpunt gaat. Smeltend materiaal is een wervelbed niet te hanteren.

2.2.1 Circulerend wervelbed (CWB) (Lurgi) [9, 10]

In de figuren 6 tot en met 8 is het concept van Lurgi weergegeven. Voor zover thans bekend heeft Lurgi thans de meeste ervaring met het vergassen van afvalstoffen in een circulerend wervelbed, voornamelijk van biomassa (boomschors).

Het afval moet verkleind worden omdat het anders niet in de circulerende gasstroom kan worden meegenomen.

Het verkleinde afval wordt beneden in het (met kolen, olie of gas opgestarte) wervelbed gedoseerd en wordt met lucht bij circa 950 °C vergast. Het daarbij geproduceerde stookgas wordt in een cycloon van grof stof ontdaan, waarna dit stof (met nog circa 2% koolstof) naar de vergasser wordt teruggevoerd. Voor een kenmerkende samenstelling van het stookgas zie onderstaande tabel.

Stookgasanalyse	Vol. %
CO ₂	9,3
H ₂ S	0,07
CO	9,76
H ₂	8,27
CH ₄	1,55
C ₂ ⁺	0,64
N ₂	43,06
H ₂ O	27,35
	mg/m ³ ₀
HCl	18
HF	1,8
Zware metalen	<1,1
Totaal stof	18
Dioxinen	<0,1 ng/m ³ ₀
Stookwaarde (LHV)	3207 kJ/m ³ ₀

Het gas wordt in tegenstroom met de vergassingslucht afgekoeld. De dan nog in het gas aanwezige warmte wordt gebruikt om het natte stof uit de venturiwasser

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

en het nat-elektrofilter (zie hierna) in te dampen. Aldus levert het proces alleen droge reststoffen op en geen afvalwater. HCl, HF, NH₃ en zware metalen komen in vorm van zouten (NH₄Cl, NH₄F, MeCl₂ etc.) in de reststoffen terecht. Na de spoedroger passeert het gas een doekenfilter, een venturi wasser (hier worden HCl, HF en NH₃ en enig stof verwijderd), een nat-elektrofilter voor de verwijdering van rest stof en tenslotte een gaskoeler. Afhankelijk van de voeding moeten de reststoffen eventueel als chemisch afval worden afgevoerd of via een speciaal verglazingsproces onschadelijk worden gemaakt.

Status

Lurgi heeft een pilot plant van 1,8 MW_{th} in Frankfurt die een groot aantal uren in bedrijf is geweest. De brandstoffen die zijn beproefd zijn hout, boomschors, steenkool, petroleumcokes, RDF en huishoudelijk afval. In Oostenrijk is een CWB in bedrijf die boomschors vergast; capaciteit 4,5 t/h schors, 9000 m³₀ stookgas/h, 27 MW_{th}. Grotere installaties zijn gepland.

Opmerking

In het concept van Lurgi is geen zwavelverwijdering voorzien. Er wordt vanuit gegaan dat verbranding van het stookgas plaats vindt bij een installatie waarbij op een of andere manier (kalktoeslag, ROI) de S-verwijdering zal plaatsvinden. Het door Lurgi gebruikt argument dat bij de vergassing (door het ontbreken van de S-verwijdering) slechts een geringe hoeveelheid reststoffen ontstaat moet dus met enige scepsis bekeken worden.

2.2.2 Het CWB systeem van Oy Bioflow AB (Ahlstrom en Sydkraft) [11]

In 1991 vormden A. Ahlstrom Corporation, Finland en de grootste particuliere elektriciteitsproducent in Zweden, Sydkraft een joint venture: Oy Bioflow AB voor de marketing en verdere ontwikkeling van drukvergassing van biomassa ten behoeve van gecombineerde warmtekrachtopwekking.

A. Ahlstrom Corporation bouwt al meer dan 50 jaar elektriciteitscentrales, waarbij het Ahlstrom Pyroflow circulerend wervelbed een van de modernste toepassingen is. Ahlstrom heeft ervaring met vergassing sinds het begin van de tachtiger jaren, toen diverse Pyroflow vergassers zijn geleverd aan de industrie voor de productie van gas ten behoeve van kalkovens. Het circulerend wervelbed verbrandingssysteem onder druk is eveneens in de 80-er jaren ontwikkeld tot een commercieel niveau met behulp van een 10 MW_{th} pilot plant.

Status

Het circulerend wervelbed vergassingssysteem onder druk is direct afgeleid van het verbrandingssysteem en vormt het hart van een grootschalig demonstratieproject, dat momenteel in Värnamo, Zuid Zweden gerealiseerd wordt (zie figuur 9). Deze plant dient voor elektriciteitsopwekking en verwarming voor de stad Värnamo. Het is de eerste plant in zijn soort in de wereld, waarbij biomassa onder druk wordt vergast en waarbij het produktgas aan een gasturbine wordt gesuppleerd en de rookgassen door een afgassenketel worden gevoerd ten behoeve van stoomopwekking.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

De ontwerpcondities van de Värnamo vergasser zijn 24 bar en een temperatuur van 950 - 1000 °C. Houtafval en houtsnippers vormen de brandstof, die in het proces gedroogd worden van een vochtgehalte van 50 gew.% tot 10 - 20 gew.%. Het produktgas dat de vergasser verlaat wordt eerst gekoeld tot circa 350 °C. Stof wordt van de gasfase gescheiden in een ceramisch filter, alvorens het gas aan een turbine gesuppleerd wordt.

De gasturbine genereert 4 MW_e; de rookgassen van de turbine worden gekoeld in een afgassenketel en met de aldus gegenereerde stoom wordt 2 MW_e opgewekt. De stoom wordt gecondenseerd in een stadsverwarmingscondensor en levert 9 MW_{th}. Het overall rendement van de installatie bedraagt 85%.

2.2.3 Het CWB systeem van TPS (Thermal Processes) v.h. Studsvik Energy [12]

TPS Thermal Processes AB is een zeer recent opgericht bedrijf hetgeen is voortgekomen uit en kantoor houdt binnen Studsvik AB in Nyköping, Zweden. In het bedrijf is de vergassingskennis, welke in de afgelopen decennia door Studsvik is opgebouwd, ondergebracht.

Studsvik startte in 1978 met de ontwikkeling van een circulerend wervelbed combustor (CFB) en deze technologie is thans aan verschillende ketelfabrikanten in licentie gegeven. Nadat het succesvol opereren van het circulerend wervelbed in een combustor was bewezen, werd deze techniek toegepast voor de vergassing van biomassa. Eind 70-er jaren startte men met de ontwikkeling van het atmosferisch circulerend wervelbed vergassingssysteem en in 1986 werd voor de eerste keer een 2 MW_{th} pilot plant in werking gesteld. Testprogramma's met biomassa en industrieel afval werden in datzelfde jaar uitgevoerd.

In 1987 werd een heet gasreinigingssysteem (CFB kraker) en een dieselmotor stroomafwaarts van de vergasser geïnstalleerd en in gebruik genomen. In de gasreinigingsstap, bestaande uit een tweede circulerend bed met dolomiet als actief materiaal, worden condenseerbare componenten (teer) en ammoniak omgezet in niet-condenseerbare componenten en moleculair stikstof en waterstof; het dolomiet zal ook chloor adsorberen hetgeen in de vorm van HCl in het ruwe produktgas aanwezig zal zijn indien chloorhoudende brandstof wordt vergast. Het gereinigde gas kan worden gekoeld, gedroogd en gedistribueerd als stookgas. Daar ammoniak en chloor in belangrijke mate of geheel verwijderd zijn, levert verbranding van dit gas slechts een geringe hoeveelheid NO_x en een zeer geringe kans op de vorming van gechloreerde verbindingen.

TPS is een research & development bedrijf dat de door haar ontwikkelde technieken aan verschillende fabrikanten in licentie geeft.

Status

Op basis van de TPS (Studsvik) technologie is in Florence een plant gerealiseerd voor de vergassing van rdf (2 × 20 MW_{th}) en is een houtvergassingsplant gerealiseerd ten behoeve van elektriciteitsopwekking (500 kWe). In figuur 10 is het circulerend wervelbed ten behoeve van r.d.f.-vergassing in Florence schematisch weergegeven. Shell heeft onlangs het circulerend wervelbed vergassingssysteem van TPS geselecteerd voor een biomassavergassingsproject in Brazilië ten behoeve van elektriciteitsopwekking.

2.2.4 Het HTW (Hochtemperatur Winkler) procédé [13, 14]

Het HTW procédé is ontwikkeld op basis van een stationair wervelbed. Uit de beschrijvingen kan worden afgeleid dat een flexibele overgang naar circulerend wervelbed mogelijk is.

Alhoewel de naam een hoge-temperatuur proces impliceert wordt het hier, gezien de maximale bedrijfstemperatuur, onder de middentemperatuur processen gerangschikt. Het procédé is ontwikkeld voor kolenvergassing.

In figuur 11 is van deze vergasser een schema opgenomen.

Status

Van het HTW procédé is in Finland een vergasser met een capaciteit van 150 MW_{th} in bedrijf geweest die turf vergaste met zuurstof (en stoom) en dus syngas produceerde. De plant is om economische redenen (lage olieprijs) gestopt [15].

Het HTW proces is ook voor kolen op grote schaal in een demo installatie getest: 900.000 m³ syngas/dag; bedrijfsdruk 10 bar. Voor de verdere ontwikkeling naar hogere drukken is in de herfst van 1989 een pilot plant met een kolendoorzet van 6,5 ton/h bij een druk van 25 bar in bedrijf genomen. Dit moet de basis zijn voor opschaling naar 300 MW (Kobra project).

In hoeverre deze technologie ook voor afvalstoffen toepasbaar is, kan uit de beschrijvingen niet worden afgeleid.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de studie zoals omschreven in de opdracht gerapporteerd. Daarbij wordt zoveel mogelijk de volgorde van de daarin beschreven uit te voeren werkzaamheden aangehouden.

3.1 Evaluatie van de vergassingssystemen voor vergassing van kunststofafval

Naast de voor een groot deel reeds aanwezige informatie over vergassen algemeen, zoals in hoofdstuk 2 gerapporteerd, is in het kader van de onderhavige studie een computerrecherche uitgevoerd specifiek naar vergassing van kunststof. Daarbij is ook pyrolyse als trefwoord meegenomen omdat vergassing ook wel als oxydatieve pyrolyse wordt aangeduid. Dit heeft de in hoofdstuk 5 opgenomen referenties opgeleverd. Het blijkt dat er vrijwel geen materiaal bij is dat nieuwe, nog niet bekende informatie heeft opgeleverd. Daarnaast is dezelfde specifieke informatie bij bedrijven die vergassing onderzoeken en/of uitvoeren opgevraagd.

Gebleken is dat HTV van **alleen** polymeer afval niet in de literatuur is beschreven. Ook bij de bedrijven die benaderd zijn is dit niet uitgevoerd. Er zijn wel plannen in die richting (zoals bij Texaco).

De evaluatie van de diverse HTV vergassingssystemen op hun geschiktheid voor het vergassen van polymeer afval kan derhalve niet geschieden op basis van experimentele gegevens daarover. Uit de beschrijvingen over vergassing van allerlei afvalmateriaal kan echter worden geconcludeerd dat de vergassers zonder meer puur kunststofafval zullen kunnen vergassen. Eventuele problemen zullen zich niet in de vergasser zelf voordoen maar bij de voeding. Bij de CWB en vooral bij de entrained bed vergassers moet de voeding verkleind worden dan wel vloeibaar worden gemaakt. Ook bij de schacht vergassers dient aan de voeding veel aandacht te worden besteed om te voorkomen dat de toevoer door smelten van het kunststofafval verstopt.

Ook de midden temperatuur vergassingssystemen zullen naar verwachting in de vergasser zelf geen problemen hebben met het vergassen van kunststof. Kenmerkend verschil met de HTV systemen is dat de as niet door het smeltpunt is geweest en daardoor naar verwachting een slechter uitlooggedrag zal vertonen. Het is echter niet uitgesloten dat de combinatie MTV met een verglazing van de as concurrerend zal zijn met HTV, omdat de verglazing steeds goedkoper uitgevoerd kan worden [16].

De gasreiniging zal bij het vergassen van kunststofafval mogelijk eenvoudiger zijn dan bij kolenvergassing of vergassing van gemengd afval. Bij deze systemen is verwijdering van stof, zwavel (H_2S) en zure gasen noodzakelijk. In kunststof zit slechts weinig zwavel en kan deze stap wellicht vervallen.

3.2 Inventarisatie kunststofafval

In bijlage 2 is de inventarisatie van het kunststofafval in Nederland opgenomen. In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen. De getallen zijn gebaseerd op een in 1986 uitgevoerde inventarisatie. De huidige hoeveelheid wordt op 800 kton/jaar geschat.

Tabel 3.1 Hoeveelheid kunststofafval in Nederland

Afvalstroom uit	Kunststofafval kton/jaar
Industrie	29
Bouw en sloop	27
Land en tuinbouw	20
Autowrakken	24
Huishoudens en KWD	493
Ziekenhuizen	14
Straat	10
Totaal	617

Duidelijk is dat de overgrote fractie uit huishoudelijk afval en KWD afval afkomstig is. Aangezien verwacht mag worden dat een eventuele vergassingsinstallatie überhaupt alleen rendabel zal kunnen zijn bij een voldoende grote doorzet, zal deze fractie de basis moeten vormen een dergelijke installatie.

Naar verwachting zullen gescheiden inzamelsystemen en bulkscheidingstechnieken niet op korte termijn tot substantiële vermindering van deze afvalstroom leiden.

In onderstaande tabel is aangegeven wat de te verwachten elementaire samenstelling van het polymere afval zal zijn.

Tabel 3.2 Elementaire samenstelling kunststofafval

Component	Percentage in kunststofafval
C	78.1
H	11.4
O	2.3
N	0.6
Cl	5.6
As	2.0

De calorische waarde van het kunststofafval ligt rond de 37 MJ/kg of hoger.

3.3 Gebruik van en eisen aan het syngas c.q. stookgas

Syngas

De HTV van polymeer afval zou in eerste instantie gericht moeten zijn op de productie van syngas omdat verwacht mag worden dat dit de hoogste opbrengst zal hebben. Derhalve is nagegaan of de te produceren hoeveelheid syngas afgezet zou kunnen worden en aan welke eisen het zou moeten voldoen.

Op basis van een hoeveelheid van 500 kton plastic afval per jaar en de boven vermelde verwachte elementaire samenstelling is de te produceren hoeveelheid syngas en de samenstelling berekend; deze berekening is opgenomen in bijlage 4. Het blijkt dat circa 190.000 m³₀ syngas geproduceerd kan worden met de samenstelling 44% CO, 38% H₂; de rest is water (circa 13%), CO₂ (circa 3%), HCl en stikstof.

Nagegaan is waar thans syngas-verbruik plaatsvindt. Dit blijkt te zijn bij:

1. DSM te Geleen en IJmuiden, voor de productie van H₂ ten behoeve van de NH₃ synthese;
2. Hydro Agri te Sluiskil, idem;
3. Methanor te Delfzijl, voor de productie van CO, CO₂ en H₂ ten behoeve van de methanolsynthese;
4. In de hydrotreating processen bij de petrochemische industrie.

1. Volgens opgave van DSM wordt (in Geleen) circa 160.000 m³₀/h aan syngas verbruikt; grondstof is aardgas. De samenstelling van eventueel via vergassing verkregen syngas is niet direct van belang omdat ook het uit aardgas verkregen syngas wordt opgewerkt. In bijlage 5 is de NH₃ synthese beschreven; daarbij is schematisch aangegeven waar het HTV-syngas in deze bestaande opwerkingstrein kan worden ingesluisd.

De eisen die aan het gas gesteld worden zijn: Cl⁻ en S <0,5 ppm. Andere eisen kent men niet, mede omdat in aardgas geen andere storende stoffen voorkomen. Bepalend is dat de bij de synthese gebruikte katalysator niet vergiftigd mag worden.

2. Bij Hydro Agri Chemie te Sluiskil wordt per dag 4500 ton NH₃ geproduceerd. Hieruit kan worden berekend dat daarvoor minimaal 370.000 m³₀/h aan H₂ nodig is. Er gelden dezelfde eisen ten aanzien van kwaliteit ('geen' S, geen Cl⁻).
3. Bij Methanor in Delfzijl is het verbruik aan synthesegas 2 × 150.000 m³₀/h. De samenstelling van het gas dat voor de methanol synthese wordt gebruikt is als volgt: 8% CO₂, 14,5% CO, 3% CH₄, 1% N₂ en de rest H₂. De verhouding is niet ideaal; het percentage CO mag wel wat hoger zijn. De eisen ten aanzien van de kwaliteit zijn ook hier weer dezelfde als bij de NH₃ synthese: geen vergiftiging van de katalysator.
4. Bij de petrochemische industrie wordt evenals bij de NH₃ fabricage, nagenoeg geen synthesegas als zodanig gebruikt. Ook hier is alleen de waterstof van belang. Deze wordt gebruikt voor het hydreren van zware restfracties van de olie om daarmee lichtere benzinefracties te maken. De vraag naar H₂ zal naar verwachting stijgen omdat steeds meer zware restfracties moeten worden omgezet. Kenmerkend verschil met de NH₃ synthese is dat directe afzet van het synthesegas niet mogelijk zal zijn. Direct na de vergassing dient daarom de shift reactie uitgevoerd te worden zodat H₂ kan worden afgeleverd.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

Uit bovenstaande gegevens blijkt dat er voldoende afzetmogelijkheden voor het eventueel via vergassing te produceren syngas zijn. Technisch gezien is de afzet in de meeste gevallen geen probleem omdat vrijwel alle bedrijven de mogelijkheid hebben de samenstelling van het bij de vergassing verkregen syngas naar een andere, gewenste samenstelling te shiften. Voor de afzet zijn derhalve alleen de prijs en de zuiverheid bepalend.

Bij DSM en Hydro Agri wordt de prijs (naast die voor enige aanpassingen in de installatie) voornamelijk bepaald door het verschil in kostprijs voor zelf opgewekte versus ingekochte elektriciteit. De NH_3 fabrieken zijn zodanig energetisch geoptimaliseerd dat in het proces de juiste hoeveelheid elektriciteit wordt opgewekt voor de eigen energievoorziening. Indien syngas uit een andere bron wordt aangevoerd is deze balans verstoord en moet elektriciteit uit het net worden gebruikt. Methanor heeft een speciaal contract met de Gasunie waardoor tegen gereduceerde prijs aardgas kan worden ingekocht.

Naast deze huidige afzet zijn diverse andere processen op basis van synthesesgas mogelijk (zie schema van figuur 12); vele daarvan lopen overigens zoals uit het schema blijkt over methanol. Omdat vele van deze routes niet of slechts beperkt worden toegepast worden ze hier niet verder besproken.

Stookgas

Voor de verwachte samenstelling zie bijlage 4.

De eisen die aan stookgas worden gesteld, worden voor wat betreft S bepaald door rookgas emissie-eisen en ten aanzien van Cl⁻ door corrosie én rookgas emissie-eisen. Deze zijn minder stringent dan voor syngas. Gezien het geringe S gehalte in kunststofafval is daarvoor wellicht geen reiniging noodzakelijk.

De afzet van stookgas zal geen probleem hoeven te vormen. Eventueel kan het gas direct in een na de vergasser geschakelde STEG eenheid voor de opwekking van elektriciteit worden gebruikt (PAV-STEG)¹⁾, anderzijds is er vanuit de industrie belangstelling mits de prijs voldoende laag is.

3.4 Berekening van de verwachte samenstelling van stookgas en syngas

In bijlage 4 wordt uitgebreid de gangbare bereiding en de toepassing van synthesesgas en stookgas beschreven. De berekening van de verwachte samenstelling bij het vergassen van kunststofafval is daarin opgenomen. De belangrijkste resultaten zijn in onderstaande tabellen samengevat. In de tabellen is ter vergelijking voor stookgas de samenstelling van het door VAI geproduceerde stookgas opgenomen en voor synthesesgas die van het SGP. Opmerkelijk is de overeenkomst tussen de berekende en gemeten samenstellingen ondanks de vollagen andere aard van de voeding.

¹⁾ Polymeer Afval Vergasser-Stoom en Gasturbine

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

Tabel 3.3 Stookgassamenstelling

Component (vol %) voeding ->	VAI-HTV RDF, kooks, olie	Berekend ¹⁾ kunststofafval
CO ₂	5,0	3,7
CO	20,0	20,1
H ₂	12,4	14,8
N ₂	62,4	60,5
CH ₄	0,2	0,2
HCl	-	0,6
LHV (kJ/m ³ 20 °C)	3635	3925

¹⁾ Shift temperatuur 1200 °C; vochtgehalte 2,5 gew.%

Tabel 3.4 Synthesegas-samenstelling

Component (vol %) voeding ->	SGP zware stookolie	Berekend ¹⁾ kunststofafval
CO ₂	4,3	8,6
CO	47,4	45,5
H ₂	47,0	43,5
N ₂	0,2	0,3
CH ₄	0,3	0,7
H ₂ S+COS	0,8	-
HCl	-	1,4
LHV (kJ/m ³ (20 °C)		

¹⁾ Shift temperatuur 1200 °C; vochtgehalte 2,5 gew.%

Geconcludeerd wordt dat deze samenstelling maar weinig zal afwijken van olie of een mengsel van olie, RDF en cokes.

3.5 Evaluatie van de produktie en afzet van syngas en stookgas

Zoals uit bijlage 4 paragraaf 2.3 blijkt zal de gasreiniging ten aanzien van H₂S en COS aan de specificaties voor de NH₃ of methanol fabricage voldoen; voor HCl zijn geen exacte gegevens bekend maar over het algemeen is dit relatief eenvoudig te verwijderen.

Zowel voor de omzetting van syngas naar methanol als naar CO₂ en waterstof (shiftreactie) zijn katalysatoren nodig. Aan katalysatorfabrikanten is daarom gevraagd aan welke zuiverheidseisen het syngas moet voldoen. Het blijkt dat deze eisen niet strikt vastliggen. Er is een verband tussen de zuiverheid van het gas en

de standtijd van de katalysator. Zijn de S en Cl⁻ gehalten <0,5 ppm dan zijn standtijden van circa 20 jaar mogelijk. Worden de gehalten hoger dan 50 ppm dan moet met standtijden van 1- 5 jaar rekening worden gehouden. Daarbij is de katalysator vergiftiging met S minder problematisch dan die met Cl⁻; de eerste is reversibel, de tweede niet. Ook het toelaatbare gehalte aan zware metalen in het gas ligt niet strikt vast maar moet bij voorkeur < 0,5 ppm zijn [17].

Gezien de ervaringen met rookgasreiniging bij AVI's (AfvalVerbrandingsInstallaties) en de draaitrommelovens voor chemisch afval, waar aanzienlijk grotere stromen worden gereinigd tot het niveau van de RV'89²⁾, lijken deze eisen voor syngas zeker haalbaar.

Ten aanzien van stookgas wordt verwacht dat dit na gasreiniging voldoende schoon is om daarna verbrand te kunnen worden met in acht name van de RV'89.

3.6 Vergassen met lucht dan wel zuurstof mede in relatie tot drukgasvergassing

Van de in hoofdstuk 2 beschreven vergassingssystemen zijn alleen de systemen van VAI en Nippon Steel nog niet onder druk bedreven en voor zover bekend ook niet met zuivere zuurstof (wel met verrijkte lucht). Er zijn hiervoor geen principiële redenen aan te wijzen; het voeden tegen een druk van 20-30 bar en aftappen naar atmosferische druk via lockhoppers en het werken met zuivere zuurstof is van andere systemen voldoende bekend.

De voordelen van drukvergassing liggen vooral in de hogere doorzet per volume-eenheid van de reactor hetgeen met name bij grotere capaciteiten een rol gaat spelen. Over het algemeen verloopt ook een aantal processen efficiënter hetgeen tot hogere omzettingsgraden en lagere emissies leidt. Er is echter op dit moment nog te weinig ervaring met vergassing onder druk van afvalstoffen om hierover reeds eenduidige conclusies te kunnen trekken.

3.7 De mogelijke structuur van grootschalig vergassen in Nederland

Deze structuur hangt uiteraard sterk samen met de kosten (zie daarvoor onder 3.9). Het blijkt dat alleen bij grote installaties de kosten binnen redelijke grenzen blijven. Dit werd overigens ook bevestigd door Texaco; de schaal waarop deze firma autobanden zal gaan verwerken bedraagt op pilot plant schaal reeds 50 ton/h. Indien de in paragraaf 3.2 genoemde hoeveelheid kunststofafval van Nederland, - 500 kton/jaar - in één installatie zou moeten worden verwerkt zou deze een capaciteit van circa 700 MW_{th} moeten hebben. Dit is meer dan voldoende groot om rendabel te kunnen werken. Logistieke problemen, alle kunststofafval moet naar één plaats in Nederland gebracht worden, worden hierbij niet in beschouwing genomen. Uit Japanse gegevens voor afvalvergassing [6] kan worden afgeleid dat bij een plant grootte van circa 150 kton/jaar de investeringskosten per ton verwerkingscapaciteit circa f 3000 zullen bedragen. Opgemerkt kan worden dat deze schatting tweemaal zo hoog is als de kosten voor de AVI-west waar met f 1400/ton verwerkingscapaciteit/jaar gerekend wordt. Gesteld dat er drie plants

²⁾ RV'89 eisen: Totaal metalen < 1 ppm, Cd<0,5 ppm, Hg<0,05 ppm

zouden worden gebouwd van elk circa 250 MW_{th} (investeringskosten circa f 3200/ton verwerkingscapaciteit per jaar) dan blijkt uit figuren 13 tot en met 15 dat met een gate-fee van f 200/ton afval en een syngasprijs van f 190/ton (circa 15 c/m³₀) een en ander rendabel, dat wil zeggen met een redelijke pay out time voor dit soort installaties van 8 à 10 jaar, te bedrijven is. Deze gate-fee komt overigens goed overeen met de gate-fee die Nippon Steel vermeldt: 98 \$/ton.

3.8 Toepassingsmogelijkheden van de slak

Om de toepassingsmogelijkheden van de slakken die bij HVT ontstaan na te kunnen gaan is het van belang de samenstelling en het uitlooggedrag van deze slakken te weten. Op basis van die resultaten kan een idee verkregen worden op welke manier deze slakken kunnen worden toegepast.

In dit kader is eerst nagegaan welke samenstelling- en uitlooggegevens bekend zijn van deze slakken (paragraaf 3.8.1 respectievelijk 3.8.2). Vervolgens zijn de uitlooggegevens nader bekeken en vergeleken met die van AVI-bodemassen en kolenvergassingsslakken (paragraaf 3.8.3 en 3.8.4)³⁾. Tenslotte zijn op basis van de zo verkregen gegevens, de mogelijke toepassingen nagegaan.

3.8.1 Samenstelling van de HVT-slakken

In het navolgende wordt onder as verstaan een residu dat **niet** door het smeltpunt is geweest terwijl **slak** dat wel is geweest.

Van de HVT-slakken is de samenstelling onderzocht in vergelijking met AVI-bodemas [1]. Dit onderzoek is uitgevoerd door de TU-Wenen met HVT slak verkregen bij door VAI uitgevoerde testen met huisvuil. De AVI-bodemas was afkomstig van een huisvuilverbrandingsinstallatie in Oostenrijk. Hierna wordt deze AVI-bodemas met AVI-A aangeduid. In Nederland zijn AVI-assen onder andere op samenstelling onderzocht in het Mammoet project [18]. Deze worden hierna met AVI-1, AVI-2 en AVI-3 aangeduid.

Huisvuilassen bevatten gewoonlijk een koolstofgehalte van circa 1 tot 5%. Bij de HVT-slakken blijkt het koolstofgehalte lager te zijn (0.2 tot 1%). Dit is te verwachten omdat de HVT-slakken ontstaan bij een hogere verwerkingstemperatuur. In welke vorm koolstof aanwezig is, is niet onderzocht.

Het metaal- en chloridegehalte van de HVT-slakken is hieronder gegeven in vergelijking met AVI-bodemassen [1, 18].

³⁾ De vergelijking met AVI-bodemas is uitgevoerd, omdat alleen daarop veel onderzoek is uitgevoerd ten aanzien van de toepasbaarheid.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

HTV-slak	AVI-A ¹⁾	AVI-1 ¹⁾	AVI-2 ¹⁾	AVI-3 ¹⁾
[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
Cl tot 740	tot 4000	2445	1050	2405
Ni tot 270	82 - 282	86	40	46
Cr tot 4100	200 - 9600	296	235	248
Cu tot 3500	500 - 3000	3212	1283	669
Pb tot 80	1400 - 4300	1637	1458	1086
Zn tot 540	2600 - 7700	2125	1848	1239
Cd < 0.5	5 - 77	7.8	2.2	2

¹⁾ AVI-A: gegevens van AVI-bodemassen volgens referentie 1
 AVI-1, 2, 3: bodemassen van drie verschillende verbrandingsinstallaties in Nederland

De HTV-slak bevat duidelijk minder chloride, lood, zink en cadmium dan de AVI-bodemassen. Op basis van de hogere reactietemperatuur en de vluchtigheid van de betreffende metaalchloride is dit zeer aannemelijk. Vergeleken met de bodemassen van verbrandingsinstallaties in Nederland zijn de gehalten aan chroom en nikkel in de HTV-slak tamelijk hoog. Misschien is dit veroorzaakt door contaminatie door contact met bepaalde materialen zoals chroom/nikkel staal.

3.8.2 Uitlooggedrag van HTV-slakken

Er zijn alleen resultaten bekend van uitloging aan HTV-slakken middels de DIN 38 414 S4 uitloogproef [1]. Deze test kan zowel uitgevoerd worden met gedeïoniseerd water (HTV I) als met aangezuurd water (HTV II). In paragraaf 3.8.3 wordt nader op deze test ingegaan.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

	HTV I	HTV II
	[mg/kg]	[mg/kg]
pH	6.7 - 7.8	5.6 - 6
Cl	< 20	--
Cr	< 1	< 1
Cu	< 1	< 1
SO ₄	< 100	--
Pb	< 1	< 1
Zn	8 - 9	2
Ni	< 1 - 7	1 - 7
Cd	< 0.1	< 0.1
TOC ¹⁾	< 50	--

¹⁾ Totale hoeveelheid organische koolstof

Aluminium is door VAI bij een aantal proeven gevonden in een concentratie van 10 mg/kg.

3.8.3 Vergelijking kolomtest (NEN 7343) en Duitse uitloogtest (DIN 38 414 S4)

Om een vergelijking te kunnen maken tussen het uitlooggedrag van HTV-slakken, kolenvergassings (KV) slakken en van AVI-bodemassen, zullen uitlooggegevens van deze drie soorten materialen met elkaar vergeleken moeten worden. Er zijn echter geen uitlooggegevens bekend van HTV-slakken volgens de kolomtest, terwijl beoordeling van mogelijke toepassingen van secundaire grondstoffen in Nederland mede geschied op basis van gegevens uit deze test. Zoals aangegeven zijn aan de HTV-slakken wel uitloogproeven uitgevoerd volgens DIN 38 414 S4. Om een uitspraak te doen over de toepasbaarheid van HTV-slakken is hier bekeken of de gegevens uit de Duitse uitloogtest vertaald kunnen worden naar de kolomtest.

Uitloogtest DIN 38 414 S4

Bij de Duitse DIN 38 414 S4 test wordt in de regel het materiaal onderzocht in de staat waarin het wordt gestort. Het materiaal wordt pas verkleind als de korrelgrootte meer is dan 10 mm. De uitloogtest wordt uitgevoerd bij kamertemperatuur gedurende 24 uur. Hierbij wordt 100 g droge stof met 1 l gedeïoniseerd water gemengd. Er kan ook eventueel gekozen worden voor water aangezuurd met CO₂.

Kolomtest

Bij de kolomtest wordt gebruik gemaakt van met salpeterzuur aangezuurd water tot pH = 4. Er wordt net als bij de Duitse test gemeten tot een vloeistof/vaste stof

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

verhouding (L/S) van 10 l/kg. Het aangezuurde water wordt echter 6 maal tussentijds ververs. Als een verhouding van L/S = 10 bereikt wordt is de verblijftijd circa 500 uur geweest. De test wordt bij kamertemperatuur uitgevoerd.

Het zal duidelijk zijn dat de resultaten uit de kolomtest niet zonder meer om te zetten zijn naar de DIN test. Er is daarom begonnen met zoveel mogelijk gegevens van deze uitloogtesten naast elkaar te zetten.

In de volgende tabel zijn uitloogresultaten van verschillende AVI-assen gegeven. De samenstelling van deze assen waren zover bekend van dezelfde orde grootte (zie paragraaf 3.8.1).

Uitlooggegevens AVI-assen

Kolomtest				DIN 38 414 S4 (enkelvoudig uitgevoerd)			
	AVI-1	AVI-2	AVI-3	Z 02	Z 25	W 02	W 25 ¹⁾
		[mg/kg]			[mg/kg]		
pH	11,3	11,2	11,5	10,2	11,2	10,7	10,7
As	0,03	0,015	0,04				
Ba	1,33	1,32	1,98				
Ca	2708	1155	4979				
Cd	0,002	0,002	0,002				
Cl	1875	856	2047	2400	1100		
Cr	0,11	0,21	0,188			0,17	
Cu	4,49	4,65	5,55	0,73	0,92	0,87	0,35
K	507	118	492				
Mo	0,95	0,38	0,3				
Na	822	265	585				
Ni	0,11	0,12	0,11				
Pb	0,35	0,44	0,4				
PO ₄	0,11	0,23	0,43				
SO ₄	5761	2068	4016	3400	2600	3600	1,3
Sn	0,12	0,1	0,1				
Zn	0,52	0,5	0,6	0,24	0,48	1,1	0,38

- ¹⁾ Z 02: Zomer AVI-bodemassen 0 - 2 mm
 Z 25: Zomer AVI-bodemassen 2 - 5 mm
 W 02: Winter AVI-bodemassen 0 - 2 mm
 W 25: Winter AVI-bodemassen 2 - 2 mm

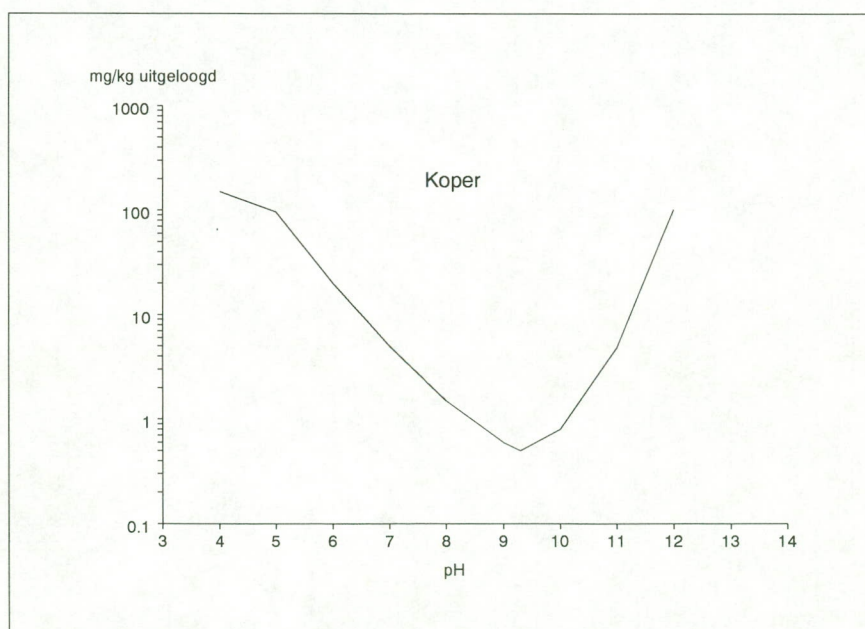
Helaas zijn niet alle elementen die zijn onderzocht bij de kolomtest ook bij de DIN test geanalyseerd.

De resultaten van de kolomtest van drie verschillende AVI-bodemassen uit Nederland zijn hier gegeven. Hiermee kan inzicht verkregen worden over het verschil in uitlooggedrag dat verwacht kan worden tussen verschillende AVI-assen. Hiermee rekening houdend kunnen we concluderen dat de Duitse DIN test verras-

send goed overeenkomt met de kolomtest bij $L/S = 10$ voor alle gemeten elementen behalve voor koper. Het al dan niet aanzuren van het water is dus niet van grote invloed bij AVI-bodemassen. Dit komt doordat AVI-bodemassen een sterk basisch karakter hebben zoals duidelijk te zien is aan de pH waarde bij $L/S = 10$ van de kolomtest.

Koper vormt echter een uitzondering. Er worden bij de DIN test lagere waarden gemeten dan bij de kolomtest. Dit is niet te herleiden tot een verschil in samenstelling van het uitgangsmateriaal met betrekking tot koper omdat het kopergehalte bij de AVI-bodemassen gemeten met de kolomtest varieerde tussen de 670 en 3210 mg/kg, terwijl de uitloging ongeveer hetzelfde is. Een mogelijke verklaring voor dit verschil is de sterke afhankelijkheid van het uitlooggedrag van koper en de pH zoals te zien is in onderstaande figuur [19]. Hoewel de pH van de waterfase in de kolomtest na doorstroming hoog is, zal in het begin van de kolom het milieu toch zuurder zijn dan uiteindelijk gemeten wordt omdat met aangezuurd water gewerkt wordt. Door de sterke afhankelijkheid van het uitlooggedrag en de pH wordt hierdoor waarschijnlijk in het begin van de doorstroming meer koper uitgeloozd dan aan het einde.

Geconcludeerd kan worden dat voor AVI-bodemassen de resultaten van de kolomtest en de DIN test min of meer vergelijkbaar zijn.



Uitloging van koper als functie van de pH

3.8.4 Vergelijking uitloging HTV-slakken, AVI-assen en KV-slakken

In het hiernavolgende zijn gegevens van de uitloging van HTV-slakken zoals bepaald bij de DIN test vergeleken met gegevens van AVI-bodemassen en KV-slakken bepaald met behulp van de kolomtest.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

	HTV I	HTV II	AVI-3	KV
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
pH	6,7 - 7,8	5,6 - 6	11,5	10,7
Ca				480
As				0,03
Cl	< 20		2047	
SO ₄	< 100		4016	
Pb	< 1	< 1	0,4	
Zn	8-9	2	< 0,6	
Ni	1-7	1-7	< 0,11	
Cd	< 0,1	< 0,1	< 0,002	0,001
Cu	< 1	< 1	5,55	0,021
Cr	< 1	< 1	< 0,188	0,003
Al	10	10		
Se				0,057

De uitloging van de HTV-slakken is aanzienlijk hoger dan van de KV-slakken en ligt in grote lijnen in dezelfde orde grootte als die van de AVI-bodemassen.

De uitloging van lood, cadmium en chroom uit de HTV-slakken is vergelijkbaar met die van de AVI-bodemassen. De uitloging van koper lijkt minder maar is, zoals aangegeven in paragraaf 3.8.3, moeilijk vergelijkbaar (DIN test versus kolomtest).

Chloor en sulfaat logen minder uit bij de HTV-slakken dan bij de AVI-bodemassen omdat de HTV-slakken minder chloor en sulfaat bevatten. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat chloor en sulfaat meer vervluchtigen gedurende het vergassingsproces vanwege de hoge temperatuur.

De uitloging van de elementen zink en nikkel uit de HTV-slakken is opvallend hoger dan bij de AVI-bodemassen. Het is echter te verwachten dat de mobiliteit van zink en nikkel bij de AVI-assen zal toenemen als de assen hun basische karakter verliezen.

3.8.5 Toepassingsmogelijkheden

In het huidige ontwerp Bouwstoffenbesluit Bodem- en Oppervlaktewateren-bescherming d.d. 26 september 1991 (oBB) is een lijst van stoffen met bijbehorende grenswaarden voor samenstelling en uitloging opgenomen, waaruit kan worden afgeleid onder welke voorwaarde bouwmaterialen zouden mogen worden toegepast als het besluit in deze vorm van kracht zou gaan. Deze samenstellingseis staat momenteel ter discussie. Tevens is een lijst opgenomen van bouwmaterialen die gedurende een bepaalde overgangsperiode zonder toetsing aan de grenswaarden kunnen worden toegepast. In deze lijst zijn onder andere opgenomen cementbeton met AVI-assen, AVI-assen als zodanig en AVI-assen stabilisatie [20].

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

Door samenstelling en uitloging van HTV-slakken te vergelijken met de grenswaarden gegeven in oBB voor niet-vormgegeven materialen, kan bepaald worden of deze slakken ongebonden toegepast mogen worden. Hieronder zijn de grenswaarden, uitlooggegevens en samenstelling voor HTV-slakken genoteerd.

	Samenstelling		Uitloging		
	HTV-slak	Grenswaarde ¹⁾	HTV I	HTV II	Grenswaarde ²⁾
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
Cl	tot 740	5000	< 20		5000
Ni	tot 270	250	< 1-7	1-7	4,0
Cr	tot 4100	1250	< 1	< 1	10
Cu	tot 3500	375	< 1	< 1	4,0
Pb	tot 80	1250	< 1	< 1	8,0
Zn	tot 540	1250	8-9	2	14
Cd	< 0,5	10	< 0,1	< 0,1	0,1

¹⁾ Grenswaarden voor samenstelling niet-vormgegeven materialen

²⁾ Grenswaarden (U2) voor uitloging niet-vormgegeven materialen, bepaald met behulp van kolomtest

Er kan geconcludeerd worden dat de slakken niet als zodanig (niet-vormgegeven) toegepast kunnen worden voornamelijk op basis van samenstelling (chromium en koper). Zoals hierboven reeds opgemerkt, staat dit momenteel ter discussie.

Helaas bleek dat alleen uitlooggegevens bekend zijn van de HTV-slakken en niet van vormgegeven producten die deze slakken bevatten. Hieruit volgt dat niet zonder meer aangegeven kan worden op welke manier de slakken kunnen worden toegepast in producten. Er is echter wel getracht een indicatie over de mogelijkheden te geven.

Gezien de uitloogbaarheid van de HTV-slakken zou het kunnen zijn dat ze toegepast kunnen worden in producten waar AVI-assen ook in worden toegepast, zoals bijvoorbeeld in betonstraatstenen, asfaltbeton, cementgebonden wegfundering en tegels. Door het basische milieu van cementgebonden toepassingen zullen de elementen zink en nikkel waarschijnlijk minder uitlogen. Toepassen in asfaltbeton zal ook een sterke reductie van uitloging veroorzaken doordat bitumen de slakken fysisch afschermt.

Voordat er echter definitief een uitspraak gedaan kan worden over de toepassing zal het uitlooggedrag van de producten middels een standtest bepaald moeten worden. Zeker de elementen nikkel en zink zullen onderzocht moeten worden omdat deze elementen duidelijk meer uitlogen uit HTV-slakken dan uit AVI-assen. De producten die met deze slakken gemaakt kunnen worden, zullen waarschijnlijk aan U2-grenswaarden voldoen. Dit houdt in dat een aantal voorzieningen getroffen moeten worden om de producten toe te mogen passen. Voor U2 voorzieningen is hierover onder andere het volgende in het ontwerp Bouwstoffenbesluit opgenomen:

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

Artikel 8. 'Het gebruik van V2 bouwstoffen op of in de bodem, uitgezonderd de waterbodem, in werken die geen bodem worden, is uitsluitend toegestaan in hoeveelheden van 10,000 ton aanéénsluitend in een werk. In afwijking hiervan is het gebruik van V2 bouwstoffen in funderingen van een wegenbouwkundig werk toegestaan in hoeveelheden van ten minste 1000 ton aanéénsluitend.'

Artikel 9. 'Contact van de bouwstoffen met hemelwater moet worden voorkomen. De isolerende maatregelen moeten zodanig worden onderhouden dat haar goede werking is gewaarborgd.'

Om produkten met secundaire grondstoffen zonder voorzorgsmaatregelen toe te mogen passen moet er aan strengere eisen dan U2 grenswaarden worden voldaan, de zogenaamde U1 grenswaarden.

Hoewel verwacht mag worden dat de toepassingsmogelijkheden van de HTV-slakken technologisch gezien waarschijnlijk beter zijn dan die van AVI-assen (homogener en lager gehalte verteerbare delen) blijkt uit het voorgaande dat de toepassingsmogelijkheden milieuhygiënisch bezien verder onderzocht moeten worden.

In een vervolgonderzoek lijkt het zinvol een aantal produkten met HTV-slakken te testen op uitloging met behulp van een standtest zodat de verschillende toepassingsmogelijkheden geëvalueerd kunnen worden.

3.9 Economische evaluatie

Uitgangspunten financieel/economische berekeningen in relatie tot een vergassingsinstallatie voor polymere afval

A. Synthesegasproductie

De lagere verbrandingswaarde van het polymere afval is, op basis van de in hoofdstuk 3 gegeven samenstelling, berekend op circa 37.000 kJ/kg afval.

Wij nemen als basisgeval een vergasser waarbij per kilogram polymeer afval, 0,6 kg stoom en 1,05 kg O₂ aan de reactor wordt toegevoerd. De produktie aan synthesegas bedraagt dan circa 3 m³₀ per kg polymeer afval, bij een chemisch rendement van de vergasser van 73% (lagere verbrandingswaarde synthesegas 9.000 kJ/m³₀).

De voelbare warmte in het produktgas dat de vergasser op hoge temperatuur verlaat, wordt in een 'waste heat boiler' benut voor de opwekking van stoom (80 bar, 520 °C). Een deel van de stoom kan in het vergassingsproces worden gebruikt, om welke reden in de berekeningen rekening wordt gehouden met een netto stoomproduktie; deze stoom kan vervolgens op diverse manieren worden benut, bijvoorbeeld ten behoeve van elektriciteitsopwekking, als processtoom of in een w.k.k. systeem.

Een nauwkeurige berekening van de totale investeringskosten voor een vergassingsinstallatie van polymere afval ten behoeve van synthesegasopwekking is thans moeilijk te geven, om welke reden wij de specifieke investeringskosten (guldens per ton verwerkingscapaciteit per jaar) als uitgangspunt hebben genomen en gevarieerd hebben in een bereik van 1.500 - 4.500 gulden per ton (figuur 13).

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

De opbrengsten uit de levering van synthesegas en hoge druk stoom zijn verdisconteerd door een rekenprijs van respectievelijk 190 (dit komt overeen met circa f 0.15/m³₀) en 35 gulden per ton. Daarnaast is de gevoeligheid van de terugverdiendtijd voor deze opbrengsten getoetst door deze prijzen (gekoppeld) te variëren in een bereik van respectievelijk 130 - 330 en 24 - 60 gulden per ton (figuur 14). Ter vergelijking: de aardgasprijs wordt gesteld op f 0,25/m³₀ f 320/ton.

Ten aanzien van de kosten van verwerking van polymere afval, gaan wij ervan uit dat het afval wordt aangeleverd en per ton aangeleverd afval een bedrag aan de verwerker zal worden betaald: de gate-fee. De gevoeligheid van de terugverdiendtijd voor deze 'gate-fee' is nader beschouwd in een bereik van 30 - 300 gulden per ton (figuur 15).

De kosten voor het verbruik aan zuurstof (100 gulden per ton) en elektriciteit (0.125 Dfl/kWhe) zijn in rekening gebracht; hierbij is een zuurstofverbruik van 1,05 ton en een elektriciteitsverbruik van 75 kWhe per ton verwerkingscapaciteit gehanteerd.

De kapitaalskosten worden op basis van annuïteiten in rekening gebracht met een rentepercentage van 9% en een economische levensduur van 15 jaar.

Daar wij relatief grootschalige installaties beschouwen, gaan wij uit van een personeelsbezetting van 8 mensen per ploeg, in 5-ploegendienst.

Het aantal produktieve bedrijfsuren wordt 7.200 per jaar genomen (hetgeen gebruikelijk is voor afvalverwerkingsinstallaties) en de jaarlijkse onderhoudskosten 4% van de initiële investeringssom.

In de figuren 13 tot en met 15 is steeds aangegeven welke basiswaarden zijn aangehouden, nl. f 3200 voor de investeringskosten per ton, f 190 voor de opbrengst van syngas per ton en f 200 voor de gate-fee per ton afval.

Bij deze basiswaarden blijkt een terugverdiendtijd van 8 à 10 jaar realiseerbaar.

B. Stookgasproduktie

Uitgegaan wordt van een stookgasproduktie van 6 Nm³/kg afval met een lagere verbrandingswaarde van 4.200 kJ/Nm³. Dit betekent een chemisch rendement van de vergasser van 68%, welk rendement eventueel verhoogd kan worden door voorverwarming van de vergassingslucht door warmtewisseling met het hete produktgas. In het hier beschouwde geval wordt het hete produktgas gekoeld door warmtewisseling met ketelvoedingswater van de afgassenketel. Het gekoelde produktgas wordt naar de verbrandingskamer van een gasturbine geleid; na de gasturbine worden de hete rookgassen gekoeld in een afgassenketel voor de opwekking van hoge druk stoom. De geproduceerde stoom expandeert volledig in een condensatiestoomturbine, zodanig dat een maximale hoeveelheid elektriciteit wordt geproduceerd. Aldus is een geïntegreerd systeem ontstaan voor de vergassing van polymere afval en de opwekking van elektriciteit in een gasturbine en een in het systeem geïntegreerde stoomturbine: PAV-STEG. In figuur 16 is de PAV-STEG installatie schematisch weergegeven.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

Hoewel overall rendementen van meer dan 40% voor een vergasser STEG installatie worden verwacht bij een verdere ontwikkeling van de gasturbines, hebben wij in dit geval het overall rendement beperkt tot 39% (27,5 gasturbine + 11,5 stoomturbine).

De kapitaalskosten worden op basis van annuïteiten in rekening gebracht met een rentepercentage van 9% en een economische levensduur van 15 jaar.

Daar wij relatief grootschalige installaties beschouwen, gaan wij uit van een personeelsbezetting van 8 mensen per ploeg, in 5-ploegendienst.

Het aantal produktieve bedrijfsuren wordt 7.200 per jaar genomen (hetgeen gebruikelijk is voor afvalverwerkingsinstallaties) en de jaarlijkse onderhoudskosten 4% van de initiële investeringssom.

Ten aanzien van de kosten van verwerking van polymere afvallen, gaan wij ervan uit dat het afval wordt aangeleverd en per ton aangeleverd afval een bedrag aan de verwerker zal worden betaald: de gate-fee. De gevoeligheid van de terugverdiëntijd voor deze 'gate-fee' is nader beschouwd in een bereik van 100 - 300 gulden per ton (figuur 17).

In de literatuur worden voor de investeringskosten van vaste-brandstofvergassing (=kolen) STEG systemen getallen gequoteerd van 1000 - 1650 \$/kWe geïnstalleerd. Dit komt overeen met circa \$700/ton kolenverwerkingscapaciteit per jaar. Daar wij hier met een 'onbekende' afvalstof werken, hebben wij een conservatieve waarde voor de specifieke investeringskosten gehanteerd en gevarieerd in een bereik van 1600 - 3800 Dfl/ton verwerkingscapaciteit per jaar (figuur 18).

De opbrengst van het PAV-STEG systeem komt uit de verkoop van elektriciteit; de elektriciteitsprijs is gevarieerd in een bereik van 0.10-0.20 Dfl/kWe (figuur 19).

In de figuren 17 tot en met 19 is aangegeven welke basisbedragen zijn aangehouden, namelijk f 200 voor de gate-fee, f 3200 voor de investeringskosten per ton verwerkingscapaciteit per jaar, en f 0,125/kWe.

Ook hier blijkt bij deze basisbedragen een terugverdiëntijd van 8 à 10 jaar mogelijk te zijn.

Van Nippon steel werden gegevens verkregen omtrent de Ibaraki plant. Deze heeft een verwerkingscapaciteit van circa 162.000 ton per jaar; de investering bedroeg circa US\$ 250.000.000 ofwel circa \$ 1500/ton verwerkingscapaciteit per jaar. De gate-fee bedraagt US\$ 98. Deze bedragen komen dus goed overeen met de hierboven vermelde.

Van Exxon België werd een overzicht ontvangen, waarin de kosten voor een vier-tal thermische verwerkingstechnieken zijn aangegeven (zie figuur 20). Voor vergassing wordt daarin een gate-free aangegeven tussen DM 200 en 600 per ton afval. Om deze getallen met de in deze studie berekende gate-free te kunnen vergelijken, is meer informatie nodig omtrent de berekeningswijze.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Gebleken is dat HTV van **alleen** polymeer afval niet in de literatuur is beschreven. Ook bij de bedrijven die benaderd zijn is dit niet uitgevoerd. Er zijn wel plannen in die richting (zoals bij Texaco en Shell).

De evaluatie van de diverse HTV vergassingssystemen op hun geschiktheid voor het vergassen van polymeer afval kan derhalve niet geschieden op basis van experimentele gegevens daarover. Uit de beschrijvingen over vergassing van allerlei afvalmateriaal kan echter worden geconcludeerd dat de vergassers zonder meer puur kunststofafval zullen kunnen vergassen. De voeding echter is hierbij als probleemgebied geïdentificeerd. Bij de CWB en vooral bij de entrained bed vergassers moet de voeding verkleind worden dan wel vloeibaar worden gemaakt. Ook bij de schacht vergassers dient aan de voeding veel aandacht te worden besteed om te voorkomen dat de toevoer door smelten van het kunststofafval verstopt. Enkele in bedrijf geweest zijnde vergassingsplants zijn om economische redenen gestopt (Funabashi, HTW in Finland). Voor zover bekend is alleen bij VAI Oostenrijk het onderzoek om (nog niet geheel duidelijke) technische redenen gestopt.

Ook voor de midden temperatuur vergassingssystemen geldt dat de voeding als probleemgebied wordt gezien. Kenmerkend verschil met de HTV systemen is dat de as niet door het smeltpunt is geweest en daardoor naar verwachting een slechter uitlooggedrag zal vertonen. Het is echter niet uitgesloten dat de combinatie MTV met een verglazing van de as concurrerend zal zijn met HTV, omdat de verglazing steeds goedkoper uitgevoerd kan worden.

Mits eventuele voedingsproblemen zijn opgelost kan de vergassing als een omni-voor proces worden beschouwd in vergelijking met andere technieken voor recycling van kunststofafval zoals back to monomer en back to feedstock waar eisen aan de samenstelling van de voeding moeten worden gesteld.

De gasreiniging zal bij het vergassen van kunststofafval mogelijk eenvoudiger zijn dan bij kolenvergassing of vergassing van gemengd afval waar verwijdering van stof, zwavel (H_2S) en zure gasen noodzakelijk is. In kunststof zit slechts weinig zwavel waardoor een zwavelverwijderingsstap mogelijk kan vervallen.

Naast de technische mogelijkheden van hoge temperatuur vergassing zijn ook de economische randvoorwaarden nagegaan zoals de mogelijke afzet van het te produceren syngas en de kosten.

De potentiële afzetmogelijkheden van het syngas zijn aanmerkelijk groter dan de hoeveelheid die bij vergassing van kunststofafval geproduceerd kan worden. Geconcludeerd wordt dan ook dat de zuiverheid en prijs voor deze afzet bepalend zullen zijn. Het blijkt dat bij een gate-fee van f 200/ton afval, een prijs van f 190/ton voor de opbrengst van het geproduceerde syngas, en een investering van f 3200 per ton verwerkingscapaciteit per jaar een terugverdientijd van 8 à 10 jaar mogelijk is. De genoemde prijzen zijn relatief laag voor de opbrengst en

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

hoog voor de investering, met andere woorden er is conservatief gerekend; ter vergelijking: voor een nieuw te bouwen AVI (AfvalVerbrandingsInstallatie) geldt een investering van f 1400/ton verwerkingscapaciteit per jaar en een terugverdiëntijd die gelijk is aan de levensduur van de installatie (circa 25 jaar).

De resultaten van de economische evaluatie zijn vergeleken met gegevens van NSC (Nippon Steel Corporation) uit Japan en van Exxon uit België. NSC vraagt een gate-free van 98 \$/ton; dit komt goed overeen met de bovengenoemde gate-free. Exxon berekent een gate-free tussen de DM 200,- en DM 600,- (niet duidelijk is met welke opbrengsten rekening is gehouden). Om deze getallen met boven berekende gate-free van f 200/ton te kunnen vergelijken, is meer informatie over de berekeningswijze van Exxon nodig.

Concluderend: de mogelijkheden van de vergassingsroute ten behoeve van de verwerking van polymere afvalstoffen lijken zowel technisch als financieel veelbelovend.

4.2 Aanbevelingen

Op basis van voorgaande eindconclusie is het aan te bevelen om het vergassingsalternatief voor de verwerking van polymere afvalstoffen nader uit te werken met als doel om een implementatie op industriële schaal te bewerkstelligen. Hiertoe kan het volgende ontwikkelingspad bewandeld worden:

- A. Inventarisatie van het potentieel draagvlak voor de vergassingsoptie in Nederland middels een voorbereidende studie; de opdracht hiervoor is inmiddels door Senter aan TNO/Nesraad verleend;
- B. Een workshop met vertegenwoordigers van industrie en overheid, met als doel een go/no go beslissing omtrent de wenselijkheid van en de structuur voor de ontwikkeling van de vergassingsoptie;
- C. Identificatie van bottle necks en definiëring van een technisch ontwikkelingsprogramma;
- D. Ontwikkeling van een conceptprogramma met fasering van een pilot- en demonstratie fase tot implementatie op industriële schaal.

5 Literatuur

- [1] Bericht über das Bürgerbeteiligungsverfahren für den Versuchsbetrieb der Hochtemperaturvergasungsanlage der VOEST Alpine (langfassung).
- [2] Freimann P., Staudinger G.: Das Voest Alpine Hochtemperaturvergasungsverfahren; Voest-Alpine Industrieanlagenbau GmbH, Linz (1990).
- [3] Persbericht VAI, december 1991
- [4] Diverse brochures en artikelen van Texaco
- [5] Guide book voor afvalplasticverwerking en - recycling; Plastic Waste Management Institute Japan maart 1989.
- [6] Brochures van Nippon Steel en persoonlijke info van Nippon Steel.
- [7] Info van Hr. Lucas van DSM tijdens bespreking bij Stipt, maart 1992
- [8] Lurgi Gas production technology: 'The Shell gasification Process'; brochure nr 189 Lurgi GmbH Frankfurt am Main
- [9] Mielke, H. en Woelke M.,
Müllverstromung in der zirkulierenden
Wirbelschicht. Müllverbrennung und Entsorgung V40-V45.
- [10] Schweizer A., Herbert P.K., Löffler J.C.,
Heizgas aus baumrinde zum Betrieb eines Kalkdrehofens in
einem Sulfat-Zelstoffwerk
Zement-Kalk-gips 44 Nr. 5/1991
- [11] Oy bioflow; persoonlijke informatie
- [12] TPS; persoonlijke informatie
- [13] Koljonen, J., Södervall T.,
Synthesis gas from peat: a Finnish peat ammonia venture.
Energy source, Vol. 13, 95-103
- [14] Johansson, A., Sipilä, K.,
New ecologically acceptable methods for fuel and power
production from biomass and peat.
Energy sources, Vol. 13, 87-93
- [15] IEA rapport
- [16] Info Hr Costerus HBG

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

- [17] Persoonlijke info Degussa en Haldor Topsoe
- [18] 'Mammoet '85, deelrapport 7 Uitloging van primaire en secundaire grondstoffen', Th. Aalbers e.a., RIVM, juni 1990
'Voorlopige resultaten van Project Speciatie AVI-Bodemas',
H. van der Sloot e.a., ECN, maart 1992
- [19] 'Milieuhygiënische kwaliteit van primaire en secundaire bouwmaterialen in relatie tot hergebruik en bodemsanering',
Th. G. Aalbers e.a., RIVM, juni 1992
- [20] Reductie van de kooldioxyde-uitstoot via het afvalstoffenbeleid,
van Heyningen e.a. oktober 1990

De navolgende referenties zijn het resultaat van de computerliteratuurrecherche

- [C1] AUTOMOBILE PLASTICS WASTE YIELDS HIGH ENERGY RETURNS
Mod.Plast.Int. 19, No.4, April 1989, p.10
- [C2] GASIFICATION OF WASTE TYRES IN A FLUID BED REACTOR
Raman K P; Walawender W P; Fan L T
Conserv.& Recycling 4, No.2, 1981, p.79-88
- [C3] PYROLYSIS AND GASIFICATION OF CELLULOSE WASTE USING A FLUIDISED BED
Schoeters J; Buekens A; Masson H
Inf.Chim. No.199, March 1980, p.165-70
- [C4] EXPERIMENTAL TECHNIQUES AND MATHEMATICAL MODELS IN THE STUDY OF WASTE PYROLYSIS AND GASIFICATION
BUEKENS A G; MERTENS J J R; SCHOETERS J G E
CONSERV.& RECYCLING 3, NO.1, 1979, P.1-23
- [C5] DOW SPELLS OUT ITS PLANS
Plast.Rubb.Wkly. No. 1313, 25th Nov. 1989, p.11
- [C6] FLUIDISED BED TO GASIFY PLASTIC WASTES
Tsukishima Kikai Co.Ltd.
Chem.Week 129,No.12, 16th Sept. 1981, p.44
- [C7] Furnace for gasification of plastic waste - has ignition burner provided in burning section and double covers placed in material charge port (SHIN-) SHINTO KIKO KK
- [C8] Continuous two-stage co-current gasification of organic wastes by air, etc. in choice of furnaces to give fuel gas
KERNFORSCHUNGS JULICH

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

- [C9] Utilisation of wastes as fuels - by gasification and burning gases produced, esp. for steam raising, and recycling combustion flue gas to gasifier
- [C10] Fluidised bed gasifier - producing gas with high carbon monoxide and hydrogen content in counter-flow with ascending gases
- [C11] Processing of residues, e.g. residual oils, containing heavy metals in shaft gasifier, with metals trapped in glassy slag which can be dumped
- [C12] Polymer gasification processes. A review.
Polymer Engineering Reviews, 2 (1983) 3, S:189-210,
- [C13] PYROLYSE BESEITIGT KUNSTSTOFFABFÄLLE.
SO TECH. RUNDSCH. 78 (1986) H. 44, S. 70-73, PP 4, ABB:5,
- [C14] Polyurethan-Recycling durch Alkoholyse In zweistufigem Verfahren werden Abfallprodukte wieder reaktionsfähig.
- [C15] Bellman. U., Kaminski, W. 'Kunststoffabfälle pyrolysieren';
Umwelt 19 (1986) 336-337
- [C16] Brauman S.K., 'Char formation in PVC III. Mechanistic aspects of isothermal degradation of PVC containing some dehydrochlorination/charring agents'; Journal of Applied Polymer Science, 26 (1981) 353-371.
- [C17] Domke. B., 'Die Wiederaufbereitung von Kunststoffabfälle- ein Zukunftsweisender Beitrag zur Entlastung der Umwelt'; Praxis der Naturwissenschaften - Chemie, 35 (1986) *, 2-6
- [C18] Dorner. W.G.: 'Pyrolyse von Kunststoffabfälle'; Kunststoffe - Plastics (Solothurn Switz.), 33 (1986) 2, 20-24
- [C19] Gardner. R.O., Browner R.F., 'The effect of chlorine constituents and polymer additives on oxidative pyrolysis of chlorinated polymers'; Combustion and Flame, 55 (1984) 117-120
- [C20] Huggett. C., Levin B.C., 'Toxicity of pyrolysis and combustion products of PVC; a literature assessment'; Fire and Materials. 11 (1987) 3. 131-142
- [C21] Ida. T., Nakanishi. M.; 'Investigations on PVC II. Pyrolysis of Chlorinated Polybutadienes as model compounds for PVC'; Journal of Polymer Science. 13 (1975) 1381- 1392.
- [C22] Israel, S.C., Yang. W.C., Bechard. M.; 'Characterisation of polymers by direct Pyrolysis/Chemical ionization Mass Spectrometry'; J. Macromolecular Science. A22 (57) (1985) 779-801
- [C23] Kaminsky, W. Sinn, H.; 'Pyrolyse von Kunststoffabfälle und Altreifen im Wirbelschichtreaktor'; Kunststoffe, 68 (1978) 284-290.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

- [C24] Klusmeier W. Kettrup A. Ohrbach K.H., 'The pyrolysis of polymers and identification of the soot adsorbed components'
Journal of Thermal Analysis, 35 (1989) 497-502
- [C25] Menzel J., Perkow H., Sinn H., 'Recycling Plastics';
Chemistry and Industry, 16 June (1973), 570-573.
- [C26] Menzel J., 'Der pyrolytische Abbau von Kunststoffe in einer WirbelSchicht',
Chemie Ingenieur Technik, 46 (1974) 607.
- [C27] Mitsui S., Nishizaki, H., Yoshida K.; 'Pyrolysis of polystyrene chips in fluidized beds';
Fluid Technology, Proc. Int. Fluid. Conf. 1975, Vol. 2 (1976) 561-564
- [C28] Schoeters, J.G., Buekens A.G., 'Pyrolysis of Plastics in a Steam fluidized bed';
Recycling [Int. Recycling Congress], Vol. 2 (1979) 1277-1280.

6 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever
NOH NOVEM/RIVM
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Namen en functies van de medewerkers
Ir. H.M.G. Temmink - IMET projectleider, werkgroep­leider
B. Linger - IMET research medewerker
Ir. E. Mulder - Wetenschappelijk research medewerker
Ing. J.B.L. de Groot - KRI research medewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed
Nesraad B.V.
Postbus 7
7595 ZG Weerselo

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
september 1991 - december 1992

Ondertekening



Ir. H.M.G. Temmink
onderzoekleider

Goedgekeurd door



Ir. A. Verbeek
afdelingshoofd

Bijlage 1 Het projectvoorstel

- A. Literatuurstudie naar de diverse soorten vergassingsinstallaties, die op de markt respectievelijk in ontwikkeling zijn en die in principe voor deze toepassing in aanmerking komen. Evaluatie voor hun voor- en nadelen in dit verband (AVT, Nesraad).
- B. Nagaan welke (kunststof-)afvalstromen in principe in aanmerking zouden dienen te komen om in een onderzoekproject experimenteel te worden onderzocht. Daarbij zal afstemming plaatsvinden met het overheidsbeleid op dit gebied. In dit verband spelen onder andere de vragen of bijvoorbeeld ook de kunststoffractie uit huishoudelijk afval moet worden gezien, of de gemengde en eventueel vervuilde kunststoffractie uit het bedrijfsafval, of de specifieke aspecten van PVC moeten worden meegenomen, wat de relatie is met bulk-scheidingstechnieken, met gescheiden inzamelsystemen etc. (MIT, AVT, KRI).
- C. Formulering van de eisen, die aan stookgas en in het bijzonder aan het eventueel te produceren syngas dienen te worden gesteld bij hergebruik voor verschillende doeleinden. De formulering van deze eisen zal plaatsvinden aan de hand van contacten met de industrie (probleembezitters, (potentiële) gebruikers van stook- en syngas) en de NFK (AVT, Nesraad).
- D. Inschatting/berekening van de verwachte samenstellingen van stook- en syngas bij de onder a. geselecteerde categorieën afval (AVT, Nesraad).
- E. **Beslispunt.** Wanneer blijkt, dat het aldus geproduceerde stook- en syngas niet aan de gestelde eisen kan voldoen, respectievelijk dat er onvoldoende afzetmogelijkheden zijn, zal het project hierna met een rapportage worden afgerond (AVT, Nesraad).
- F. Het analyseren van de voor- en nadelen van vergassen met respectievelijk lucht of zuurstof, mede in verband met atmosferische of drukvergassing, in relatie met de benodigde capaciteiten. Het aangeven van de constructieve gevolgen van drukvergassen, onder andere in verband met het toevoersysteem van de afvallen en de slakafvoer (AVT, Nesraad).
- G. Het aangeven van de mogelijke toekomstige structuur van het grootschalig vergassen in Nederland, op grond van de voorgaande resultaten. Daarbij spelen vragen als technische en economische capaciteitsgrootte, centraal of decentraal vergassen etc., mede een rol (AVT, MIT, KRI en Nesraad).
- H. Het aangeven van de toepassingsmogelijkheden van de slakken, die uit het vergassingsproces resulteren, op grond van hun verwachte uitloop en andere eigenschappen (MIT).
- I. Het geven van een schatting van de kosten van het vergassingsproces met inachtnahme van relevante specifieke kosten per systeem, zoals kosten van cokesverbruik en hulpbrandstof. Nagaan wat de consequenties zijn van speciale maatregelen, zoals recirculatie van het stookgas als alternatief van een extern toegevoerde hulpbrandstof. Aangeven van mogelijke toevoermethoden, hoeveelheden en kosten van de voor de productie van syngas te gebruiken zuurstof. Aangeven van de baten van de geproduceerde gassen en (bij syngas) van de vermindering van de kooldioxide-uitstoot. Vergelijken met de 'stookgasroute'. Terugwinning van onder andere halogeenzuren (PVC!) (AVT, Nesraad).
- J. Rapportage (AVT).

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

**Bijlage 2 Inventarisatie kunststofafval ten behoeve
van de haalbaarheidsstudie
'Toepassing Hoge Temperatuur Vergassing
van kunststofafvallen'**

B.J.N. Linger

december 1991

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

Inleiding

In het kader van de haalbaarheidsstudie 'Toepassing hoge temperatuur vergassing van kunststofafval' is een overzicht samengesteld van de kunststofafvalstromen die in Nederland vrijkomen.

Voor het overzicht wordt uitgegaan van een indeling naar categorie afval in relatie met de herkomst. De grootte van deze afvalstromen en het aandeel van de kunststof daarin staat weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Jaarlijkse hoeveelheden (kunststof)afvalstoffen eind jaren '80

Afvalstroom uit	Totaal (kton)	Kunststof	
		(kton)	(%)*
Industrie**	15000	63	<< 1
Bouw- en sloop	7750	39	<< 1
Land- en tuinbouw	14000	28	<< 1
Autowrakken	110	26	24
Huishoudens en KWD-bedrijven	4700/1800	330/172	7/10
Ziekenhuizen	115	14	12
Straat	470	10	2

* Hoeveelheid kunststofafval uitgedrukt in procenten van de totale afvalstroom.

** Exclusief zuiveringsslib en chemisch afval.

Van elke afvalstroom wordt aangegeven hoeveel kunststof er vrij komt en op welke manier dat verwerkt wordt. Tevens wordt bekeken wat de samenstelling, spreiding en verontreiniging van het kunststofafval is. Tenslotte wordt een overzicht gegeven van de additieven die in het kunststofafval kunnen voorkomen.

Als belangrijkste bron voor dit overzicht heeft de Infomap 'Informatiedocumenten Afvalstoffen' van het RIVM te Bilthoven gediend [1]. Andere bronnen worden apart in de hoofdstukken vermeld. Het cijfermateriaal is afkomstig van TNO-KRI te Delft.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

1 Industrie

1.1 Hoeveelheid en verwerking

De grootte en verwerking van deze afvalstroom wordt nader toegelicht in tabel 2.

Tabel 2 Hoeveelheid en verwerkingsmethoden van kunststofafval uit de industrie (1986)

Afvalstroom	Hoeveelheid (kton)	H*** (kton)	V (kton)	S (kton)
Procesafval	15	6		9
Productieafval	34	21		13
Produktafval	14	7		7
Totaal	63	34		29

*** H = Hergebruik; V = Verbranden; S = Storten

1.2 Samenstelling

Het proces- en productieafval bestaat uit allerlei soorten polymeren. Het produktafval bestaat voornamelijk uit PP, PE, PS en PVC [2].

1.3 Verontreiniging

Proces- en productieafval is licht verontreinigd en kan makkelijk weer in het productieproces worden opgenomen. De verontreinigingsgraad van het produktafval ligt aanmerkelijk hoger. Dit afval kan vergeleken worden met huishoudelijk afval (zie paragraaf 5.3)

1.4 Spreiding

Het procesafval ontstaat bij 18 bedrijven die polymeren produceren. Het productieafval komt vrij bij de circa 1000 bedrijven die deze grondstoffen ver- en/of bewerken tot kunststofartikelen. Produktafval komt in kleinere hoeveelheden vrij, maar meer verspreid.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

2 Bouw en sloop

2.1 Hoeveelheid en verwerking

De grootte en verwerking van deze afvalstroom wordt nader toegelicht in tabel 3.

Tabel 3 Hoeveelheid en verwerkingsmethoden van kunststofafval uit de bouw en sloop (1988)

Afvalstroom	Hoeveelheid (kton)	H (kton)	V (kton)	S (kton)
Produktafval				
Kabel	13			
Leidingbuis	3	0,3	10	19
Overig	13			
	—	—	—	—
Subtotaal 1	29	0,3	10	19
Verpakkingsafval				
Verfemmers	3			
Krimpfolies, zakken, jerrycans	3		2	4
Afval verpakkingen	4			4
	—	—	—	—
Subtotaal 2	10		2	8
Totaal	39	0,3	12	27

2.2 Samenstelling

In de bouw worden vele soorten kunststoffen toegepast. Het merendeel bestaat uit PP, PE, PS, PVC en PUR [2].

2.3 Verontreiniging

Het kunststofafval is zwaar verontreinigd met steen, beton en cement, vulstoffen van kabelbeschermingsmateriaal en verfresten.

2.4 Spreiding

Het afval komt op een beperkt aantal plaatsen en in grote hoeveelheden vrij.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

3 Land- en tuinbouw

3.1 Hoeveelheid en verwerking

De grootte en verwerking van deze afvalstroom wordt nader toegelicht in tabel 4.

Tabel 4 Hoeveelheid en verwerkingsmethoden van kunststofafval uit de land- en tuinbouw (1988)

Afvalstroom	Hoeveelheid (kton)	H (kton)	V (kton)	S (kton)
Produktafval				
Folie glastuinbouw	5,1			
Folie tuinbouw groente	1,1			
Folie tuinbouw overig	0,1	4,3	3	9
Folie veehouderij	10			
	—	—	—	—
Subtotaal 1	16,3	4,3	3	9
Verpakkingsafval				
Industriezakken	6			
Verp. gewasbescherm.	2			
Kratten/kisten	0,3	1	2,8	8,3
Folies/jerrycans/div.	2,6			
Trays	1,2			
	—	—	—	—
Subtotaal 2	12,1	1	2,8	8,3
Totaal	28,4	5,3	5,8	17,8

3.2 Samenstelling

Het produktafval bestaat voornamelijk uit PE, het verpakkingsafval uit PE, PP en PS [2].

3.3 Verontreiniging

Het produktafval is zwaar vervuild met zand, mest en stro. De zakken en folie uit het verpakkingsafval zijn licht verontreinigd met bijvoorbeeld kunstmestresten. Jerrycans kunnen vervuild zijn met gewasbeschermings- en ontsmettingsmiddelen.

3.4 Spreiding

Dit kunststofafval komt zeer verspreid en in kleine hoeveelheden vrij.

4 Autowrakken

4.1 Hoeveelheid en verwerking

De grootte en verwerking van deze afvalstroom wordt nader toegelicht in tabel 5.

Tabel 5 Hoeveelheid en verwerkingsmethoden van kunststofafval uit autowrakken (1986)

Afvalstroom	Hoeveelheid (kton)	H (kton)	V (kton)	S (kton)
Produktafval				
Personenauto's	23			
Bedrijfswagens	3		2	24
	—		—	—
Totaal	26		2	24

4.2 Samenstelling

Bij de fabricage worden verscheidene (hoogwaardige) kunststoffen toegepast. De automobiellindustrie in West-Duitsland gebruikte in 1986 vooral [3]:

- PUR (23%);
- PP (17%);
- PVC (18%);
- ABS (12%);
- PA (8%);
- PE (5%);
- PC (4%);
- POM (2%);
- PPE-blends (2%).

Het aantal in auto's verwerkte kunststoffen bedraagt circa 15, waarbij nog een groot aantal blends kan worden opgeteld.

4.3 Verontreiniging

Bij de verwerking van autowrakken komt het kunststofafval niet apart, maar in het shredderafval vrij. De kunststof vormt circa 25% van het shredderafval. Dit afval bestaat ondermeer uit:

- ferro- en non-ferrometalen (circa 20%);
- glas (circa 5%);
- papier (circa 5%);
- vezels (circa 5%);
- stof, onherkenbaar (circa 50%).

Ongeveer 75% van het kunststofafval bevindt zich in de fractie 'Stof, onherkenbaar'.

Het shredderafval kan verontreinigd zijn met olie en systeemvloeistoffen.

4.4 Spreiding

Het shredder c.q. kunststofafval komt op een tiental plaatsen in grote hoeveelheden vrij.

5 Huishoudelijk- en KWD-afval

5.1 Hoeveelheid en verwerking

De grootte en verwerking van deze afvalstroom wordt nader toegelicht in tabel 6.

Tabel 6 Hoeveelheid en verwerkingsmethoden van kunststofafval uit de huishoudens en KWD-bedrijven (1986)

Afvalstroom	Hoeveelheid (kton)		H (kton)	V (kton)	S (kton)
	HH	KWD			
Produktafval					
Kantoorartikelen	5	10			
Wegwerpartikelen	20	30			
Elek. apparatuur	15	5			
Meubels/matrassen		25		56	111
Keukenartikelen	15	5			
Vloer-/wandbedekking	29	8			
Subtotaal 1		167		56	111
Verpakkingsafval					
Levensmiddelen	110	30			
Gebruiksartikelen	60	20			
Draagtassen	25				
Vuilniszakken	36				
Omverpakking eindproduct	1				326
Krimp-/rekfolie		36	2		
Kratten		7	7		
Afvalverpakking		10			
Subtotaal 2		335	9		326
		502	9		493

5.2 Samenstelling

Uit sorteeraanlyse in 1988 blijkt dat het kunststofafval van huishoudens bestaat uit [4]:

- PP/PE (70%)
- PS/EPS (13%)
- PVC (11%)
- overig (7%)

De samenstelling van het kunststofafval van de KWD-bedrijven is onbekend, maar zal hier niet veel van verschillen.

5.3 Verontreiniging

De verontreinigingsgraad van het kunststofafval uit het huishoudelijk- en KWD-afval is afhankelijk van de wijze waarop het wordt ingezameld. Wordt het kunststofafval gescheiden ingezameld, dan komt het relatief schoon vrij. De verontreinigingen bestaan dan hoofdzakelijk uit zand, papier, rubber, zeep- en voedselresten. Wordt het kunststofafval uit een combinatie van verschillende afvalstromen, bijvoorbeeld kunststoffen, glas en blik, gehaald, dan neemt de verontreinigingsgraad toe.

5.4 Spreiding

Het kunststofafval uit huishoudens komt zeer verspreid en in kleine hoeveelheden vrij. Ook het afval uit de KWD-bedrijven komt in kleine hoeveelheden vrij, maar dan meer geografisch geconcentreerd.

6 Ziekenhuis

6.1 Hoeveelheid en verwerking

De grootte en verwerking van deze afvalstroom wordt nader toegelicht in tabel 7.

Tabel 7 Hoeveelheid en verwerkingsmethoden van kunststofafval uit ziekenhuizen (1986)

Afvalstroom	Hoeveelheid (kton)	H (kton)	V (kton)	S (kton)
Verpakkingsafval				
kantoor/kantine	5			
overig	6		14	
afvalverpakking	3			
Totaal	14		14	

6.2 Samenstelling

Hiervan zijn gegevens bekend. Aangenomen mag worden dat het kantoor/kantine- en verpakkingsafval dezelfde samenstelling heeft als het afval uit de huishoudens en KWD-bedrijven.

6.3 Verontreiniging

Zie paragraaf 5.3

6.4 Spreiding

Het afval komt in kleine hoeveelheden op een beperkt aantal plaatsen vrij.

7 Straat

7.1 Hoeveelheid en verwerking

De grootte en verwerking van deze afvalstroom wordt nader toegelicht in tabel 8.

Tabel 8 Hoeveelheid en verwerkingsmethoden van kunststofafval uit de straat (1986)

Afvalstroom	Hoeveelheid (kton)	H (kton)	V (kton)	S (kton)
Verpakkingsafval veeg-/veegafval	10		10	
Totaal	10		10	

7.2 Samenstelling

Het kunststofafval bestaat voornamelijk uit PE en PS.

7.3 Verontreiniging

Het **veegafval** bestaat voornamelijk uit:

- Zand (ca. 50%)
- Blad (ca. 25%)

Verder bevat het papier en puin.

In het veegsel is het kunststofafval dus zwaar vermengd met andere afvalstoffen.

7.4 Spreiding

Het kunststofafval uit veegafval komt in zeer kleine hoeveelheden en zeer verspreid vrij.

8 Additieven

Hieronder volgt een lijst met stoffen die aan polymeren worden toegevoegd. Indien niet specifiek wordt vermeld in welke kunststofsoort de additief voorkomt, wordt deze stof bij de productie van meerdere kunststoffen gebruikt. Beschikbare gegevens over concentraties van additieven in kunststoffen worden tussen haakjes vermeld.

In het afval kunnen de volgende additieven voorkomen [5]:

- Weekmakers zoals ftalaten, fosfaten en chloorparaffines in PVC (gemiddeld 20%);
- Warmtestabilisatoren zoals zepen of zouten afgeleid van barium, calcium, cadmium, lood, tin, zink of combinaties hiervan in PVC (gemiddeld 2%);
- Antioxidanten of UV-stabilisatoren zoals fenolen, thioethers en fosfieten (0,05 - 2%);
- Metaal deactivatoren zoals hydrazonen, hydrazides en benzotriazolen in polyolefines;
- Interne of externe glijmiddelen zoals siliconen, vetalcoholen, monoglyceriden en loodstearaat (intern 1,5%; extern 0,1 - 0,5%);
- Pigmenten zoals titaanwit, loodchromaat, cadmium pigmenten, metaalpoeders, azopigmenten en roet (> 0,2%);
- Vulstoffen zoals aluminiumtrihydraat, krijt, silicaten, houtmeel en glasvezels;
- Anti-interne glijmiddelen zoals Acryloid in PVC (1 - 2%);
- Slagvastheidsverbeters zoals ethyleen-vinylacetaat en gechloreerd polyetheen in PS en PVC (3- 10%);
- Antistatica zoals quaternaire ammonium zouten en alkylsulfonaten (< 5%);
- Vlamvertragers zoals organo-broomverbindingen, antimoontrioxyde en organo-chloorfosfaten (5 - 50%);
- Fungiciden zoals organo-tinverbindingen, gechloreerde fenolen en ftalimiden ;
- Blaasmiddelen zoals azoverbindingen, semi-carbaziden en tetrazolen in PVC-schuim (3 - 5%);
- Diversen zoals suspendeer- en emulgeermiddelen, keteninitiators en -stoppers en cross-linking agents (0,1 - 3%).

9 Literatuurlijst bij bijlage 2

- [1] Infomap 'Informatiedocumenten Afvalstoffen', 1990, RIVM, Bilthoven; Documenten Autowrakken en Shredderafval, Kunststofafval en Verpakkingsafval.

- [2] Beleidsplan 'Afvalbeheer Kunststoffen', 1991, NFK.

- [3] A. Weber, 'Aspekte zum Entsorgen von Kunststofabfällen aus Altautos', 1990, Kunststoffe 80 no. 4; bladzijde 478 tot en met 483.

- [4] A.A.J. Cornelissen, 'Fysisch onderzoek naar samenstelling van het Nederlands huishoudelijk afval. Resultaten 1988', 1989, RIVM, Bilthoven; bijlage 3.

- [5] 'Additieven voor kunststoffen', 1990, NFK/NVR/Stuurgroep PVC & Milieu.

Bijlage 3 Elementaire samenstelling van het huishoudelijk kunststofafval in Nederland

februari 1992

Auteur
B.J.N. Linger (TNO-IMET)

Met medewerking van
A.M.M. Ansems (TNO-IMET)
J.L.B. de Groot (KRI-TNO)

Inhoudsopgave

Inleiding.....	2
1 Elementaire samenstelling verschillende kunststofmengsels	3
2 Elementaire samenstelling huidige huishoudelijk kunststofafval	5
3 Verontreinigingsgraad huishoudelijk kunststofafval	6
4 Conclusie	7
5 Literatuurlijst bij bijlage 3	8

Inleiding

Ten behoeve van de haalbaarheidsstudie 'Hoge Temperatuur Vergassing' heeft de afdeling 'Milieutechnologie' van TNO-IMET met KRI-TNO onderzoek verricht naar de elementaire samenstelling van huishoudelijk kunststofafval. Andere kunststofafvalstromen zijn, vanwege gebrek aan gegevens, buiten beschouwing gelaten.

In dit rapport wordt van één kunststofmengsel uit huishoudelijk afval en twee kunststofmengsels die representatief zijn voor dit afval de elementaire samenstelling gegeven (1). Aan de hand van dit cijfermateriaal wordt een elementaire samenstelling van het huidige huishoudelijk afval gegeven (2). Tenslotte wordt kort ingegaan op de verontreinigingsgraad van het kunststofafval (3).

In het vervolg wordt met samenstelling en elementaire samenstelling de samenstelling van het huishoudelijk kunststofafval naar respectievelijk kunststoffen en atomen bedoeld. De vermelde percentages zijn gewichtspercentages. Met [] wordt voor de bronnen verwezen naar de literatuurlijst.

1 Elementaire samenstelling verschillende kunststofmengsels

In de literatuur is van drie kunststofmengsels de elementaire samenstelling gevonden, namelijk van:

- A. Huishoudelijk kunststofafval uit Nederland (1986) [1].
- B. Samengesteld kunststofafval dat redelijk overeenkomt met huishoudelijk kunststofafval. Het afval bestaat uit 42% folie en 58% flessen [2].
- C. Samengesteld kunststofafval waarvan wordt aangenomen dat het representatief is voor huishoudelijk kunststofafval. Het afval bestaat voornamelijk uit industrieel verpakkingsafval en kunstmestzakken [3].

De samenstellingen van deze mengsels staan vermeld in tabel 1.

Tabel 1 Samenstelling van kunststofmengsels A, B en C

	Mengsel A (%)	Mengsel B (%)	Mengsel C (%)
PP/PE	8/61	5/60	20/60
PS/EPS	14	15	15
PVC	10	10	5
PA		5	
PET		5	
Overig	7		

De gemeten elementaire samenstellingen van de drie mengsels zijn opgenomen in tabel 2.

Studie Hoge Temperatuur Vergassing (HVT) van kunststofafval

Tabel 2 Elementaire samenstelling van kunststofmengsels A, B en C

	Mengsel A	Mengsel B	Mengsel C
	(%)	(%)	(%)
C	72,2	78,1	77,0
H	9,0	11,4	13,1
O	3,9	2,3	
N	0,5	0,6	0,7 ¹⁾
S	0,1		0,005
Cl	4,3	5,6	3,9
F		sporen	<0,001
Cd	0,005	0,003	0,0008
Pb		0,06	0,007
Cr		0,01	0,0015
Zn		0,05	0,003
Cu	0,031	0,03	
Ni	0,003	0,003	
Sn		0,15	0,001
Si		0,10	0,11
Al		0,05	0,04
Ti		0,05	1,05
Fe		0,03	0,03
Ca		0,05	0,108
As-gehalte	10,0	2,0	2,0

¹⁾ Aangenomen wordt dat de stikstof afkomstig is van kunstmest uit de kunststofzakken die voor het mengsel gebruikt zijn

2 Elementaire samenstelling huidige huishoudelijk kunststofafval

Voor de bepaling van de elementaire samenstelling van het huidige huishoudelijk kunststofafval wordt uitgegaan van de meest recente gegevens over de samenstelling van dit afval, en wel die van 1990 [4]. Deze gegevens staan vermeld in tabel 3.

Tabel 3 Samenstelling huishoudelijk kunststofafval (1990)

	Huishoudelijk kunststofafval (1990)
	(%)
PP/PE	11,1/58,8
PS/EPS	13,6
PVC	6,5
PET	2,3
Overig	7,7

Worden de gegevens uit tabel 1 en 3 met elkaar vergeleken, dan blijkt dat de concentraties van de verschillende kunststoffen in het huidige huishoudelijk kunststofafval en mengsel B redelijk met elkaar overeenkomen. Ondanks het feit dat de nauwkeurigheid van de gemeten elementaire samenstelling van dit mengsel niet bekend is, lijken de gegevens betrouwbaar. Uit narekening blijkt namelijk dat de berekende elementaire samenstelling van dit mengsel gelijk is aan de gemeten waarde, er van uitgaande dat de kunststoffen uit zuivere polymeren bestaan.

Hoewel uit de cijfers blijkt dat het PVC-gehalte in mengsel B hoger ligt dan in het huishoudelijke afval, is het, aangezien chloor een probleemstof is, aan te bevelen veiligheidshalve het hogere chloorgehalte van het mengsel bij de berekeningen aan te houden.

Uit tabel 2 blijkt dat er verschillen kunnen zijn tussen de concentraties van metalen in de verschillende kunststofafvalmengsels. Een verklaring hiervoor kan niet worden geleverd. Verder moet er rekening mee worden gehouden dat de concentraties van (zware) metalen blijven verschuiven, ondermeer door een strengere normstelling voor bijvoorbeeld cadmium, lood en zink.

3 Verontreinigingsgraad huishoudelijk kunststofafval

De in het vorige hoofdstuk bepaalde elementaire samenstelling heeft betrekking op niet verontreinigd huishoudelijk kunststofafval. In de praktijk zal het afval echter altijd verontreinigingen bevatten die de vergassing er van bemoeilijken. Genoemd kunnen worden:

- A. Water;
- B. Zand;
- C. Ander huishoudelijk afval.

De mate waarin het huishoudelijk kunststofafval door deze drie is verontreinigd, hangt nauw samen met de wijze waarop het afval wordt ingezameld. Zo kan het watergehalte in het afval variëren van enkele procenten, als het gescheiden, tot enkele tientallen procenten, als het integraal opgehaald is. Zo bestaat kunststofafval uit zakkenvuil voor ca. 25% uit water [5]. Cijfermateriaal ontbreekt om voor zand en ander huishoudelijk afval een orde van grootte van de verontreinigingsgraad aan te kunnen geven.

4 Conclusie

Voor de berekening van de hoeveelheid synthese-gas die verkregen kan worden met het vergassen van huishoudelijk kunststofafval wordt in tabel 4 de elementaire samenstelling van dit afval gegeven.

Tabel 4 Elementaire samenstelling huidige huishoudelijk kunststofafval

	Huidige huishoudelijk kunststofafval (%)
C	78,1
H	11,4
O	2,3
N	0,6
Cl	5,6
As-gehalte	2,0

5 Literatuurlijst bij bijlage 3

- [1] Rijpkema, Krajenbrink en De Groot, 'The influence of plastics on the incineration of municipal solid waste (ref. nr. 91-289)', 1991, TNO-IMET: blz. 5.
- [2] Entwicklungsgesellschaft für die Wiederverwertung von Kunststoffen m.b.H.
- [3] M. Frankenhäuser, Co-combustion of mixed plastics with coal in a bubbling fluidized bed incinerator, 1991, Neste OY: tabel 1.
- [4] P.C.G. Langeveld, 'Sorteerproeven aan de kunststoffractie uit huishoudelijk afval 1990 (rap. nr. 54690)', CPM-TNO.
- [5] A.I.M. van de Beek e.a., Fysisch en chemisch onderzoek aan huishoudelijk afval van 1987, inclusief batterijen, 1989, RIVM: blz. 2.

Bijlage 4 Hoge Temperatuurvergassing van Kunststofafval

Synthesegas- en Stookgasproductie

Inhoud

	blz
1. Synthesegas	1
2. Gangbare Synthesegasproductie in de Petro-chemische industrie	2
2.1 Steam reforming van olie/aardgas	2
2.2 Partiële oxidatie (vergassing) van olie/aardgas	3
2.3 Reiniging van synthesegas	3
3. Vergassing van vaste brandstoffen	6
3.1 Stookgas en synthesegas uit kunststofafval	6
3.2 Stookgas uit kunststofafval	7
3.3 Synthesegas uit kunststofafval	8
Referenties	10
 Figuur 1: Concentratie van stookgascomponenten als functie van het vochtgehalte in het kunststofafval	 11
Figuur 2: Verbrandingswaarde van het stookgas als functie van het vochtgehalte in het kunststofafval	11
Figuur 3: Luchtverbruik en stookgasproductie per kg kunststofafval als functie van het vochtgehalte in het kunststofafval	12
Figuur 4: Concentratie synthesegascomponenten in produktgas als functie van de toegevoerde stoomhoeveelheid per kg toegevoerd kunststofafval	12
Figuur 5: Concentratie van andere gascomponenten dan CO, H ₂ , H ₂ O in produktgas als functie van de toegevoerde stoomhoeveelheid per kg toegevoerd kunststofafval	13
Figuur 6: Zuurstofverbruik en gasproductie per kg kunststofafval als functie van de toegevoerde stoomhoeveelheid per kg toegevoerd kunststofafval	13

1. Synthesegas

Synthesegas is de algemene benaming van een gasmengsel dat gebruikt wordt als grondstof voor de synthese van chemicaliën. Voor sommige H₂/CO mengsels worden namen gebruikt die gerelateerd worden aan de productie of de toepassing van het gasmengsel, b.v. watergas (CO + H₂ uit stoom en kolen), NH₃-syngas (N₂/3H₂) t.b.v. NH₃ productie, methanol-syngas (CO/2H₂) t.b.v. de CH₃OH productie, oxo-syngas (CO/H₂) t.b.v. de hydroformulering.

De meest bekende synthese routes zijn:

Methanol synthese	CO + 2 H ₂	---> CH ₃ OH
Ammoniak synthese	N ₂ + 3 H ₂	---> 2 NH ₃
Fischer-Tropsch synthese	CO + 2 H ₂	---> 1/n (CH ₂) _n + H ₂ O (paraffines en olefines)
Hydroformulering	RCH=CH ₂ + CO + H ₂	---> RCH ₂ CH ₂ CHO (oxo-aldehyden)
+		
Hydrogenering	RCH ₂ CH ₂ CHO + H ₂	---> RCH ₂ CH ₂ H ₂ OH (oxo-alcoholen)

In tabel 1 staan enkele karakteristieken van voornoemde processen weergegeven. Verreweg de meest belangrijke van deze processen is de ammoniak-synthese met een wereldproductieniveau van ca. 100 miljoen ton per jaar, terwijl het methanolproductieniveau ca. 3 miljoen ton per jaar bedraagt.

Tabel 1: Karakteristieken van enkele bekende synthese processen [9, 10]

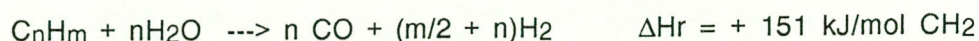
Proces	Temperatuur [°C]	Druk [bar]	Katalysator
Methanol	300 - 400 250	275 - 360 70 - 140	Zn/Cr Cu
Ammoniak	430 - 510	150 - 350	Fe-Al ₂ O ₃ -K ₂ O
Fischer-Tropsch	310 - 340	25	Fe
Hydroformulering	140 - 180	250 - 300	HCo(CO) ₄
+			
Hydrogenering	115 160	2 - 3 2 - 3	Ni Cu

2. Gangbare Synthesegasproduktie in de Petro-Chemische Industrie

Tegenwoordig wordt synthesegas voornamelijk uit oliefracties geproduceerd. Het merendeel is afgeleid van aardgas, raffinaderijgas en nafta d.m.v. katalytische steam-reforming processen. Aanvankelijk echter werd synthesegas geproduceerd door de vergassing van kooks met lucht en stoom. Na de tweede wereldoorlog kregen aardolie en aardgas de overhand als voedingsstroom in de synthesegasproduktie, vanwege een aantrekkelijker H₂/C verhouding. Vergassing (Texaco, Shell) heeft in een moderne uitvoering met olie als voedingsstroom weer aan invloed gewonnen in de synthesegasproduktie en voorziet thans voor ca. 10% in de wereld-syngasbehoefte.

2.1 Steam reforming van olie/aardgas

Lichte koolwaterstoffen (kookpunt < 200 °C) worden m.b.v. stoom in aanwezigheid van een katalysator omgezet bij temperaturen tussen 700 en 850 °C en een druk van ca. 30 bar volgens:



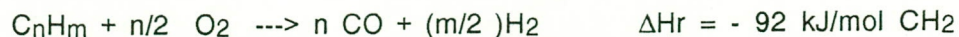
Deze sterk endotherme reactie wordt uitgevoerd in fornuizen gevuld met pijpen waarin zich de katalysator bevindt; de oppervlaktetemperatuur van de pijpen belooft 900 °C. De brandstof welke aan de fornuizen wordt toegevoerd levert zowel de reactiewarmte als de warmte voor stoomopwekking. Het totale verbruik aan brandstof inclusief voeding bedraagt ca. 4,6 ton per ton H₂ equivalent. Stoom/koolstof verhoudingen van 4 - 6 mol/mol worden toegepast om ca. 90% van de voeding om te zetten in synthesegas met ca. 2 %vol residuale CH₄.

Het ICI-proces is een drietrapsproces. Aangezien de in het kraakproces toegepaste Ni-K₂O/Al₂O₃ katalysator zeer gevoelig is voor zwavel, dient in de eerste stap ontwaveld te worden tot een S-gehalte < 1 ppm, met H₂ over een CoO/MoO₃/Al₂O₃ katalysator bij een temperatuur van 350 - 450 °C. Het aldus gevormde H₂S wordt aan ZnO geadsorbeerd.

In de primaire reformer wordt de voeding (nafta of lager kokende componenten) bij een temperatuur van 700 - 830 °C, in met Ni-K₂O/Al₂O₃ katalysator gevulde pijpen en bij een druk van 15 - 40 bar gekraakt. Omdat met name bij hogere drukken en gelijkblijvende temperatuur een aanzienlijke hoeveelheid methaan gevormd wordt, wordt in de derde trap het gas door partiële verbranding met O₂ op een temperatuur van 1.200 °C gebracht en wordt in aanwezigheid van een hittebestendige Ni-katalysator het CH₄-gehalte tot 0,2 - 0,3 %vol teruggebracht (secundaire reforming). In deze secundaire stap wordt lucht gebruikt wanneer NH₃-synthesegas geproduceerd wordt. De hoge stoom/koolstof verhouding bevordert de H₂-vorming via de homogene watergasreactie, hetgeen wenselijk is wanneer NH₃-synthesegas geproduceerd wordt. Dit is echter ongewenst voor methanol- of oxo-syngas, waarvoor dan de CO-shift beperkt wordt door toevoeging van CO₂, hetgeen economisch onaantrekkelijk is. De charme van het ICI-proces is, dat zich geen roetvorming voordoet, waardoor ook katalysator regeneratie achterwege kan blijven.

2.2 Partiële oxidatie (vergassing) van olie/aardgas

Iedere koolwaterstof kan partiëel worden verbrand met zuurstof (of lucht) volgens de reactie:



De reactietemperatuur benadert die van een vlam (1.500 - 1.600 °C), waardoor het gebruik van een katalysator overbodig is. Het brandstofverbruik bedraagt zo'n 4,6 ton per ton H₂-equivalent (4 ton/ton indien oxo-syngas wordt geproduceerd).

Stoom wordt toegepast als moderator, in de eerste plaats om de reactietemperatuur te beheersen. De stoomtoevoer blijft echter beperkt tot minder dan 0,5 mol H₂O/mol C. Als gevolg van de relatief hoge reactietemperatuur, blijft het CH₄-gehalte laag, zelfs bij een druk van 50 - 60 bar en wordt niet hoger dan 0,5 - 0,6 %vol.

Als gevolg van de relatief lage stoomdosering, vindt de CO-shift nauwelijks plaats in de vergassingsreactor. Daardoor wordt het productgas direct toepasbaar voor de oxo-synthese zonder verdere conversie. Voor methanol en NH₃-synthese en voor de productie van zuivere H₂, wordt tailor-made syngas geproduceerd door een gecontroleerde CO-shift in een nageschakeld proces.

Shell en Texaco hebben elk een eigen "entrained flow" vergassingssysteem ontwikkeld, dat op commerciële schaal veelvuldig is toegepast voor olievergassing (ca. 150 Shell units en ca. 100 Texaco units worldwide) en enkele keren voor poederkoolvergassing. In hoofdstuk worden de vergassingsprocessen, waaronder het Shell en het Texaco vergassingsproces, nader besproken.

2.3 Reiniging van synthesesgas

Fossiele brandstoffen bevatten in het algemeen elementen zoals zwavel en stikstof. Ruw synthesesgas dat wordt geproduceerd via de vergassing van fossiele brandstoffen, bevat daarom enkele gasvormige en vaste verontreinigingen (roet), die bij verdere toepassing problemen kunnen veroorzaken. De gasvormige verontreinigingen zijn voornamelijk CO₂, H₂S en COS, maar ook een weinig HCN en NH₃ komt voor. Indien chloorhoudende voedingen vergast worden, dan wordt ook HCl gevormd en zal naast NH₃, ook NH₄Cl gevormd worden.

Roetdeeltjes zijn ongewenst daar deze bij afzetting in de apparatuur op den duur verstoppingen kunnen veroorzaken of katalysatorporiën kunnen verstopen waardoor de katalysatoreffectiviteit drastisch terug zal lopen. Daarom zal een roet- of stofverwijderingssectie in het vergassingssysteem moeten worden opgenomen.

a. Verwijdering van CO₂, H₂S en COS

Zwavel in de vorm van H₂S of COS, vormt voor veel katalysatoren een gif; waardoor de werking van de katalysator volledig of gedeeltelijk verstoord kan worden. CO₂ kan direct een chemische omzetting beïnvloeden of voor ongewenste nevenproducten zorgen. Voor de ammoniak-synthese is CO eveneens een katalysatorgif en dient verwijderd te worden uit het ruwe synthesesgas.

Ter verwijdering van H₂S, COS en CO₂ uit het ruwe synthesesegas, staan een aantal processen ter beschikking, waarvan de bekendste staan samengevat in tabel 2.

Tabel 2: Enkele gasreinigingsprocessen t.b.v. ruw synthesesegas

Procesnaam	Licentiehouder	p / T [bar/K]	Korte proceskarakteristiek
<i>Geactiveerd MDEA</i>	BASF AG	120/340	Verwijdering van CO ₂ , H ₂ S en COS m.b.v. 40-50 %wt waterig geactiveerd MDEA in een 2-traps absorptieproces [5]
<i>Purisol</i>	Lurgi GmbH	15 - 160/ 270	Verwijdering van CO ₂ en H ₂ S d.m.v. fysische absorptie in NMP (N-methyl-2-pyrrolidon) [6]
<i>Rectisol</i>	Linde AG Lurgi GmbH	78/270	Verwijdering van CO ₂ , H ₂ S en COS, gebruikmakend van een organisch oplosmiddel (b.v. CH ₃ OH) [6]; H ₂ S + COS < 0,1 ppm CO ₂ < 20 ppm verwijderd ook HCN, NH ₃ , H ₂ O
<i>Selexol</i>	Norton Co. Chem.Proc.Prod.	breed gebied	Verwijdering van CO ₂ , H ₂ S, COS, mercaptanen etc. d.m.v. fysische absorptie in dimethylether of polyethyleenglycol (Selexol) [7]
<i>Sulfinol</i>	Shell Dev. Co. Shell Research b.v.	zeer breed gebied	Verwijdering van CO ₂ , H ₂ S, COS en organische zwavelverbindingen; het oplosmiddel is een mengsel van een alkanolamine, water en sulfolaan [8].

b. Verwijdering van HCl, HCN, NH₃ en andere componenten

Indien chloorhoudend afval vergast wordt, ontstaat HCl hetgeen in synthese-processen katalysatoren kan vergiftigen of ongewenste nevenprodukten kan veroorzaken. In aanwezigheid van NH₃ zal dan ook NH₄Cl kunnen ontstaan.

HCl kan relatief eenvoudig uit de ruwe synthesesegasstroom verwijderd worden, door het gekoelde of hete gas (direct) te quenchen in een water- of loogbad. Eventueel kan overwogen worden om HCl terug te winnen, hoewel dit in praktijk slechts in bijzondere gevallen haalbaar zal zijn (hoog Cl-gehalte van de voeding, geïntegreerde HCl afzet).

Naast HCl, zullen ook HCN en NH₃ in het quenchwater worden afgevangen en met het spuiwater afgevoerd naar een een chloor-bleekloog zuiveringsstap, waarbij de eventueel aanwezige zware metalen worden neergeslagen en vervolgens kunnen worden afgefiltreerd. HCN, NH₃ en (eveneens opgelost) H₂S worden nat geoxideerd.

3. Vergassing van vaste brandstoffen

Bij de vergassing van vaste brandstoffen met zuurstof of lucht, vinden een aantal processen tegelijkertijd plaats: opwarmen van de brandstof, het ontgassen (zowel drogen als pyrolyse), het vergassen van de gevormde pyrolysekool en -teer. In een vergasser zal door deze tegelijkertijd optredende processen een groot scala aan gasvormige koolwaterstofverbindingen naast pyrolysekool voorkomen. De gasvormige componenten worden door partiële oxidatie verder omgezet in CO en H₂, overeenkomstig olievergassing. Voor de pyrolysekool zijn enkele van de belangrijkste chemische reacties bij de vergassing met zuurstof:

De oxidatie reactie: $C + O_2 \rightarrow CO_2 \quad \Delta H_r = -394 \text{ kJ/mol C}$

Het Boudouard evenwicht: $C + CO_2 \rightleftharpoons 2 CO \quad \Delta H_r = +172 \text{ kJ/mol C}$

De watergasreactie: $C + H_2O \rightarrow CO + H_2 \quad \Delta H_r = +131 \text{ kJ/mol C}$

Het homogene watergasevenwicht: $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2 \quad \Delta H_r = -41 \text{ kJ/mol C}$

Het methaanvormingsevenwicht: $C + 2H_2 \rightleftharpoons CH_4 \quad \Delta H_r = -75 \text{ kJ/mol C}$

De methaniseringsreactie: $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O \quad \Delta H_r = -205 \text{ kJ/mol C}$

Algemene kenmerken van het vergassingsproces zijn de hoge energiebehoefte om de endotherme deelreacties te kunnen laten verlopen en om het hoge temperatuurniveau te bereiken dat noodzakelijk is om voldoende reactiesnelheid te verkrijgen. De warmtetoevoer vindt plaats of door reactie van het vergassingsmedium (O₂) met de brandstof (autotherm) of door een externe warmtebron (allotherm).

3.1 Stookgas en synthesesgas uit kunststofafval

Vanwege het hoge koolstof- en waterstofgehalte van het huishoudelijk polymeerafval in Nederland (zie tabel 1), vertegenwoordigt kunststofafval een relatief hoge verbrandingswaarde en is daarmee in principe geschikt als brandstof. Door middel van partiële oxidatie (thermische vergassing) zijn deze afvallen om te zetten in:

a. stookgas ;

stookgas bestaat voornamelijk uit CO, H₂ en N₂ en wordt als produktgas verkregen bij de vergassing van koolstof- en waterstofhoudende voedingen, indien lucht als vergassingsmedium wordt gebruikt. Het is een laagcalorisch gas (verbrandingswaarde ca. 1/8 van dat van aardgas) en kan goed in gasbranders, gasmotoren of gasturbines verbrand worden.

b. synthesesgas;

synthesesgas bestaat voornamelijk uit CO en H₂ en wordt als produktgas verkregen bij de vergassing van koolstof- en waterstofhoudende voedingen, indien zuivere zuurstof als vergassingsmedium wordt toegepast. Synthesesgas is een middelcalorisch gas (verbrandingswaarde

ca. 10.000 kJ/Nm³) en wordt vooral toegepast voor de synthese van ammoniak en methanol, maar kan ook worden gebruikt voor de produktie van synthetische benzine of industriële alcoholen.

Een aantal karakteristieken van het middels vergassing te produceren gas zijn berekend uitgaande van een gemodificeerd Schl pfer [1] berekeningsmodel.

In de berekeningen is gebruik gemaakt van een gemiddelde elementaire samenstelling van het kunststofafval (zie tabel 1).

In de hoge temperatuur vergassingsprocessen bedraagt de karakteristieke temperatuur in de vergasser 1500 - 1600  C. Deze hoge temperatuur is vooral van belang om een volledige afbraak van het vaste afval te bewerkstelligen. Voor de berekening van de gassamenstelling, de voor vergassing benodigde hoeveelheid zuurstof of lucht en andere specifiek procesgrootheden is echter de temperatuur waarop het produktgas de reactor verlaat bepalend, om welke reden in de hiernavolgende figuren gesproken wordt van een shift-evenwichtstemperatuur, die lager kan zijn dan de karakteristieke vergassertemperatuur.

Tabel 1: Gemiddelde elementaire samenstelling van het huishoudelijk kunststofafval in Nederland [2]

	Gewichtsfractie in droog kunststofafval [kg/kg]
C	0,8020
H	0,1170
O	0,0236
Cl	0,0575
as	0.0267
Berekende lagere verbrandingswaarde: LHV = 38.980 kJ/kg droge stof	

3.2 Stookgas uit kunststofafval

In figuur 1 is de berekende stookgassamenstelling uitgezet tegen een variabel vochtgehalte van het kunststofafval; in figuur 2 en 3 worden respectievelijk de bijbehorende verbrandingswaarde van het stookgas, alsmede het specifieke produktgasvolume en de benodigde hoeveelheid vergassingslucht weergegeven.

In tabel 2 wordt een typische gassamenstelling als gemeten in het VAI-HTV proces, gezet naast een berekende stookgassamenstelling bij de vergassing van kunststofafval. Hoewel in het VAI-HTV proces een mengsel van kooks, olie en r.d.f. is vergast, is de overeenkomst met de berekende samenstelling bij de vergassing van polymeer afval frappant.

Tabel 2: Gemeten gassamenstelling VAI-HTV [3] voor de vergassing van een mengsel van kooks, olie, r.d.f. versus berekende* gassamenstelling voor de vergassing van kunststofafval** met lucht

	VAI-HTV	Berekend
CO ₂ %vol	5,0	3,7
CO %vol	20,0	20,1
H ₂ %vol	12,4	14,8
N ₂ %vol	62,4	60,5
CH ₄ %vol	0,2	0,2
HCl %vol	-	0,6
Lag.Vebr.Wrd. [kJ/m ³ (20 °C)]	3.635	3.925

* Shift-evenwichtstemperatuur is 1.200 °C

** Vochtgehalte brandstof is 2,5 %wt

3.3 Synthesegas uit kunststofafval

In figuur 4 en 5 wordt de samenstelling van het synthesegas, inclusief de daarin aanwezige waterdamp, gepresenteerd welke is berekend bij een shift-evenwichtstemperatuur van 1.600 °C; de toe te voeren hoeveelheid stoom per kilogram kunststofafval is hier als parameter gebruikt. In figuur 6 wordt het bijbehorende specifieke produktgasvolume, alsmede het specifieke zuurstofverbruik gepresenteerd. Met behulp van deze resultaten kan een goede indruk verkregen worden omtrent de mogelijk te produceren hoeveelheid synthesegas en de daarvoor benodigde hoeveelheid zuivere zuurstof.

Ter vergelijking van is in tabel 3 een typische produktgassamenstelling van het Shell Olievergassingsproces gezet naast een berekende gassamenstelling voor de vergassing van kunststofafval met zuivere zuurstof. Ook hier blijkt de overeenkomst tussen beide produktgassen, hoewel de afzonderlijke voedingstof voor elk vergassingssysteem volslagen anders van aard is.

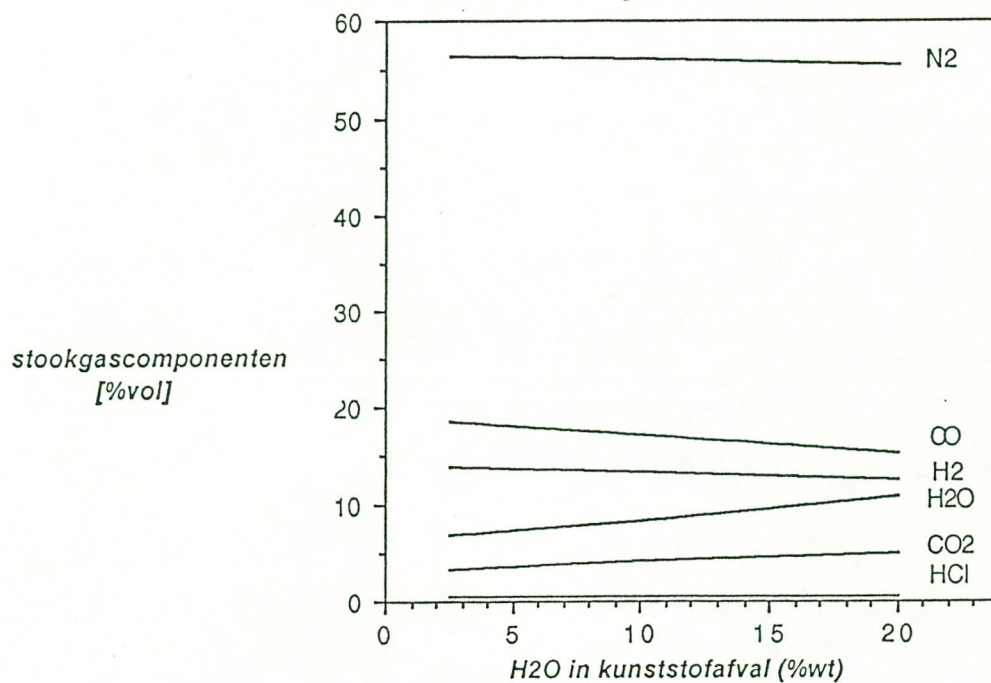
Tabel 3: Gassamenstelling Shell Gasification Process [4] voor de vergassing van olie versus berekende* gassamenstelling voor de vergassing van kunststofafval** met zuurstof

	S.G.P.	Berekend
voeding	zware stookolie	kunststofafval
C/H voeding	7,49	6,85
CO ₂ %vol	4,3	8,6
CO %vol	47,4	45,5
H ₂ %vol	47,0	43,5
N ₂ %vol	0,2	0,3
CH ₄ %vol	0,3	0,7
H ₂ S + COS	0,8	-
HCl %vol	-	1,4
kg O ₂ /kg voeding	1,05	1,107
kg H ₂ O/kg voeding	0,45	0,623
* Shift-evenwichtstemperatuur is 1.600 °C		
** Vochtgehalte brandstof is 2,5 %wt		

Referenties

- [1] Schläpfer, P. en Tobler, J.; "Theoretische und praktische Untersuchungen über den Betrieb von Motorfahrzeugen mit Holzgas", Bern 1933 - Bericht Nr.3 (Separatabdruck aus "Der Motorlastwagen").
- [2] B.J.N. Linger; "Elementaire samenstelling van het huishoudelijk kunststofafval in Nedrland" TNO-IMET, februari 1992.
- [3] P. Freimann, G. Staudinger; "Das Voest-Alpine Hochtemperaturvergasungsverfahren"; Voest-Alpine Industrieanlagenbau GmbH - Linz (1990).
- [4] Lurgi Gas Production Technology: "The Shell Gasification Process"; brochure nr. 189 e/2.87; Lurgi GmbH, Frankfurt an Main.
- [5] Stanbridge, D.W. en Hefner, W.; "Recent developments in the BASF activated MDEA Process", paper presented at the 1984 AIChE national meeting, Anaheim, California, 1984.
- [6] Hochgesand, G.; "Rectisol and Purisol", Industrial and Engineering Chemistry, 62 (1970) 7, 37 - 43.
- [7] Johnson en Homme, "Selexol Solvent Process Reduces Lean, high CO₂ Natural Gas Treating Costs, AIChE 1983 Meeting, Denver, Colorado, Aug. 1983.
- [8] Hydrocarbon Processing, April 1988, p. 74.
- [9] Weissermel, K. en Harpe, H.J.; "Industrielle Organische Chemie - 2. Auflage"; Verlag Chemie, Weinheim New York, 1978.
- [10] Hydrocarbon Processing, November 1983, p. 67.

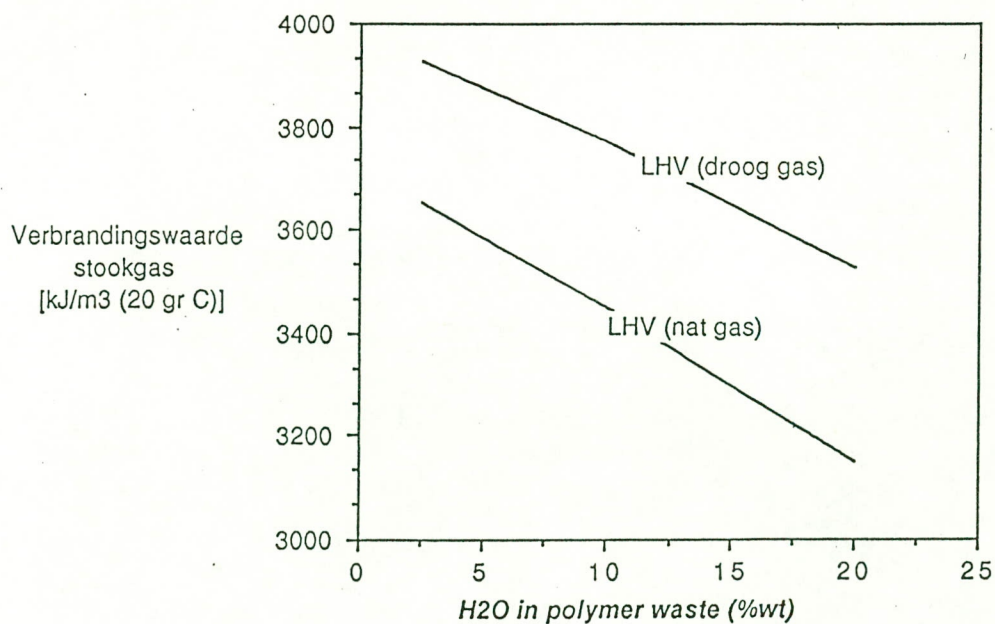
Figuur 1: Concentratie stookgascomponenten als functie van het vochtgehalte in het kunststofafval



* CH₄ = 0.2 %vol

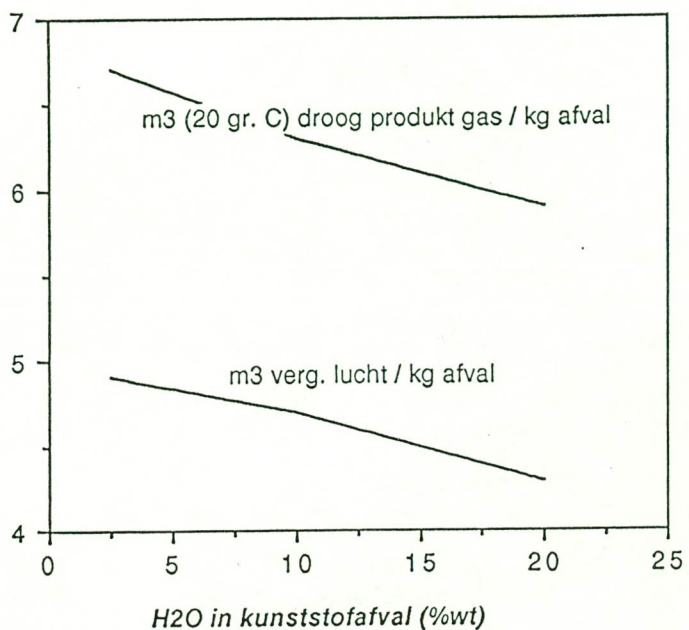
Shift-evenwichtstemperatuur = 1200 gr. Celsius

Figuur 2: Verbrandingswaarde van het stookgas als functie van het vochtgehalte in het kunststofafval



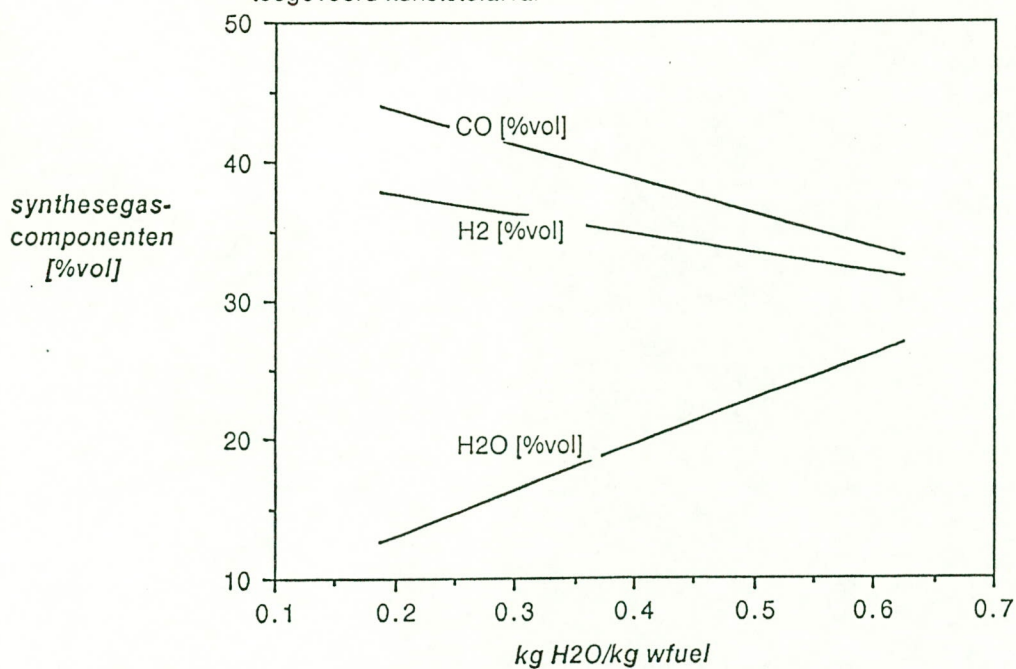
* Shift-evenwichtstemperatuur = 1200 gr. Celsius

Figuur 3: luchtverbruik en stookgasproductie per kg kunststofafval als functie van vochtgehalte in het afval



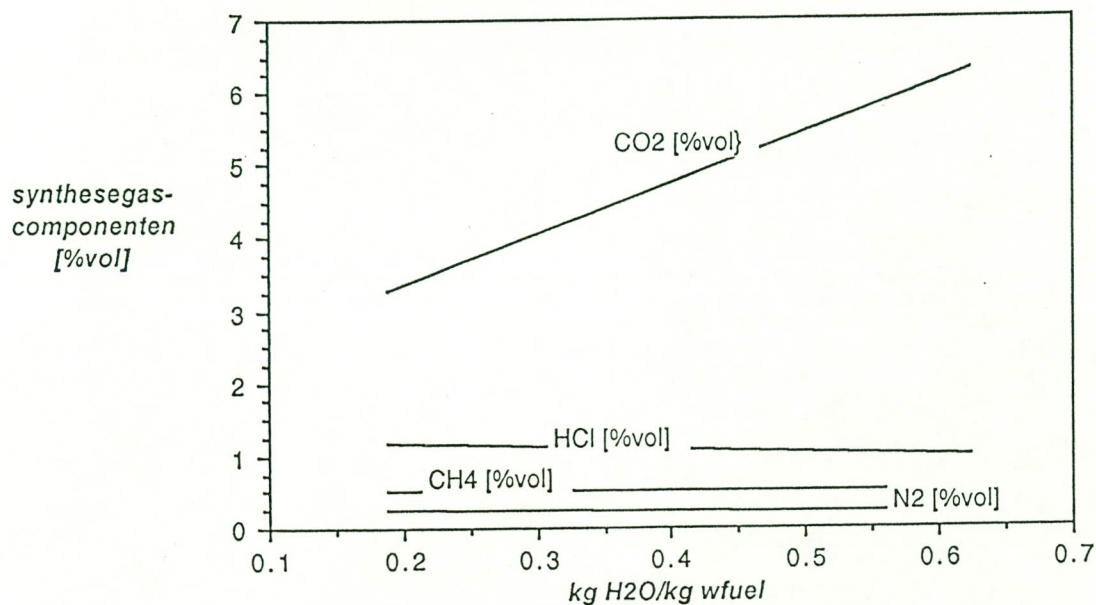
* Shift-evenwichtstemperatuur = 1200 gr. Celsius

Figuur 4: Concentratie synthesesegasc componenten in produktgas als functie van de toegevoerde stoomhoeveelheid per kg toegevoerd kunststofafval



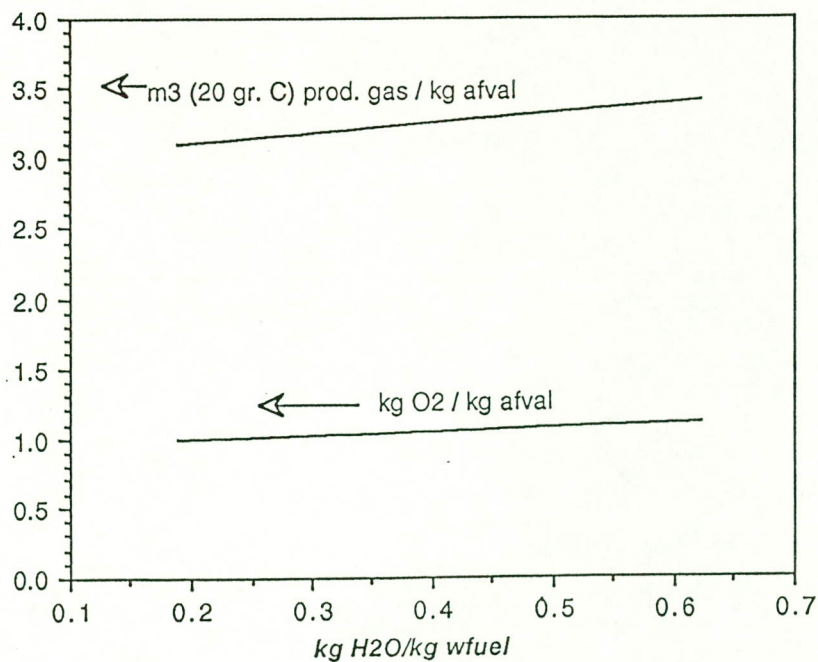
Shift-evenwichtstemperatuur = 1600 gr. C

Figuur 5: Concentratie andere gascomponenten dan CO, H₂, H₂O in produktgas als functie van de toegevoerde stoomhoeveelheid per kg toegevoerd kunststofafval



Shift-evenwichtstemperatuur = 1600 gr. C

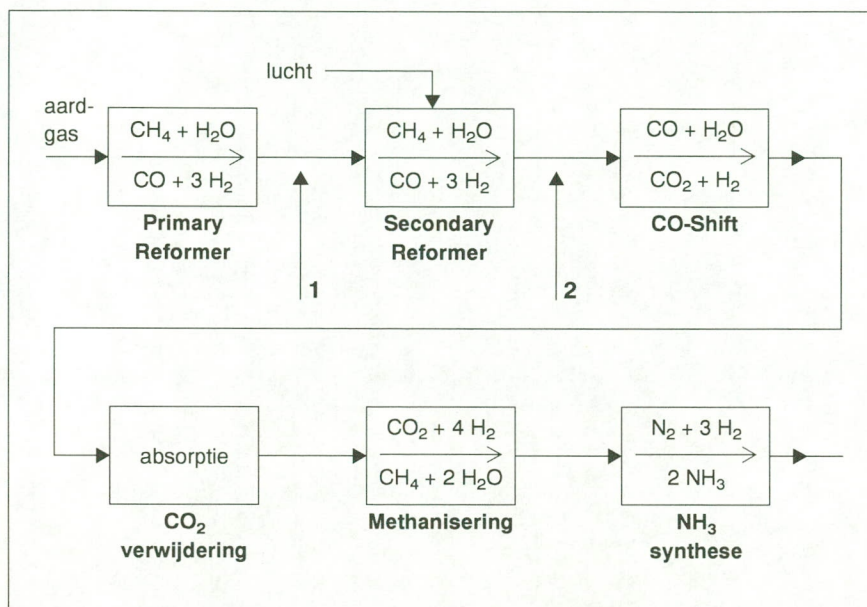
Figuur 6: zuurstofverbruik en gasproductie per kg kunststofafval als functie van de toegevoerde stoomhoeveelheid per kg toegevoerd afval



Shift-evenwichtstemperatuur = 1600 gr. C

Bijlage 5 Beschrijving van de NH₃ synthese

In onderstaande figuur is het proces voor de NH₃ synthese uitgaande van aardgas schematisch weergegeven. Opgemerkt wordt hierbij dat alle reacties evenwichten zijn, dat wil zeggen geen der reacties is volledig aflopend hetgeen betekent dat van de uitgangsstoffen altijd een gedeelte niet wordt omgezet.



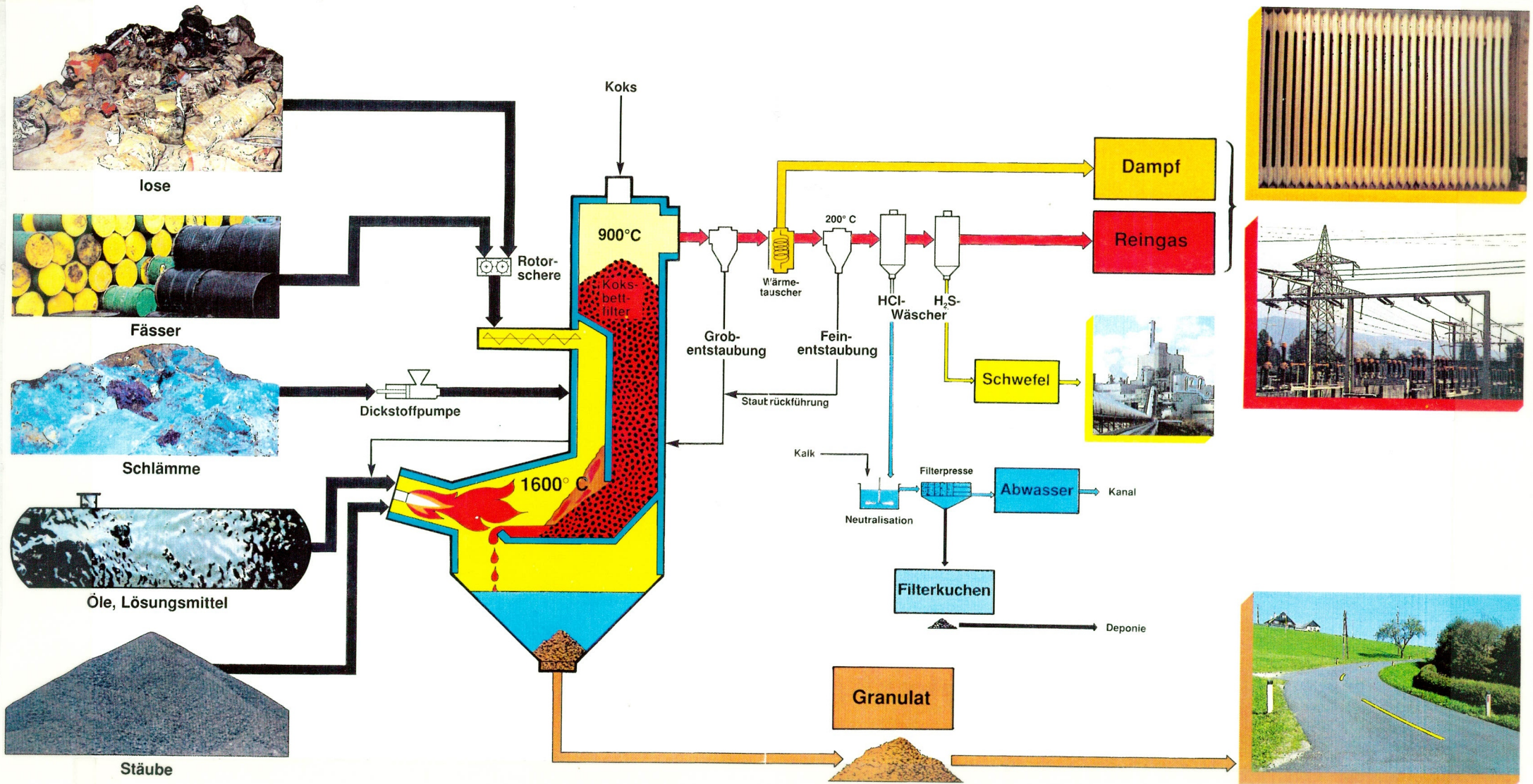
Schema van de NH₃-synthese; 1 en 2 zijn de punten waar het HTV-syngas kan worden ingevoerd

In de primary reformer wordt de bulk van het aardgas met stoom omgezet in CO en H₂. In de secondary reformer wordt bij een hogere temperatuur en een ander type katalysator het restant CH₄ zo ver mogelijk omgezet; hier wordt ook de lucht toegevoerd die voor de noodzakelijk stikstof zorgt.

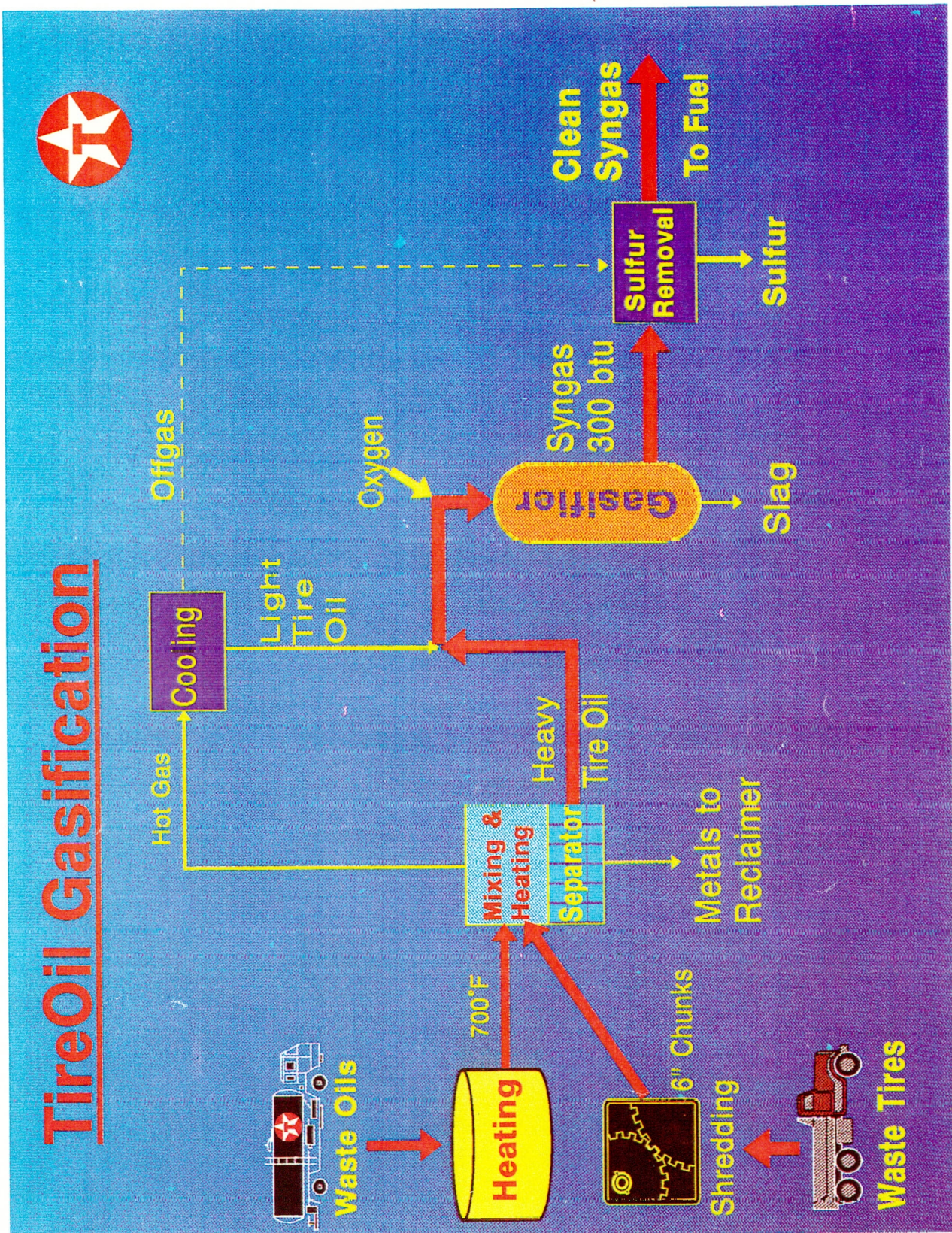
In beide reformers worden nikkel katalysatoren gebruikt; de in de secondary reformer gebruikte kan veel hogere temperaturen weerstaan. Voor beide geldt dat ze door zwavel, chloor en arsenicum worden vergiftigd. De vergiftiging door zwavel is reversibel, die door chloor en vooral arsenicum niet.

In de navolgende reactor vindt de shiftreactie plaats; hierbij wordt de CO met water omgezet naar CO₂ waarbij tevens H₂ wordt verkregen. Aangezien CO₂ en CO de katalysator van de NH₃ synthese deactiveren moeten deze verwijderd worden. Dit gebeurt via absorptie en de methaniseringstap. Voor de absorptie zijn diverse processen ontwikkeld (MEA, DEA, MDEA, Purisol, Rectisol, Selexol, Sulfinol). In de daarop volgende stap worden de restanten CO₂ en CO verwijderd tot een niveau van enkele ppm door omzetting naar CH₄. (in het schema is alleen de CO₂ omzetting aangegeven; de CO omzetting verloopt volgens $\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$). Hierna is het mengsel geschikt voor de NH₃-synthese.

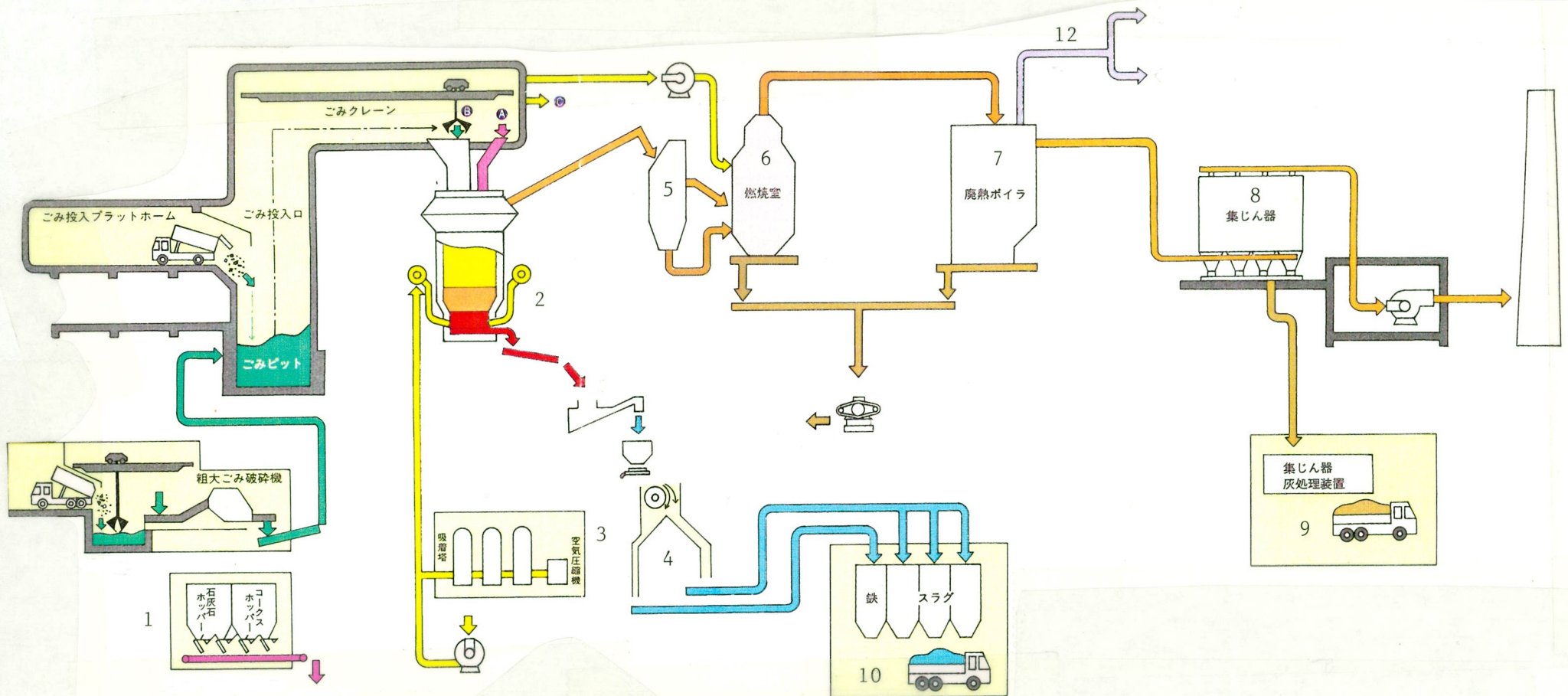
Figuur 1 Het HTV proces van VAI



Figuur 2 Het HTV proces van Texaco (TGP)



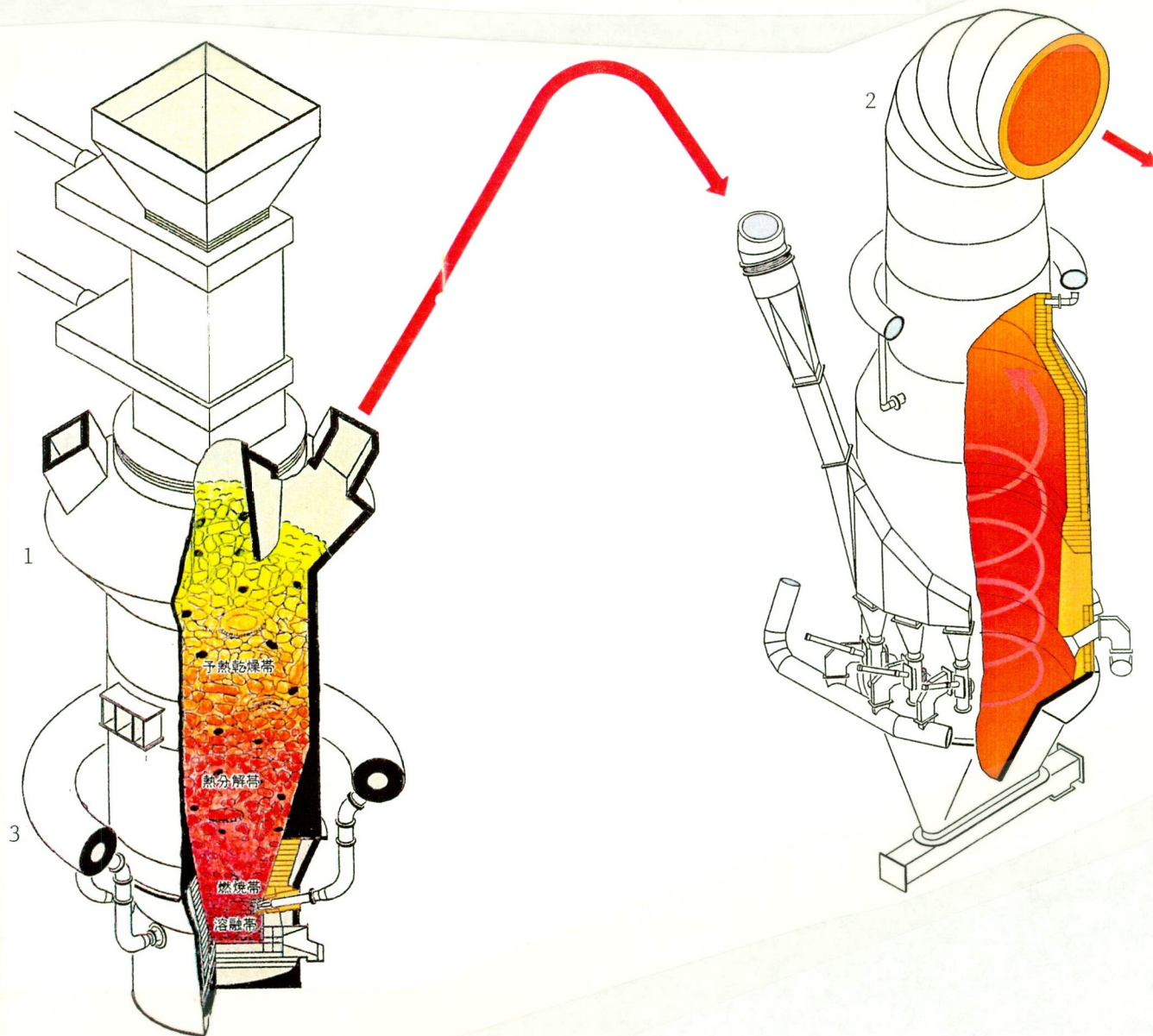
Figuur 3 Het HTV proces van Nippon Steel



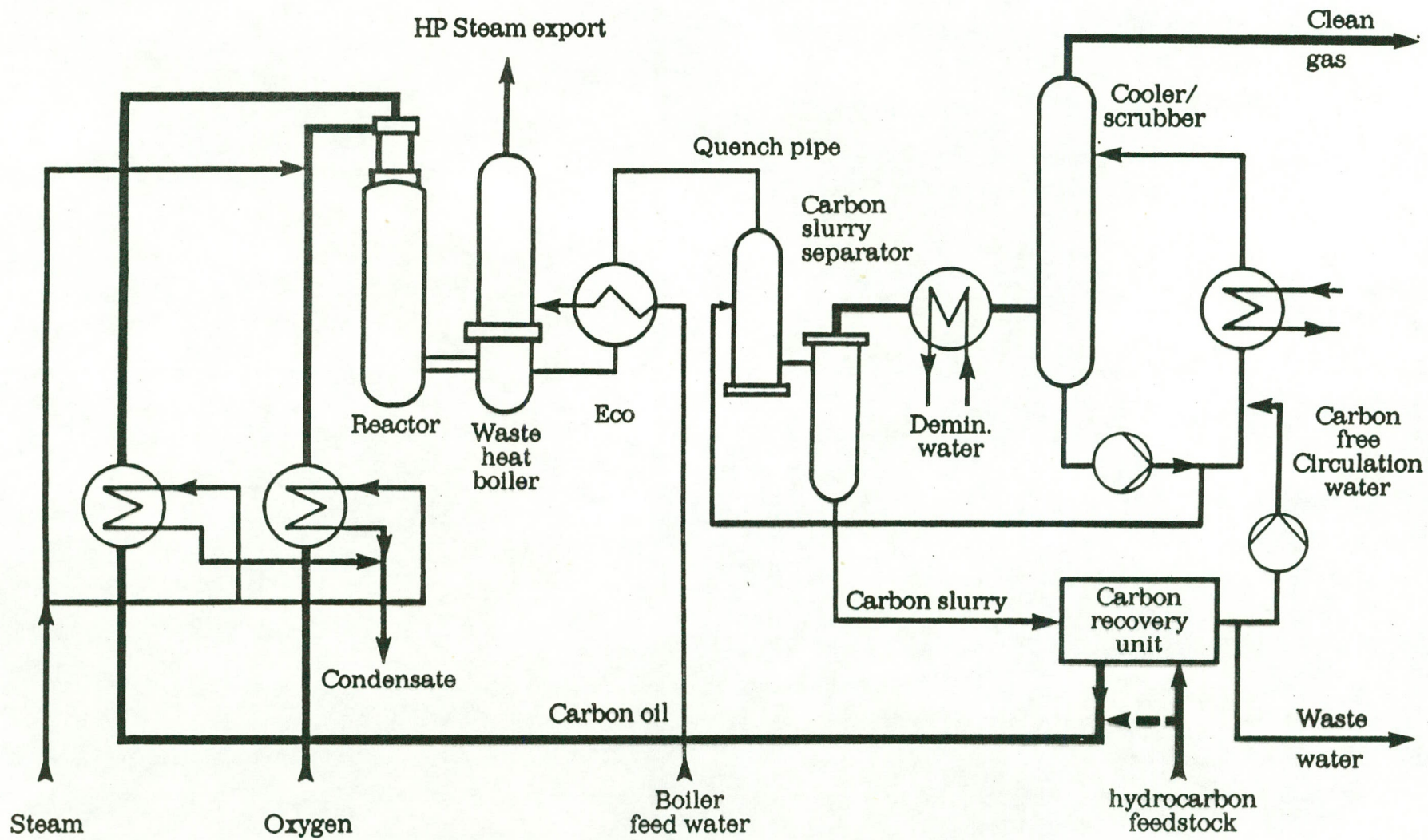
- 1 Kalksteen en cokes bunkers
- 2 Vergasser (zie ook figuur 4)
- 3 Luchtscheidingsunit voor de bereiding van met zuurstof verrijkte lucht via PSA (Pressure Swing Adsorption)
- 4 Magnetische scheider; scheidt de slak in ijzerrijke (98%) en ijzerarme fractie
- 5 Groffilter
- 6 Cycloonbrander (zie figuur 4)

- 7 Ketel
- 8 Doekenfilter
- 9 Asafvoer voor gebruik in wegebouw of anders naar stortplaats
- 10 Slakafvoer; ijzerrijke fractie naar de hoogovens, andere fractie voor gebruik in wegebouw
- 11 Breker
- 12 Stoom naar district heating of naar stoomturbine

Figuur 4 Details van het HTV proces van Nippon Steel



- 1 De vergasser met van
boven naar beneden:
a: de droogzone
b: de pyrolyse-zone
c: de verbrandingszone

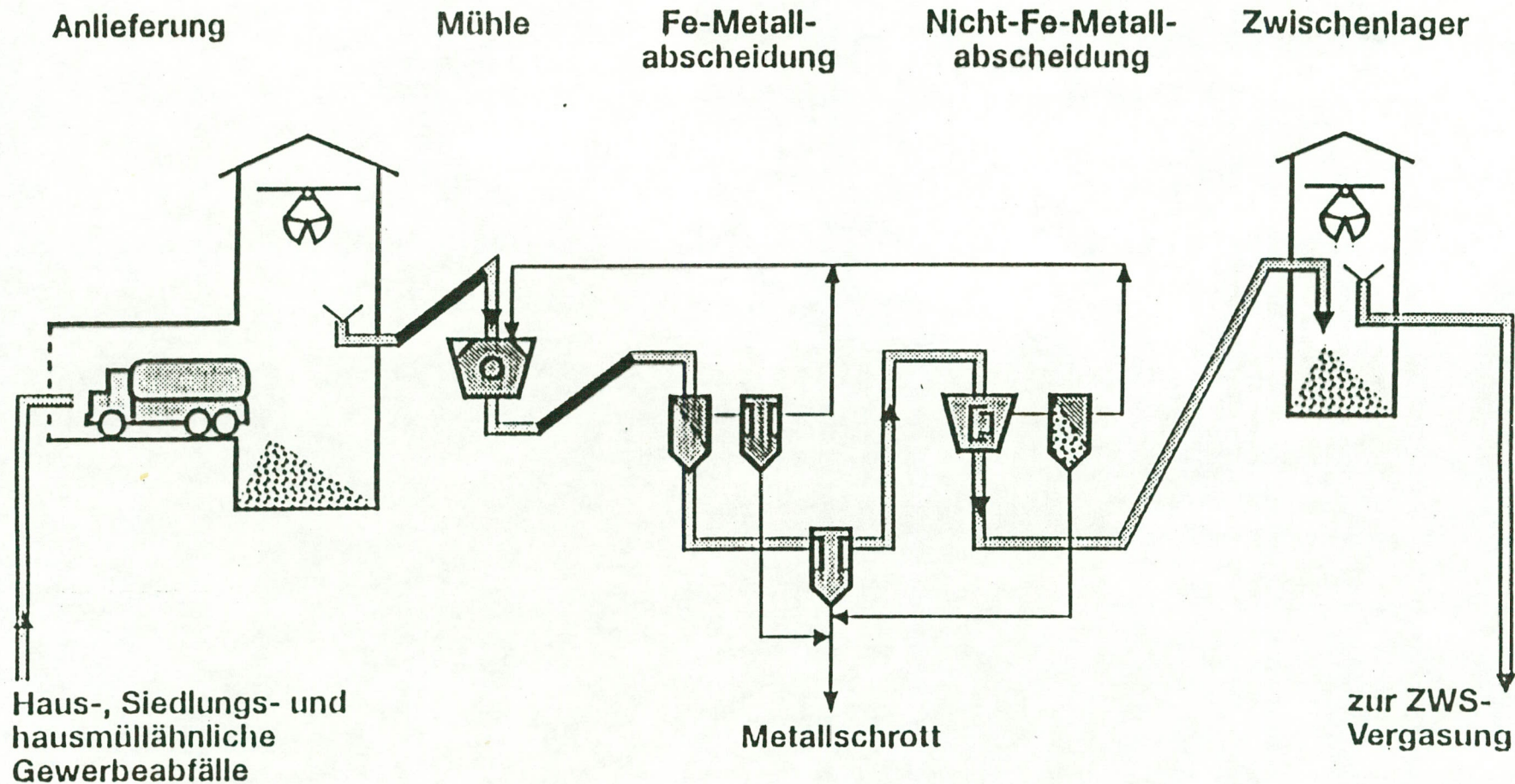


Figur 5 Het HTV proces van Shell (SGP)

Konzept Abfallentsorgung

LURGI

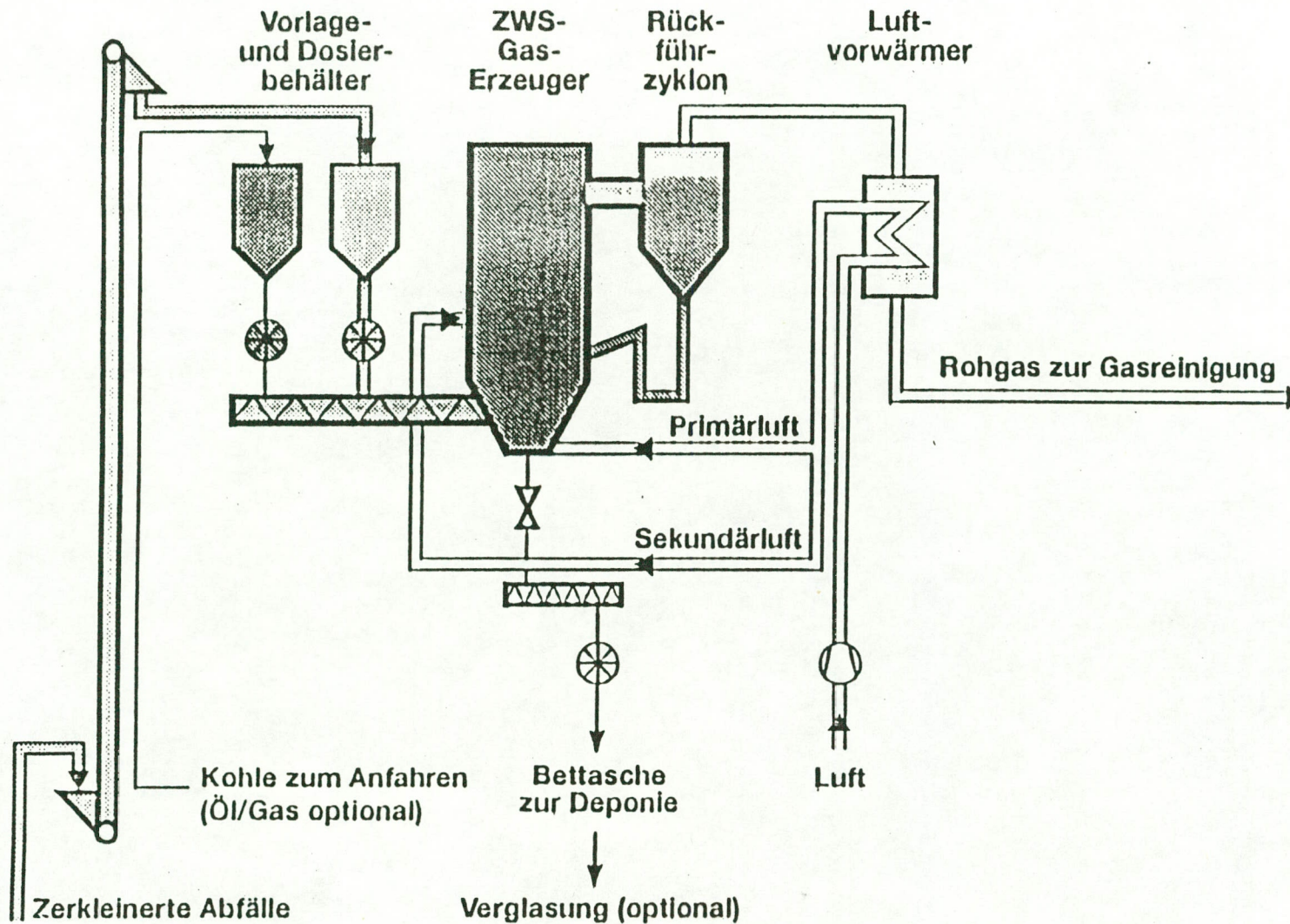
Abfall-Aufbereitung und Zerkleinerung



Figur 6 Afvalvoorbewerking bij het MTV proces van Lurgi

Konzept Abfallentsorgung Abfallvergasung

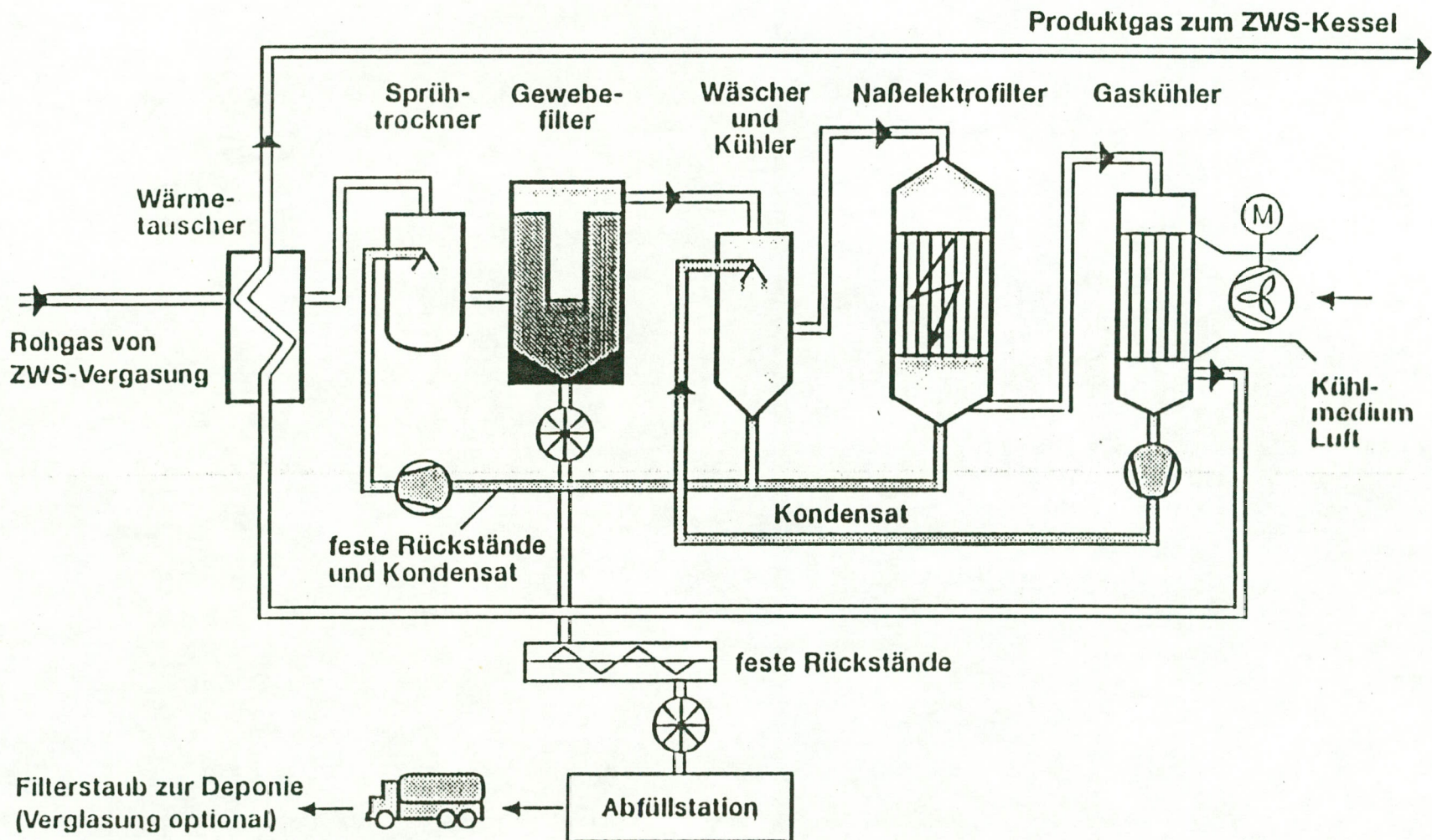
LURGI



Figuur 7 Het MTV proces van Lurgi

Konzept Abfallentsorgung Gasreinigung

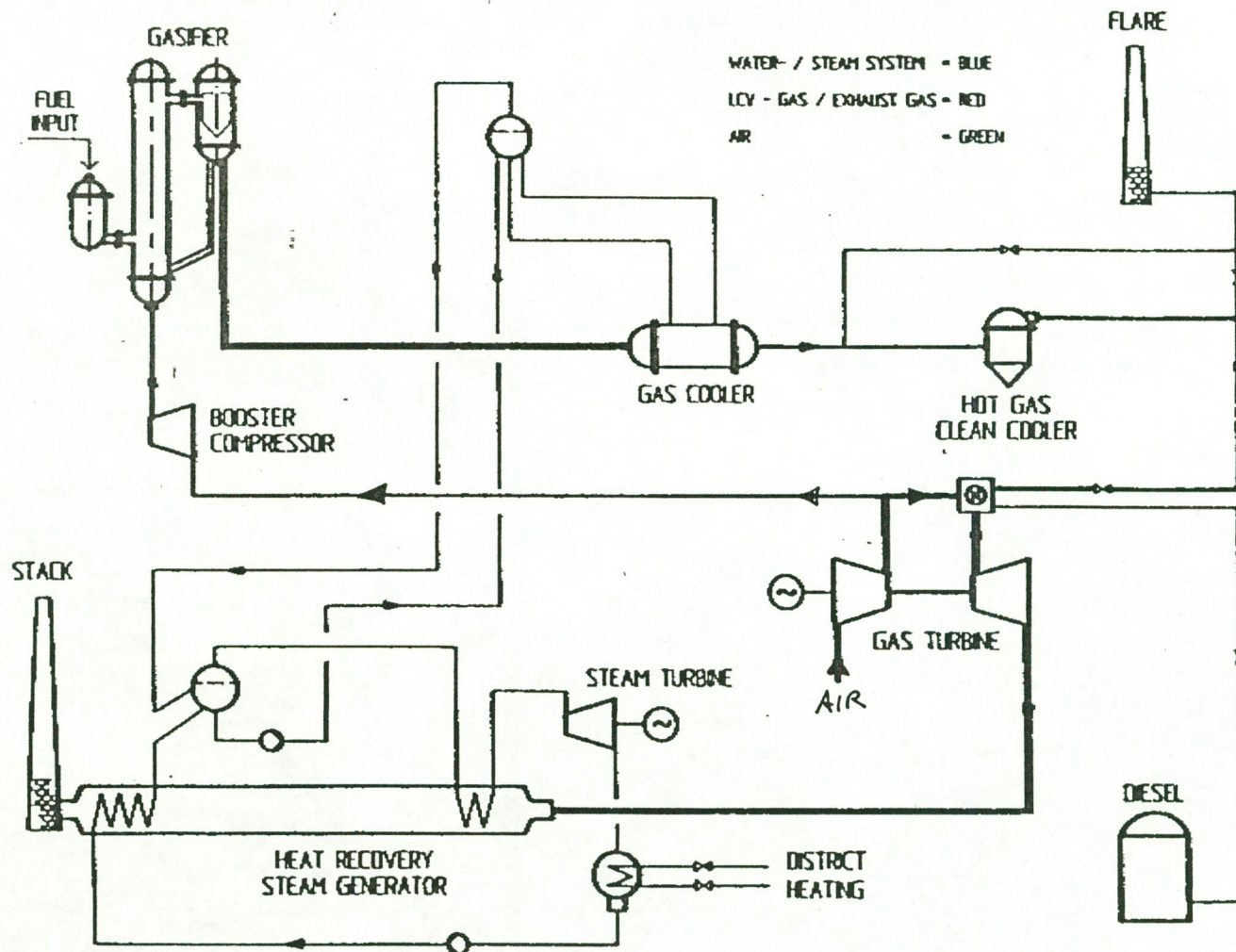
LURGI



Figuur 8 Gasreiniging bij het MTV proces van Lurgi

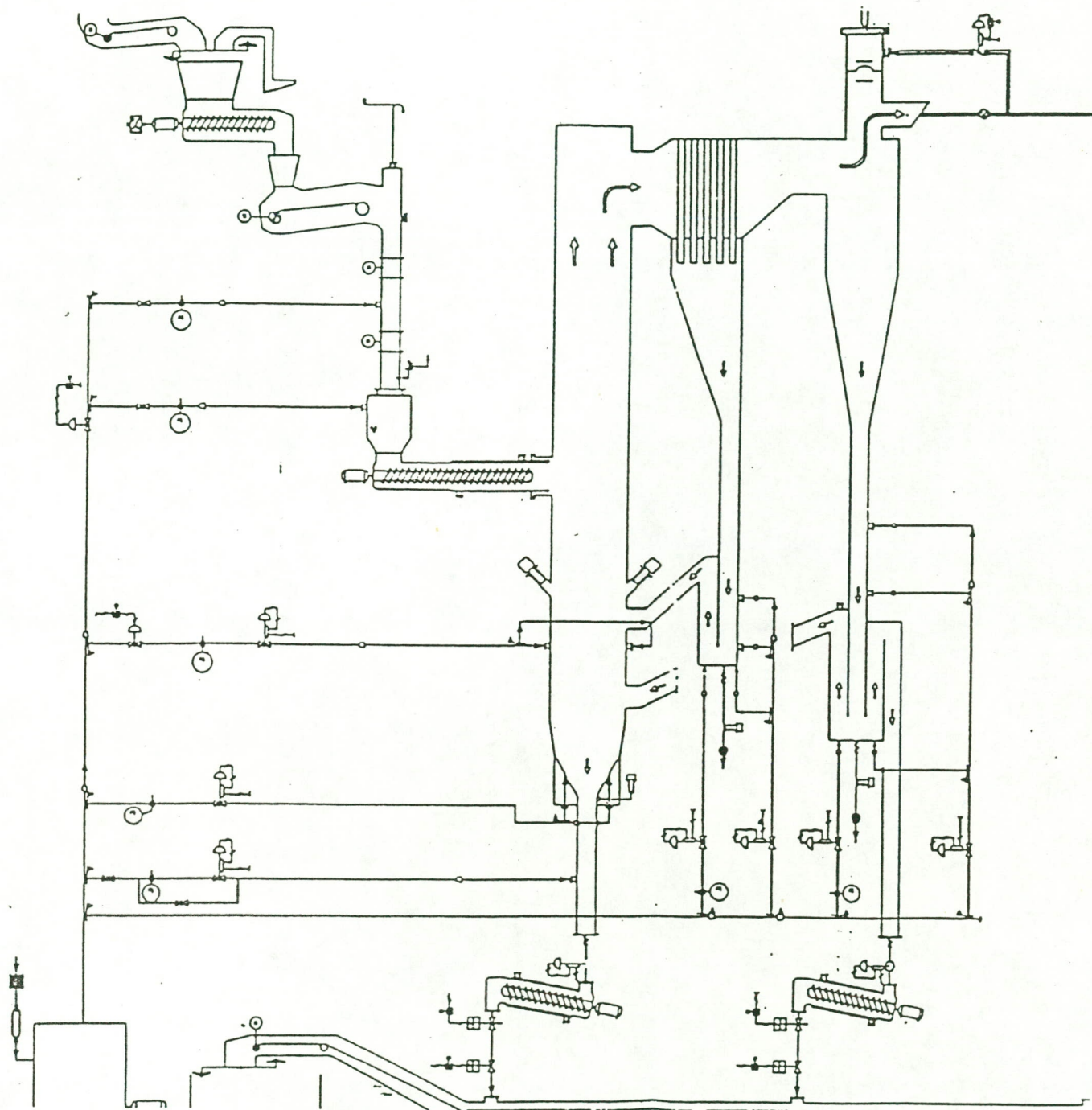
BIO POWER PROCESS DIAGRAM

EV-910909-Edn/1/98



Figuur 9 Het MTV proces van Oy Bioflow

Figuur 10 Het MTV proces van TPS

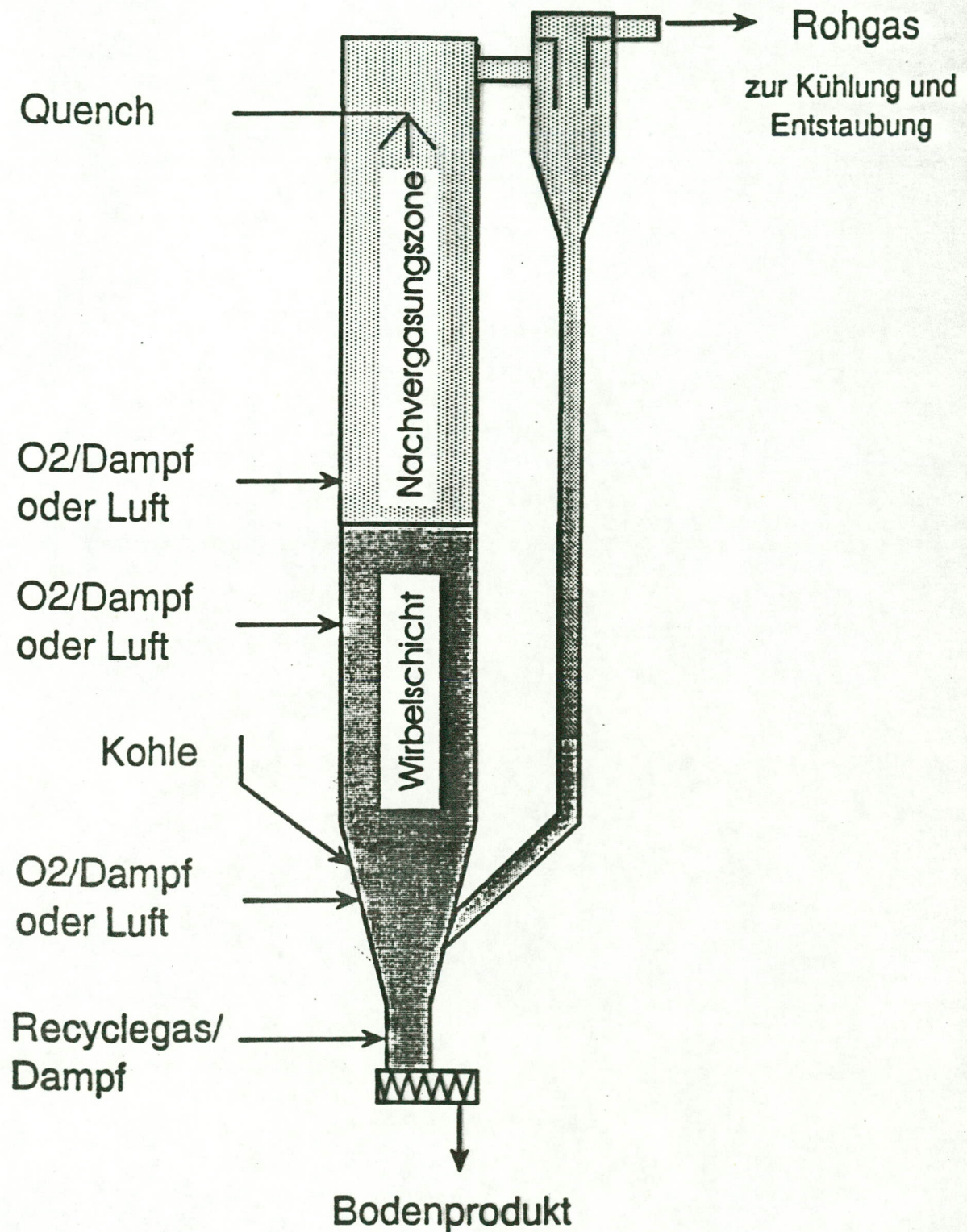


Figuur 5: Schematische weergave van het circulerend wervelbed t.b.v. r.d.f. vergassing te Greve, Chianti (Florence);

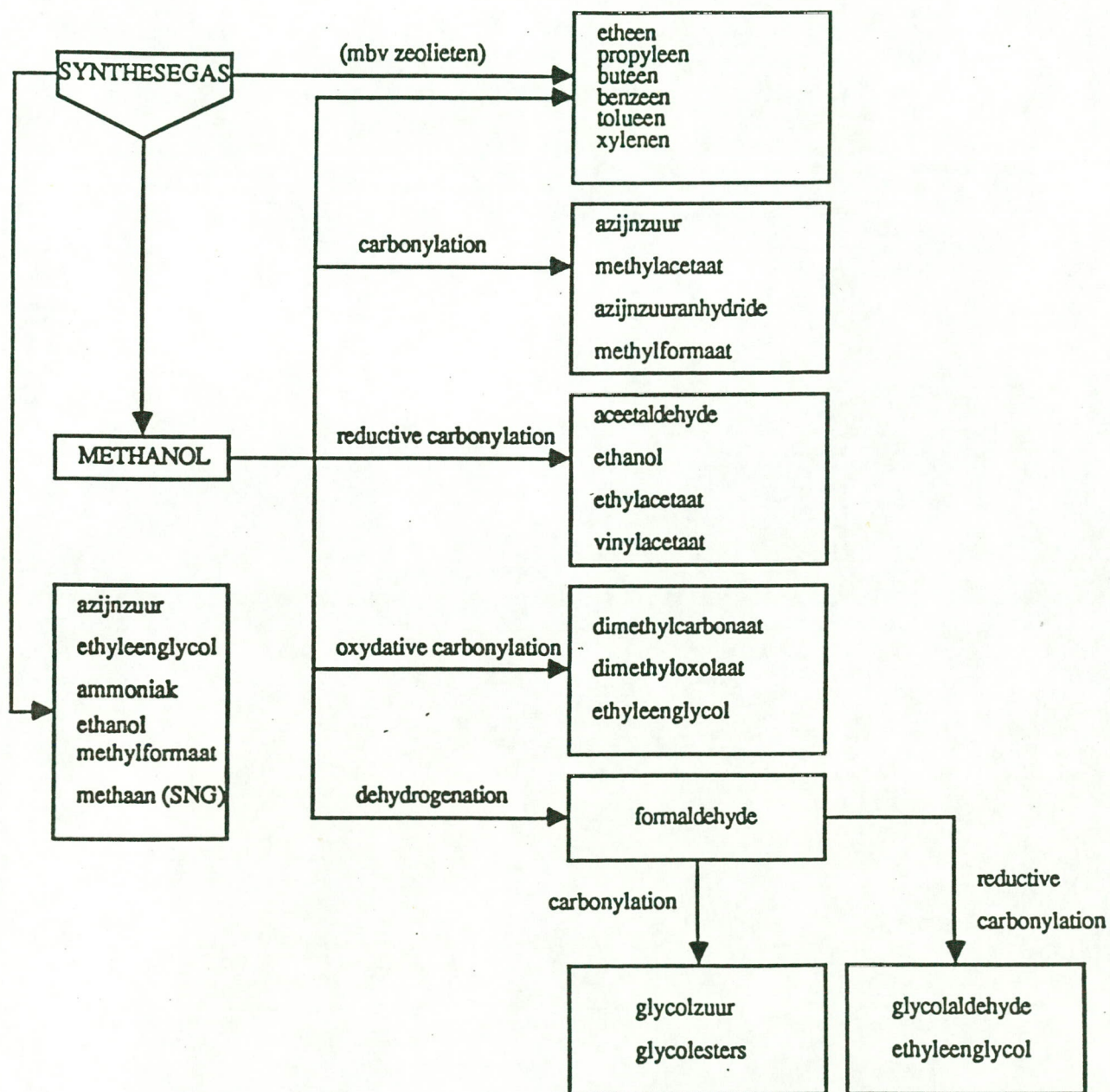
Constructeur: Ansaldo-Aerimpianti, Italië;

Technologie: Studsvik (thans TPS Thermal Processes AP) - Zweden

Schema HTW - Vergaser



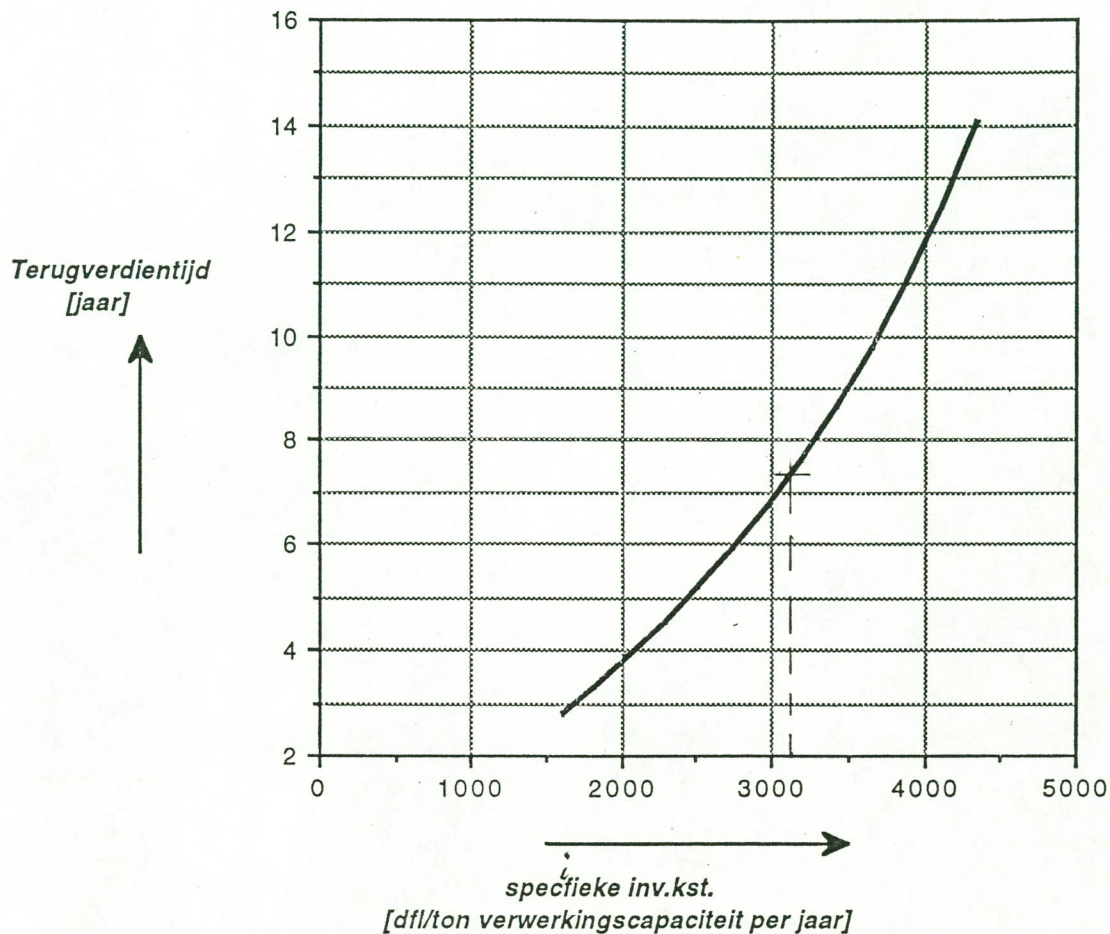
Figuur 12 Mogelijk gebruik van synthese-gas



Mogelijke chemische produkten op basis van synthese-gas
(niet alle produktie routes zijn bij de huidige techniek beschikbaar)

Figuur 13

Gevoeligheid van de terugverdiëntijd van een
plastic-afvalvergassingsinstallatie t.b.v.
synthesegasproductie, voor de specifieke investeringskosten



Rente: 9%

Economische levensduur: 15 jaar

Gate fee: 200 dfl/ton

Personeel/-kosten: 40 man/3.450.000 dfl per jaar

Onderhoudskst. : 4% van de totale investering per jaar

Synthesegasproductie: 2,7 ton per ton afval

Rekenprijs syngas: 190 dfl per ton

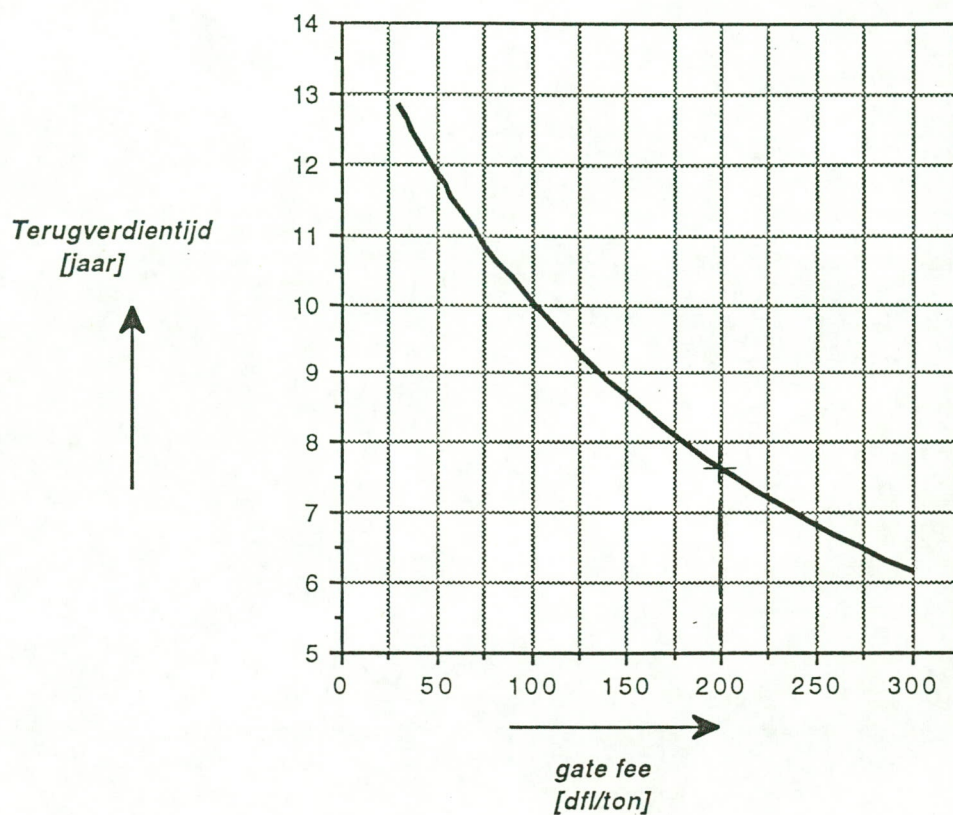
Netto stoomproductie (80 bar, 520 C): 1,7 t/t afval

Rekenprijs stoom: 35 dfl per ton

Totale kosten zuurstof- en electriciteitsverbruik: 115 dfl per ton afval

Figuur 14

Gevoeligheid van de terugverdiëntijd van een plastic-afvalvergassingsinstallatie t.b.v. synthesesegasproductie voor de "gate fee"



Rente: 9%

Economische levensduur: 15 jaar

Personeelskosten: 3.450.000 dfl per jaar (40 man)

Onderhoudskosten: 4% van de totale investering

Totale kosten zuurstof- en electriciteitsverbruik: 115 dfl per ton afval

Specifieke investeringskosten: 3.200 dfl per ton verwerkingscapaciteit per jaar

Synthesegasproductie: 2,7 ton per ton afval

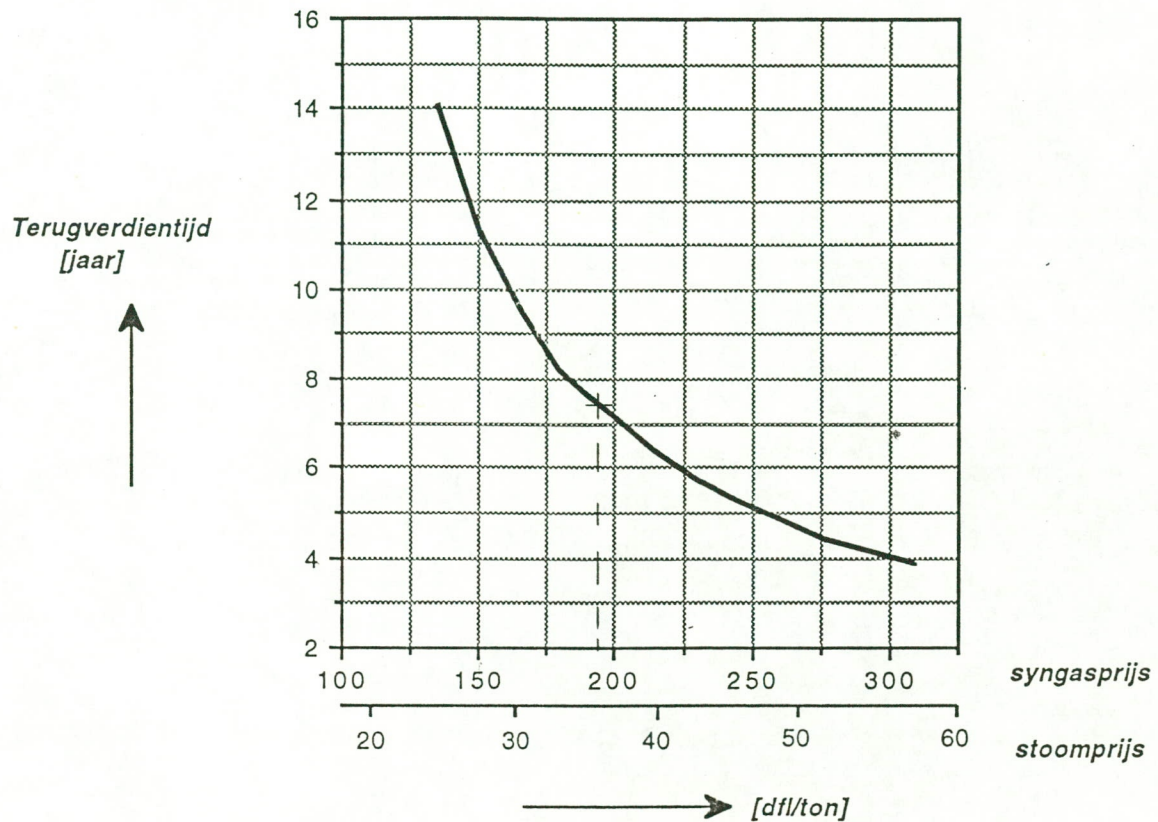
Synthesegasprijs: 190 dfl/ton

Netto stoomproductie: 1,7 ton per ton afval

Rekenprijs stoom: 35 dfl/ton

Figuur 15

Gevoeligheid van de terugverdiendtijd van een plastic-afvalvergassingsinstallatie t.b.v. synthesesegasproductie voor de synthesesegasprijs



Rente: 9%

Economische levensduur: 15 jaar

Gate fee: 200 dfl per ton

Personeelskosten: 3.450.000 dfl per jaar (40 man)

Onderhoudskosten: 4% van de totale investering

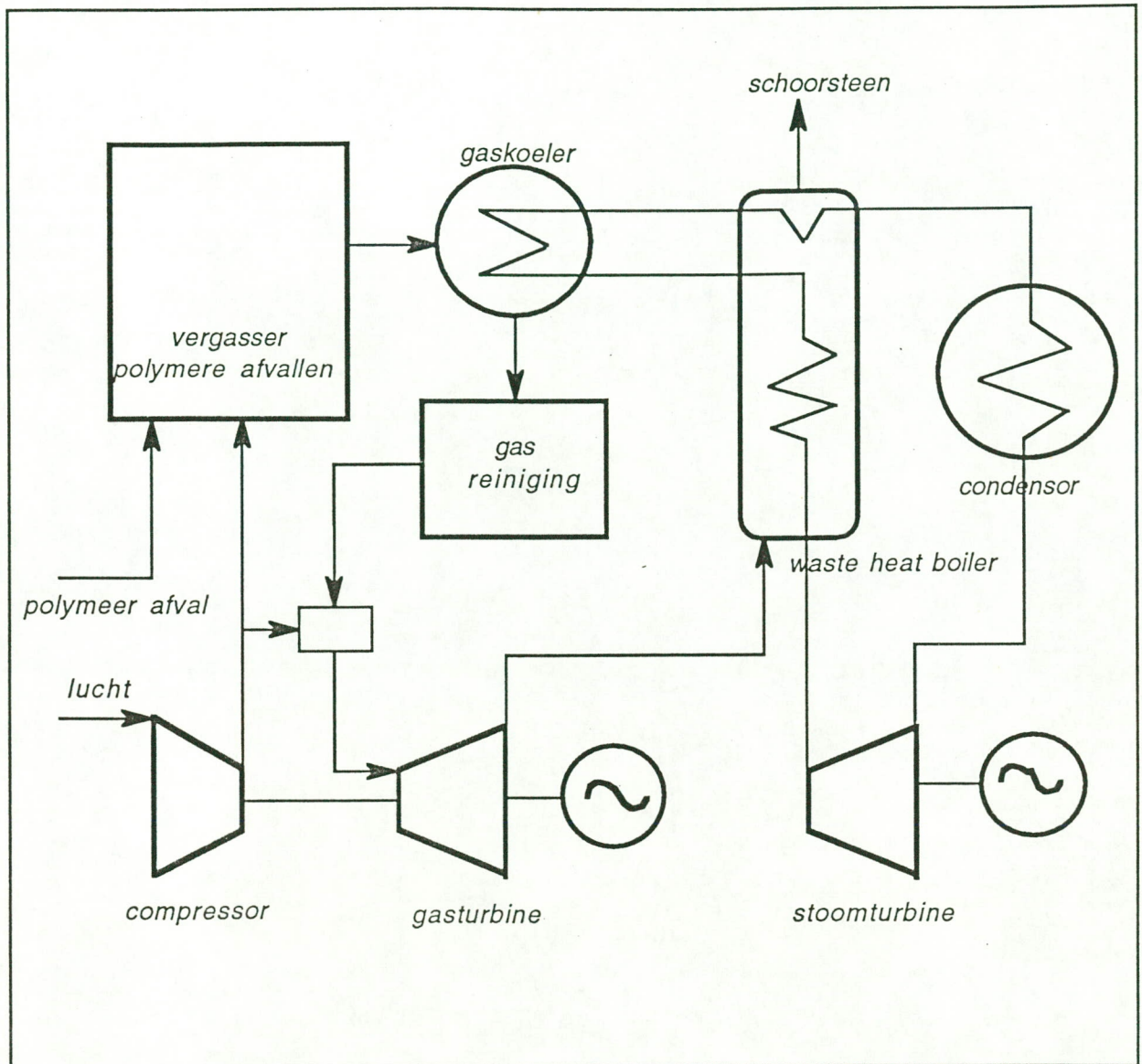
Specifieke investeringskosten: 3.200 dfl per ton verwerkingscapaciteit per jaar

Synthesesegasproductie: 2,7 ton per ton afval

Netto stoomproductie: 1,7 ton per ton afval

Totale kosten zuurstof- en electriciteitsverbruik: 115 dfl per ton afval

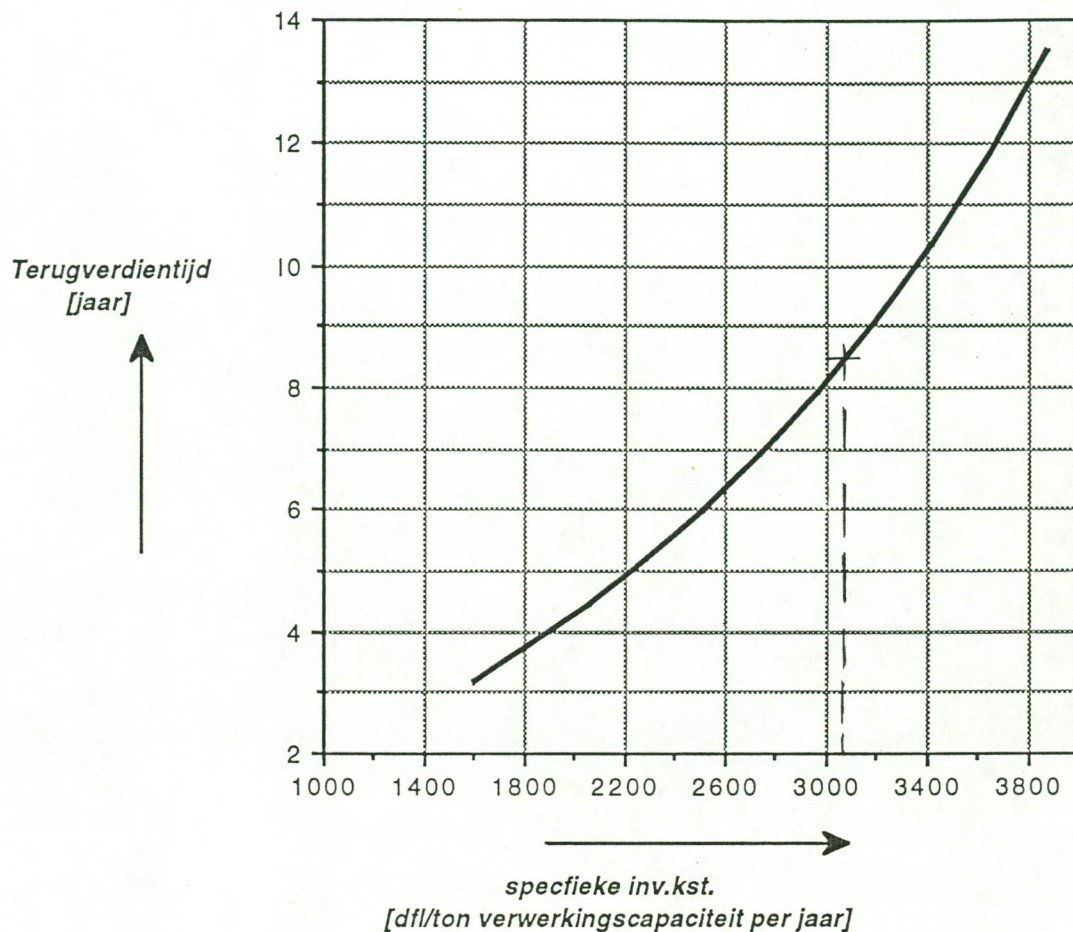
Figuur 16



Polymeer Afvalvergassingssysteem - Geïntegreerde gas-/ stoomturbine
cyclus, PAV-STEG

Figuur 17

Gevoeligheid van de terugverdientijd van een PAV-STEG t.b.v. stookgas-/electriciteitsproductie voor de specifieke investeringskosten

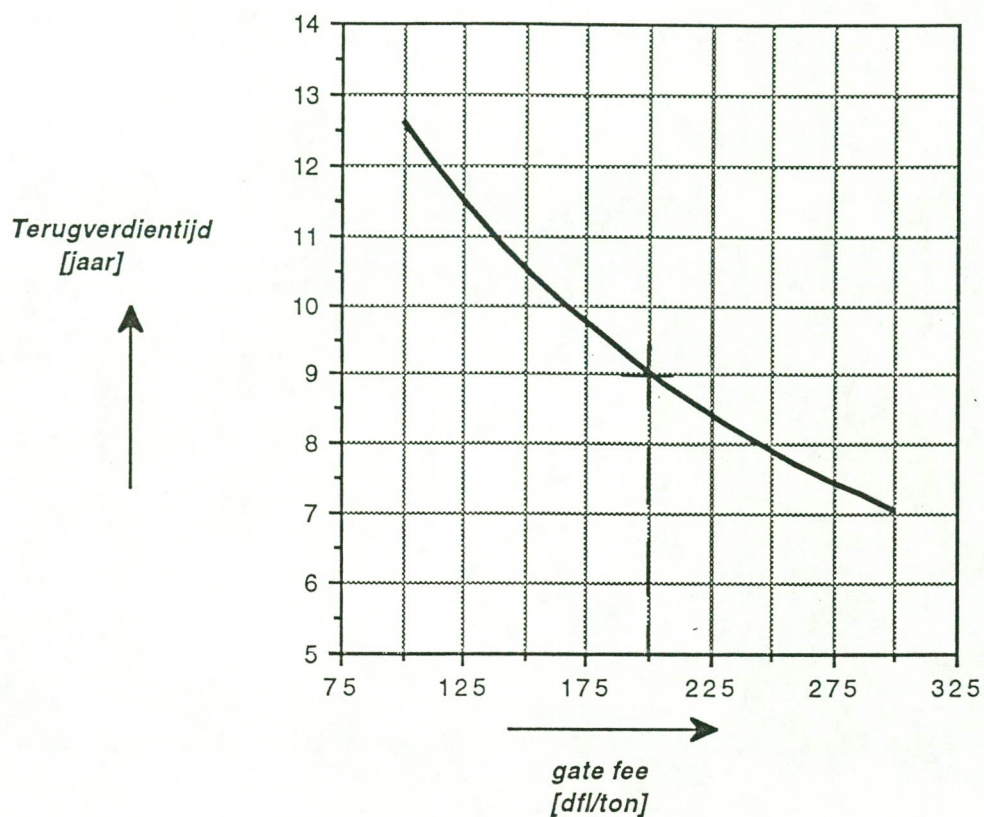


Rente: 9%
Economische levensduur: 15 jaar
Gate fee: 200 dfl/ton
Personeel/-kosten: 40 man/3.450.000 dfl per jaar
Onderhoudskst. : 4% van de totale investering per jaar

Electriciteitsproductie: 4 MWhe per ton afval
Electriciteitsprijs: 12,5 cnt/kWhe
Totale kosten elektriciteitsverbruik: 25 dfl per ton afval

Figuur 18

Gevoeligheid van de terugverdiëntijd van een PAV-STEG t.b.v. stookgas-/electriciteitsproductie voor de "gate fee"



Rente: 9%

Economische levensduur: 15 jaar

Personeelskosten: 3.450.000 dfl per jaar (40 man)

Onderhoudskosten: 4% van de totale investering

Totale kosten electriciteitsverbruik: 25 dfl per ton afval

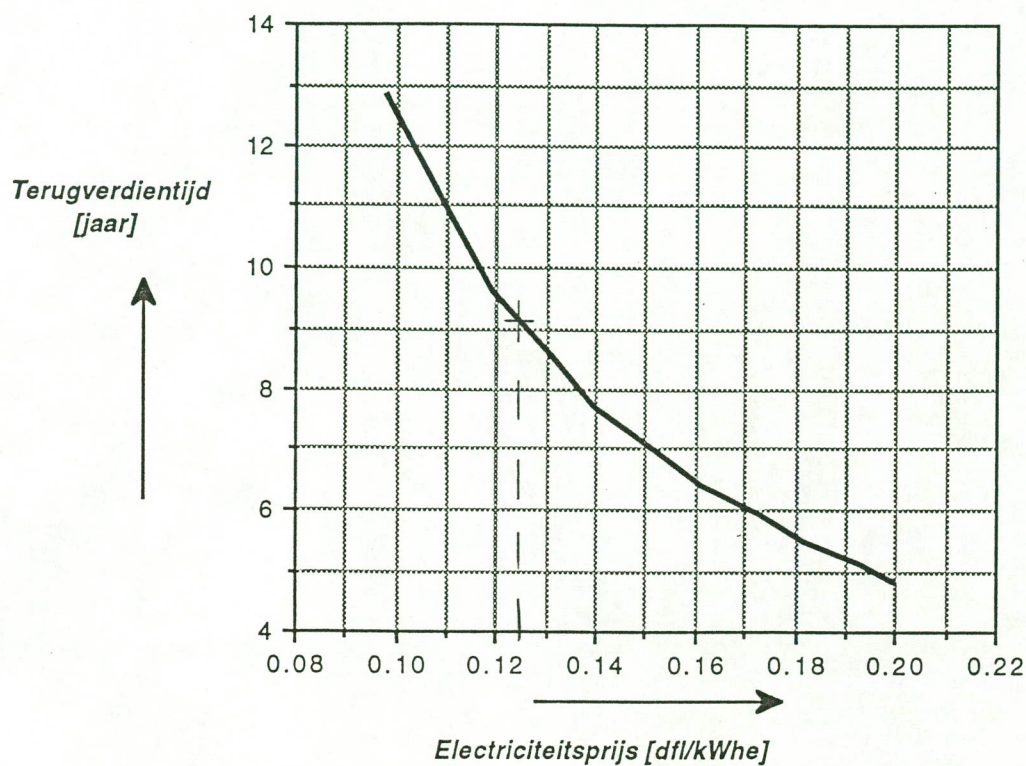
Specifieke investeringskosten: 3.200 dfl per ton verwerkingscapaciteit per jaar

Electriciteitsproductie: 4 MWe per ton afval

Electriciteitsprijs: .125 dfl/kWhe

Figuur 19

Gevoeligheid van de terugverdientijd van een PAV-STEg t.b.v.
stookgas-/electriciteitsproductie voor de electriciteitsprijs



Rente: 9%

Economische levensduur: 15 jaar

Gate fee: 200 dfl/ton

Personeel: 40 man

Personeelskosten: 3.450.000 dfl per jaar

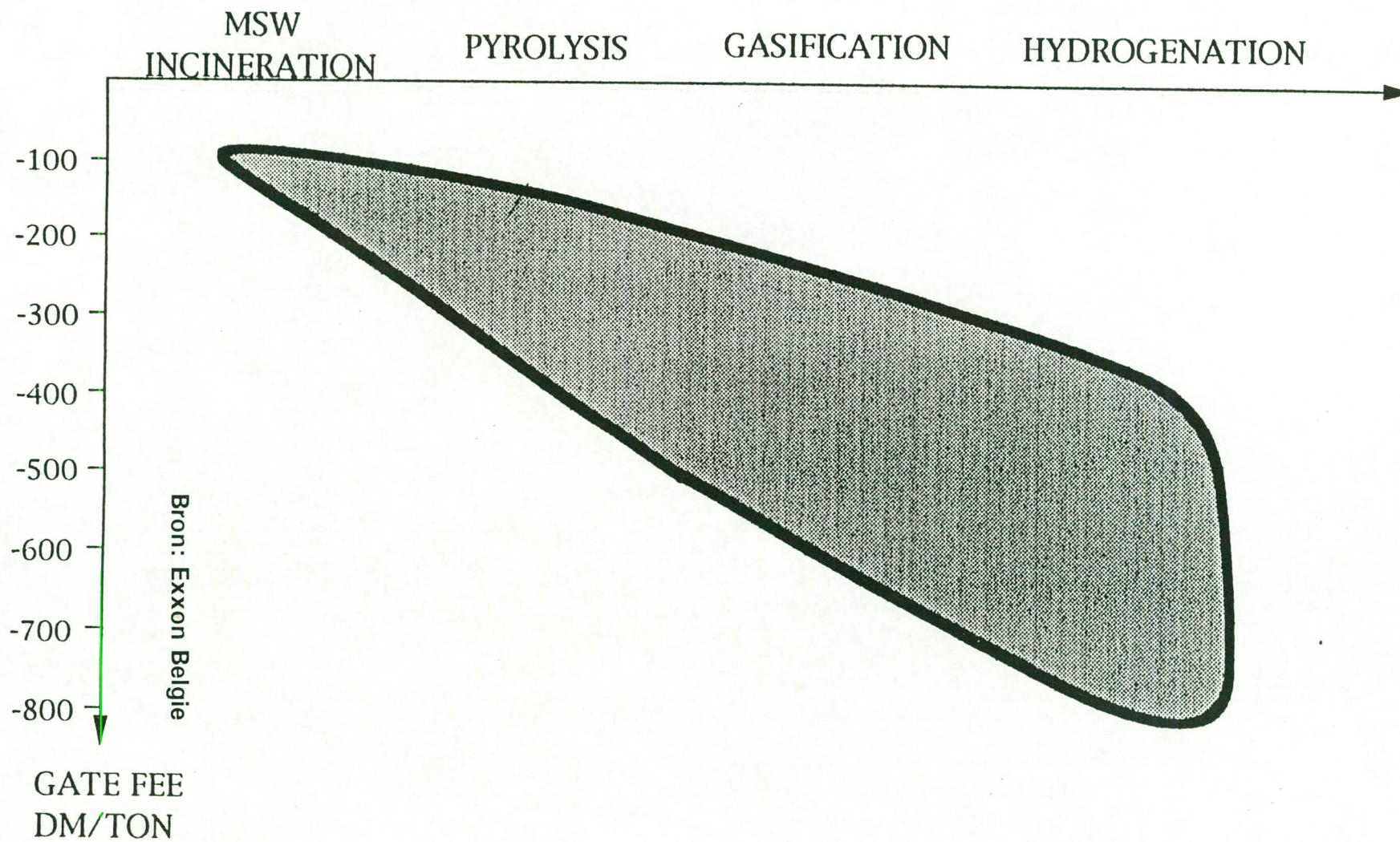
Onderhoudskosten: 4% van de totale investering per jaar

Electriciteitsproductie: 4 MWe per ton afval

Specifieke investeringskosten: 3.200 dfl/(ton verwerkingscapaciteit per jaar)

Totale kosten electriciteitsverbruik: 25 dfl per ton afval

ESTIMATED ECONOMICS FOR CHEMICAL RECYCLING



Figuur 20