

# **BEOORDELING VAN TECHNISCHE HAALBAARHEID EN VAN MILIEU-ASPECTEN VAN HET AFVALVERWERKINGSBELEID**

**A. Van der Linden, K. Briffaerts**

**Studie uitgevoerd in opdracht van OVAM**

**2005/IMS/R/067**



**Vito**

**Maart 2005**







## INHOUDSTABEL

Managementsamenvatting .....	15
DEEL 1: Resultaten van de update van de verkorte beoordelingsmethode voor verwerkingstechnieken van huishoudelijk afval .....	19
1 Inleiding.....	21
2 Methode.....	23
2.1 Inleiding.....	23
2.2 Toepassingsgebied.....	23
2.3 Evaluatiecriteria.....	24
2.3.1 Milieu .....	24
2.3.2 Energie.....	24
2.3.3 Materiaalrecuperatie .....	24
2.3.4 Financieel-economische aspecten .....	25
2.3.5 Bedrijfsvoering .....	25
2.4 Verwerkingsscenario's .....	25
3 Afvalsamenstelling .....	26
4 Gegevensverwerking .....	29
4.1 Massa- en energiebalans.....	29
4.2 Emissieberekeningen.....	32
4.2.1 Zware metalen .....	32
4.2.2 CO <sub>2</sub> .....	32
4.2.3 Overige emissies.....	33
5 resultaten.....	35
5.1 Roosteroven.....	35
5.2 Voorbehandelingsinstallaties.....	36
5.3 Voorbehandeling & thermische verwerking .....	37
6 Evaluatie .....	39
6.1 Milieu, directe emissies .....	39
6.1.1 Inleiding.....	39
6.1.2 Analyse .....	40
6.1.3 Besluit.....	44
6.2 Energie.....	45
6.2.1 Inleiding.....	45
6.2.2 Analyse .....	46
6.2.3 Besluit.....	47
6.3 Milieu, vermeden emissies .....	47
6.3.1 Inleiding.....	47
6.3.2 Analyse .....	48
6.3.3 Besluit.....	52
6.4 Materiaalrecuperatie .....	53
6.4.1 Ferro .....	54
6.4.2 Non ferro .....	54
6.4.3 Inerten.....	54
6.4.4 Residu's .....	56
6.4.5 Besluit.....	56

7	Algemeen besluit .....	59
DEEL 2: Technische fiches mechanisch-biologische voorbehandelingstechnieken voor huishoudelijk afval.....63		
1	Inleiding.....	64
2	Combinaties van mechanische voorbehandeling en vergisting van de organische fractie .....	66
2.1	Systemen bestaande uit een combinatie van mechanische voorbehandeling en droge vergisting van de organische fractie .....	67
2.1.1	OWS.....	67
2.1.2	Valorga International .....	70
2.1.3	Linde-KCA-Dresden GmbH: droge vergisting.....	79
2.2	Systemen bestaande uit een combinatie van een mechanische voorbehandeling en een natte vergisting van de organische fractie .....	80
2.2.1	U-Plus Umweltservice AG .....	80
2.2.2	Vagron .....	89
2.3	Het BTA-Proces.....	95
2.3.1	Procesbeschrijving.....	95
2.3.2	Bespreking van de procesoutputs .....	97
2.3.3	Stand van zaken .....	98
2.3.4	Linde-KCA-Dresden GmbH: natte vergisting.....	100
3	Combinaties van mechanische voorbehandeling en aërobe afbraak van de organische fractie.....	102
3.1	Systemen bestaande uit een mechanische voorbehandeling en biologisch drogen van de organische fractie .....	103
3.1.1	Herhof-Umwelttechnik GmbH .....	103
3.1.2	Nehlsen AG.....	106
3.1.3	Biocubi®/Intelligent Transfer Station (ITS) .....	110
3.2	Systemen bestaande uit een mechanische voorbehandeling en composteren van de organische fractie.....	113
3.2.1	Linde-KCA-Dresden GmbH: tunnel compostering, compostering in beluchte hopen en intensieve compostering.....	113
3.2.2	Dombelüftung .....	117
3.2.3	Schwarting MBA concept.....	120
3.3	Systeem bestaande uit een mechanische voorbehandeling en volledige compostering van de organische fractie .....	122
3.3.1	Faber Ambra® concept.....	122
4	Systemen/technieken die nog niet bewezen zijn voor de voorbehandeling van huishoudelijk afval.....	125
4.1	CCp-Eurec-Verfahren' .....	125
4.2	Biopuster .....	127
4.3	Rumen oy .....	127
4.4	Het Texan proces .....	128
5	Andere niet-thermische voorbehandelingen voor huishoudelijk afval.....	130
5.1	Biologische voorbehandelingstechnieken .....	130
5.1.1	Vorarlberger Kraftwerke Anlagenbau und Umwelttechnik GmbH .....	130
5.1.2	Haschemi - Verfahren.....	131
5.2	Mechanische voorbehandelingstechnieken .....	132

5.2.1	DANODrum .....	132
5.2.2	BASEP 2000 .....	133
5.3	Systemen die stoominjectie toepassen, in combinatie met andere voorbehandelingsstappen .....	135
5.3.1	Fibrecycle .....	135
5.3.2	SWERF .....	135
6	Niet relevante systemen/leveranciers .....	137
6.1	SOTEC .....	137
6.2	VADEB® Thermal Kinetic Drying Technology .....	137
6.3	Lurgi Energie und Entsorgung .....	138
6.4	Biodegma .....	138
7	Systemen/leveranciers waarvoor onvoldoende informatie beschikbaar is .....	140
7.1	AGSM Verona .....	140
7.2	Horstmann Recyclingtechnik GmbH .....	140
7.3	ReCulture .....	140
7.4	Gores .....	140

### DEEL 3: Technische fiches thermische verwerkingstechnieken van huishoudelijk afval. 141

1	Inleiding .....	143
2	Verbranding .....	145
2.1	Roosteroven .....	145
2.1.1	Procesbeschrijving .....	145
2.1.2	Roostertypen .....	146
2.1.3	Koelingssystemen voor de roosters .....	147
2.1.4	Terugwinning van energie .....	148
2.1.5	Naverbrandingskamer .....	149
2.1.6	Secundaire lucht injectie .....	152
2.1.7	Stand van de techniek .....	154
3	Vergassing .....	155
3.1	Techniek .....	155
3.1.1	Procesbeschrijving .....	155
3.2	Nippon Steel .....	157
3.2.1	Procesbeschrijving .....	157
3.2.2	Stand van de techniek .....	158
3.3	Thermoselect .....	158
3.3.1	Procesbeschrijving .....	159
3.3.2	Stand van de techniek .....	160
4	Pyrolyse .....	163
4.1	Techniek .....	163
4.1.1	Procesbeschrijving .....	163
4.1.2	Varianten .....	163
4.2	Technip Pyropleq proces .....	165
4.2.1	Procesbeschrijving .....	165
4.2.2	Stand van de techniek .....	166
4.3	Thide – EDDITH proces .....	166
4.3.1	Procesbeschrijving .....	166
4.3.2	Stand van de techniek .....	167
4.4	PKA .....	168

4.4.1	Procesbeschrijving.....	168
4.4.2	Stand van de techniek .....	171
4.5	Traidec .....	171
4.5.1	Procesbeschrijving.....	171
4.5.2	Stand van de techniek .....	172
4.6	Nexus Softer Proces.....	172
4.6.1	Procesbeschrijving.....	172
4.6.2	Stand van de techniek .....	174
4.7	Basse-Sambre ERI : Serpac Pyroflam .....	174
4.7.1	Procesbeschrijving.....	174
4.7.2	Stand van de techniek .....	175
4.8	Compact power .....	175
4.8.1	Procesbeschrijving.....	175
4.8.2	Stand van de techniek .....	177
4.9	Von Roll RCP .....	177
4.9.1	Stand van de techniek .....	178
4.10	Pyrovac .....	179
4.10.1	Procesbeschrijving.....	179
4.10.2	Stand van de techniek .....	180
4.11	SWERF .....	181
	Referenties .....	183



## LIJST MET TABELLEN

Tabel 1 : afvalsamenstelling zoals opgenomen in de verkorte beoordelingmethode .....	28
Tabel 2: samenstelling van de calorische fracties in kg/ton afval .....	30
Tabel 3: gehalten aan zware metalen van de verschillende fracties in mg/kg DS.....	31
Tabel 4: gebruikte emissiefactoren naar de lucht voor zware metalen bij verbranding .....	32
Tabel 5 : gebruikte emissies naar de lucht voor , SO <sub>2</sub> , stof en dioxines.....	33
Tabel 6: roosteroven, emissies naar lucht.....	35
Tabel 7: roosteroven, recupereerbare en te storten fracties .....	35
Tabel 8: roosteroven, energiein- en -output.....	36
Tabel 9: voorbehandeling, emissies naar lucht.....	36
Tabel 10: voorbehandeling, recupereerbare en te storten fracties .....	37
Tabel 11: voorbehandeling, energiein- en -output.....	37
Tabel 12: voorbehandeling+WBO, emissies naar lucht .....	38
Tabel 13: voorbehandeling + WBO, recupereerbare en te storten fracties .....	38
Tabel 14: voorbehandeling + WBO, energiein- en -output .....	38
Tabel 15: vergelijking van de totale milieu-impacts voor de verschillende scenario's .....	44
Tabel 16: netto-rendement per scenario .....	46
Tabel 17: vergelijking van de milieu-impacts, inclusief vermeden emissies, voor de verschillende scenario's.....	53
Tabel 18: overzicht van de verschillende geproduceerde niet energetische fracties.....	54
Tabel 19: Bestaande scheidings- en vergistingsinstallaties volgens OWS-technologie ter voorbehandeling van huishoudelijk afval in Europa .....	69
Tabel 20: Overzicht van de bestaande en geplande installatie binnen Europa volgens het Valorga voorbehandelingssysteem .....	78
Tabel 21: overzicht van bestaande en geplande Trockenstabilatinstallaties binnen Europa .....	104
Tabel 22: Bestaande en geplande installaties volgens de Biocubi <sup>®</sup> /ITS technologie .....	112
Tabel 23: Toepassing van het Schwarting MBA concept op huishoudelijk restafval in Duitsland.....	120
Tabel 24: overzicht verschillende geplande en bestaande thermoselect installaties .....	162
Tabel 25: Verblijftijd en warmtetoevoer pyrolyse. ....	164

**LIJST MET FIGUREN**

Figuur 1: overzicht systeemgrenzen .....	24
Figuur 2: overzicht geselecteerde afvalverwerkingstechnieken en gecontacteerde leveranciers voor bevraging uit restafvalstudie .....	25
Figuur 3: overzicht van de geactualiseerde verwerkingstechnieken in deze studie .....	26
Figuur 4: schade aan menselijke gezondheid door kankerverwekkende en anorganische stoffen, vergelijking van de scenario's .....	41
Figuur 5: schade aan humane gezondheid door klimaatsverandering, vergelijking van de scenario's .....	42
Figuur 6: schade aan het ecosysteem door ecotoxische stoffen en verzuring en vermisting, vergelijking van de scenario's .....	43
Figuur 7: uitputting van grondstoffen, vergelijking van de scenario's .....	43
Figuur 8: schade aan menselijke gezondheid door kankerverwekkende inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's .....	48
Figuur 9: schade aan menselijke gezondheid door anorganische stoffen, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's .....	49
Figuur 10: schade aan humane gezondheid door klimaatsverandering, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's .....	50
Figuur 11: schade aan het ecosysteem door ecotoxische stoffen, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's .....	50
Figuur 12: schade aan het ecosysteem door verzuring en vermisting, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's .....	51
Figuur 13: uitputting van grondstoffen, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's .....	52
Figuur 14: overzicht herbruikbare fracties (kg/ton afval) .....	56
Figuur 15: overzicht te storten fracties (kg/ton afval) .....	57
Figuur 16: Algemene voorstelling van het SORDISEP voorbehandelingssysteem .....	67
Figuur 17: Outputs van het SORDISEP voorbehandelingssysteem .....	68
Figuur 18: mogelijke voorbehandelingsopties van het Valorga voorbehandelingssysteem ..	70
Figuur 19: Voorstelling van het Valorga voorbehandelingssysteem .....	71
Figuur 20: Weergave van de ontvangst en de mechanische voorbehandeling volgens het Valorga voorbehandelingssysteem .....	72
Figuur 21: Weergave van de anaërobe vergistingsstap volgens het Valorga voorbehandelingssysteem .....	73
Figuur 22: Weergave van de valorisatie van het biogas volgens het Valorga voorbehandelingssysteem .....	74
Figuur 23: Weergave van de aërobe nabehandelingstap van het digestaat volgens het Valorga voorbehandelingssysteem .....	75
Figuur 24: Weergave van de luchtzuiveringsinstallatie van het Valorga voorbehandelingssysteem .....	75
Figuur 25: massabalans voor de Valorga voorbehandelingsinstallatie te Amiens (Frankrijk) .....	77
Figuur 26: optie1 van het ISKA-concept: maximalisatie van het hergebruik van het afval voor materiaal- of energierecuperatie .....	81
Figuur 27: optie2 van het ISKA-concept: maximale reductie van het afval alvorens verwerking in een afvalverbandingsoven .....	82
Figuur 28: Algemene voorstelling van het ISKA voorbehandelingssysteem .....	84
Figuur 29: Energiebalans voor de Vagron installatie te Groningen .....	92

Figuur 30: Massabalans voor de Vagron installatie te Groningen .....	93
Figuur 31: voorstelling van de 1-stapsvergisting volgens de BTA-technologie .....	96
Figuur 32: voorstelling van de multi-stapsvergisting volgens de BTA-technologie.....	97
Figuur 33: Algemeen overzicht van de mechanisch-biologische voorbehandeling volgens het Nehlsen-concept.....	107
Figuur 34: Mechanische nabehandeling van de gestabiliseerde hoogcalorische fractie tot de secundaire brandstof Calobren <sup>®</sup> , volgens het Nehlsen-concept .....	108
Figuur 35: massabalans volgens het Nehlsen-concept .....	109
Figuur 36: Schematische voorstelling van het mechanische biologische voorbehandelingsysteem op basis van het Dombelüftungsconcept.....	117
Figuur 37: Schematische dwarsdoorsnede van een walvormige rij volgens het Dombelüftungsconcept.....	118
Figuur 38: foto van een walvormige rij volgens het Dombelüftungsconcept .....	118
Figuur 39: Massabalans van de mechanisch-biologische voorbehandelingsinstallatie MBA Lüneburg.....	121
Figuur 40: Combinatie van de modules van het FABER-AMBRA®-proces .....	124
Figuur 41: Algemeen overzicht van het Texan proces .....	128
Figuur 42: Toepassingsgebieden van de DANODrum technologie van Seghers Keppel ....	132
Figuur 43: Foto van de binnenzijde van de DANODrum .....	132
Figuur 44: Tekening van de DANODrum.....	133
Figuur 45: Schematische voorstelling van de BASEP 2000 .....	134
Figuur 46: Processchema SWERF <sup>TM</sup> .....	136
Figuur 47: Algemene voorstelling van de Biodegma voorbehandelingsinstallatie te Pössneck (Duitsland).....	139
Figuur 48: Kostprijs versus bewezen techniek voor vergassing in Europa en Japan. ....	143
Figuur 49: Schema roosteroven. ....	146
Figuur 50: hellend rooster, beweging in voortgangsrichting.....	147
Figuur 51: hellend rooster, beweging tegen voortgangsrichting .....	147
Figuur 52: walsenrooster .....	147
Figuur 53 : lucht- en watergekoelde rooster systemen.....	148
Figuur 54: verblijftijden in naverbrandingszone in functie van de temperatuur .....	149
Figuur 55: verschillende typen naverbrandingskamers .....	150
Figuur 56: verticale temperatuursverdeling voor de verschillende typen naverbrandingskamers .....	151
Figuur 57: verticale temperatuursverdeling voor verschillende typen wandbekleding.....	151
Figuur 58 : verschillende mogelijkheden voor secundaire lucht injectie .....	152
Figuur 59 : Verschillende systemen voor secundaire lucht injectie .....	153
Figuur 60 : verticale zuurstofverdeling voor verschillende luchtinjectiesystemen (middenstroom naverbrandingskamer).....	153
Figuur 61: Pyrolyse – vergassing – verbranding.....	155
Figuur 62: Schematische voorstelling van het vergassingsproces.....	156
Figuur 63: Nippon steel.....	158
Figuur 64: Vastbedreactor.....	159
Figuur 65: Eddith proces.....	167
Figuur 66: Vier varianten PKA-procede.....	168
Figuur 67: Proces PKA.....	170
Figuur 68: Traidec.....	172
Figuur 69: Nexus Softer proces.....	173
Figuur 70: Serpac Pyroflam.....	175

Figuur 71: Compact power. ....	176
Figuur 72: Von Roll RCP. ....	178
Figuur 73: Pyrovac.....	179





## MANAGEMENTSAMENVATTING

In voorliggend rapport worden de resultaten weergegeven van de activiteiten die Vito uitvoerde in 2004 in het kader het jaarcontract OVAM/Vito 2004, taak 10 Beleidsondersteuning afvalstoffen.

De algemene doelstellingen van deze actie waren :

- 1) Antwoord bieden op een aantal concrete vragen binnen OVAM<sup>1</sup>;
- 2) Resultaten van de update van de verkorte beoordelingsmethode voor verwerkingstechnieken van huishoudelijk afval;
- 3) Kennis op vlak van afvalverwerkingstechnologieën actueel houden, en het belang van nieuwe ontwikkelingen en tendensen snel kunnen vatten;
- 4) Evaluatie van methoden om selectieve inzameling van afvalstromen te beoordelen.

Deze actie werd als volgt ingevuld :

*Resultaten van de update van de verkorte beoordelingsmethode voor verwerkingstechnieken van huishoudelijk afval*

In taak 10 van het jaarcontract OVAM/Vito in 2003 werd een verkorte beoordelingmethode voor afvalverwerkingstechnieken ontwikkeld. Deze verkorte beoordelingmethode laat toe om technieken die niet werden geëvalueerd in de studie “Vergelijking van verwerkingsscenario’s voor restfractie van huishoudelijk afval en niet-specifiek categorie II bedrijfsafval” op een snelle manier te kunnen plaatsen ten opzichte van de in voornoemde studie geëvalueerde technieken. Hiervoor verwijzen we naar het rapport van taak 10 van het jaarcontract OVAM/Vito 2003<sup>1</sup>.

Dit jaar werden de berekeningen herdaan op basis van de meest recente gegevens die Vito ter beschikking had. Deze herberekeningen gebeurden oorspronkelijk in het kader van SusTools-project van de Europese Commissie. SusTools staat voor ‘Tools for Sustainability – Development and application of an integrated framework’.

Er werd bij het begin van deze studie afgesproken met OVAM dat de resultaten van deze herberekeningen bezorgd zouden worden, in de format zoals gebruikt in de restafvalstudie. Daarnaast werd het volledige rapport van het SusTools-project aan OVAM bezorgd<sup>2</sup>.

De resultaten van deze update worden weergegeven in Deel 1 van dit rapport.

*Actualisatie van beschikbare informatie over verwerkingstechnieken voor huishoudelijk afval.*

Doel van deze taak is om de stand van zaken betreffende afvalverwerkingstechnieken van nabij op te volgen en de beschikbare kennis te verwerken in een basisdocument dat verder kan worden aangevuld. Deze taak werd vorig jaar opgestart (zie rapport taak 10 van het jaarcontract OVAM/Vito 2003<sup>1</sup>). Er werden geen nieuwe technieken gevonden die huishoudelijk afval verwerken die in de Europese context relevant zijn. Wel werden verschillende technische fiches geactualiseerd.

---

<sup>1</sup> Er werden dit jaar geen bijkomende concrete vragen gesteld door OVAM.

Deze technische fiches worden weergegeven in Deel 2 (Technische fiches mechanisch-biologische voorbehandelingstechnieken voor huishoudelijk afval) en Deel 3 (Technische fiches thermische verwerkingstechnieken van huishoudelijk afval).

*Evaluatie van methoden om selectieve inzameling van afvalstromen te beoordelen*

In taak 10 van het jaarcontract OVAM/Vito werd nog een derde thema opgenomen dat onderzocht diende te worden : Evaluatie van methoden om selectieve inzameling van afvalstromen te beoordelen. Oorspronkelijk was het de bedoeling om een overzicht te maken van relevante studies in Vlaanderen en in de omliggende landen betreffende de milieukundige relevantie van selectieve ophaling van een aantal huishoudelijke afvalstromen.

Begin juni werd een startvergadering gehouden om deze deeltaak verder te bespreken. Het doel van taak werd aangepast in opdracht van OVAM. De vraag was om een methodiek te ontwikkelen om de huidige inzamelsystemen voor huishoudelijk afval te evalueren. Hierbij zou gebruik worden gemaakt van reeds bestaande evaluaties uit andere Europese landen en informatie over pilootprojecten in Vlaanderen.

De methodiek zou dienen om enerzijds te evalueren of bepaalde stromen, die nu niet selectief worden ingezameld, eventueel wel selectief ingezameld zouden kunnen worden om ze dan te recyclen (bijvoorbeeld incontinentie- en luierafval). En anderzijds zou het de bedoeling zijn om bestaande selectieve inzamelsystemen te evalueren (zowel de manier waarop de inzameling gebeurt deur-aan-deur, 2 wekelijks of maandelijks; via het containerpark; ... als wat mag/moet er in welke 'zak'). De evaluatie diende rekening te houden met de door de intercommunale geplande verwerking voor het restafval dat zij ophalen.

Deze deeltaak werd door omstandigheden echter afgevoerd in opdracht van OVAM. Het budget dat was voorzien voor deze deeltaak werd overgedragen naar taak 10 van het jaarcontract OVAM/Vito 2005.







**DEEL 1:**

**Resultaten van de update van de verkorte  
beoordelingsmethode voor verwerkingstechnieken van  
huishoudelijk afval**



## 1 INLEIDING

In 2004 nam Vito deel aan het SusTools project van de Europese Commissie. SusTools staat voor 'Tools for Sustainability – Development and application of an integrated framework'. Het onderzoeksproject werd gefinancierd door de EC onder het EESD- programma (*Energy, Environment and Sustainable Development*) van het 5<sup>de</sup> kaderprogramma, 1998-2002.

De gebruikte *beoordelingsmethodiek* werd oorspronkelijk ontwikkeld voor de studie<sup>3</sup> 'Vergelijking van verwerkingsscenario's voor restfractie van HHA en niet-specifiek categorie II bedrijfsafval' (verder restafvalstudie genoemd). De methodiek heeft als doel om verwerkingsscenario's te beoordelen op 5 verschillende criteria (milieu, energie, materialen, financieel-economische aspecten en bedrijfsvoering). In het jaarcontract OVAM/Vito 2003<sup>1</sup> werd een *verkorte beoordelingsmethodiek* ontwikkeld. Het doel van deze verkorte beoordelingsmethodiek was om technieken die niet werden geëvalueerd in de restafvalstudie, op een snelle manier te kunnen plaatsen ten opzichte van de technieken die wel werden geëvalueerd. OVAM stemde er mee in dat de *verkorte beoordelingsmethodiek* gebruikt mocht worden in het kader van het SusTools-project.

Voor het SusTools-project werden 6 verwerkingsscenario's geëvalueerd voor de criteria milieu, energie en materialen. De criteria financieel-economische aspecten en bedrijfsvoering werden niet geëvalueerd.

Voor 4 van de geëvalueerde scenario's bestond de evaluatie uit een actualisatie van gegevens ten opzichte van de restafvalstudie. De 2 andere scenario's werden niet geëvalueerd in de restafvalstudie.

De afspraak was dat OVAM over de resultaten van het SusTools project zou kunnen beschikken. Hiertoe werd het rapport<sup>2</sup> overgemaakt aan OVAM. In voorliggend rapport worden de resultaten van het SusTools-project verder toegelicht.

Er wordt in dit rapport *geen samenvattend besluit geformuleerd* over de geëvalueerde verwerkingsscenario's, omdat niet alle evaluatiecriteria werden onderzocht. Om een realistisch totaalbeeld te krijgen over alle geëvalueerde technieken, moeten *alle criteria* opgenomen worden.

Daarenboven is een van de uitgangspunten van de gebruikte methodiek dat de evaluatie van de resultaten en de besluitvorming gebeurt in overleg met een begeleidingscomité dat bestaat uit vertegenwoordigers van de verschillende actoren (de overheid, milieubeweging en industrie). Dit rapport geeft dus een actualisatie weer voor *enkele beoordelingscriteria* uit de restafvalstudie, maar is *geen algemene herziening* van die studie.



## 2 METHODE

### 2.1 Inleiding

De gebruikte methodologie werd ontwikkeld met als doel een grondige vergelijking te kunnen maken tussen verschillende verwerkingsscenario's voor huishoudelijk restafval. Met de methodologie is het mogelijk een vergelijking te maken tussen verschillende verwerkingsscenario's voor 5 verschillende criteria namelijk : milieu, energie, materiaalrecuperatie, financieel-ecomische aspecten en bedrijfsvoering.

De referentie-eenheid in deze vergelijking is steeds de *eindverwijdering van 1 ton huishoudelijk restafval*. Onder eindverwijdering wordt verstaan dat de volledige hoeveelheid huishoudelijk restafval integraal wordt omgezet in nevenproducten met 'economische' waarde, finaal te storten materiaal en emissies.

### 2.2 Toepassingsgebied

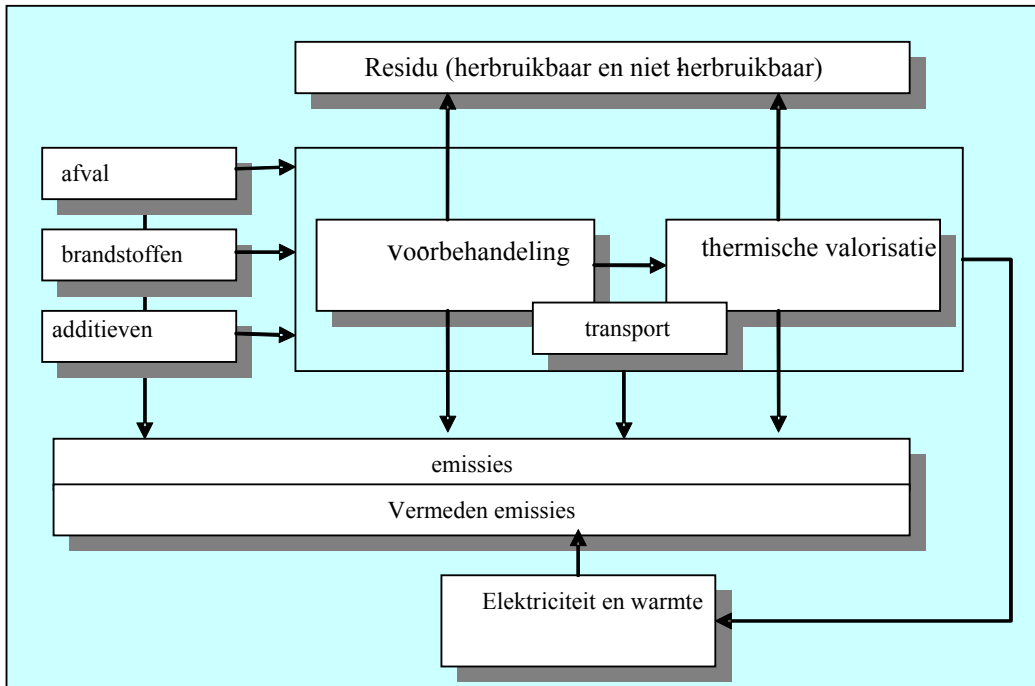
De evaluatiemethodiek werd ontwikkeld voor de beoordeling van verwerkingsinstallaties voor huishoudelijk restafval of gelijkgesteld niet-specifiek categorie II bedrijfsafval.

De methode kan zowel gebruikt worden voor de evaluatie van voorbehandelingsinstallaties met de productie van één of meerdere calorische fracties, thermische verwerkingsinstallaties voor afgescheiden fracties uit huishoudelijk restafval, en voor integrale afvalverwerkingsinstallaties. Installaties die niet specifiek bedoeld zijn voor de thermische verwerking van uit huishoudelijk restafval afgescheiden fracties (zoals bijvoorbeeld de verwerking van RDF in een elektriciteitscentrale) kunnen niet beoordeeld worden met voorgestelde methode.

Omdat het doel van de methodiek is een vergelijking te maken van verwerkingsalternatieven op meer vlakken dan enkel de veroorzaakte milieu-impact, wordt een locatie-onafhankelijke benadering gevolgd. Dit wil zeggen dat de emissies begroot worden, maar niet de immissie op lokaal vlak. Deze locatieonafhankelijke benadering maakt de resultaten van de studie breder inzetbaar in besluitvormingsprocessen. Effecten op lokaal vlak maken deel uit van een eventuele MER die bij de vergunningsaanvraag dient opgemaakt te worden.

Met de methodiek wordt dus de finale verwerking van huishoudelijk restafval geëvalueerd. Dit wil zeggen dat ofwel een integrale verwerking ofwel een voorbehandeling gecombineerd met een thermische verwerking onderzocht worden. Ook ondersteunende processen (zoals rookgasreiniging, transport, ed.) worden in rekening gebracht.

In onderstaande figuur wordt een overzicht gegeven van de systeemgrenzen en de reikwijdte van de studie.



*Figuur 1: overzicht systeemgrenzen*

## 2.3 Evaluatiecriteria

### 2.3.1 Milieu

De potentiële milieu-impacts van de verschillende verwerkingsscenario's worden geïnventariseerd. Hiervoor worden elementen uit de methodiek van de milieugerichte levenscyclusanalyse (LCA) gebruikt. De milieu-effecten worden onafhankelijk van tijd en plaats bepaald.

### 2.3.2 Energie

Van de onderzochte verwerkingsscenario's wordt de netto-elektriciteitsproductie bepaald. Dit netto-rendement wordt verkregen door het totale rendement van de energierecuperatie uit het afval te verminderen met het eigen verbruik van de verschillende processtappen. Daarnaast worden vermeden emissies in kaart gebracht. Onder vermeden emissies worden emissies verstaan die ten gevolge van de productie van elektriciteit gedurende de verwerking van huishoudelijk afval. Deze vermeden emissies worden in een bijkomende analyse in mindering gebracht bij de potentiële milieu-impacts.

### 2.3.3 Materiaalrecuperatie

Voor dit evaluatiecriterium worden de hoeveelheden, de kwaliteit en de hergebruiksmogelijkheden van de geproduceerde reststoffen geïnventariseerd en geëvalueerd. De recuperatie van materialen wordt niet vertaald naar vermeden grondstoffenverbruik of vermeden emissies.



### 2.3.4 Financieel-economische aspecten

Bij financieel-economische aspecten worden investeringen, kosten voor bedrijfsvoering en onderhoud geïnventariseerd en vergeleken. De opbrengsten uit reststoffen en teruggewonnen energie worden eveneens in rekening gebracht.

Dit criterium werd echter niet onderzocht in deze studie.

### 2.3.5 Bedrijfsvoering

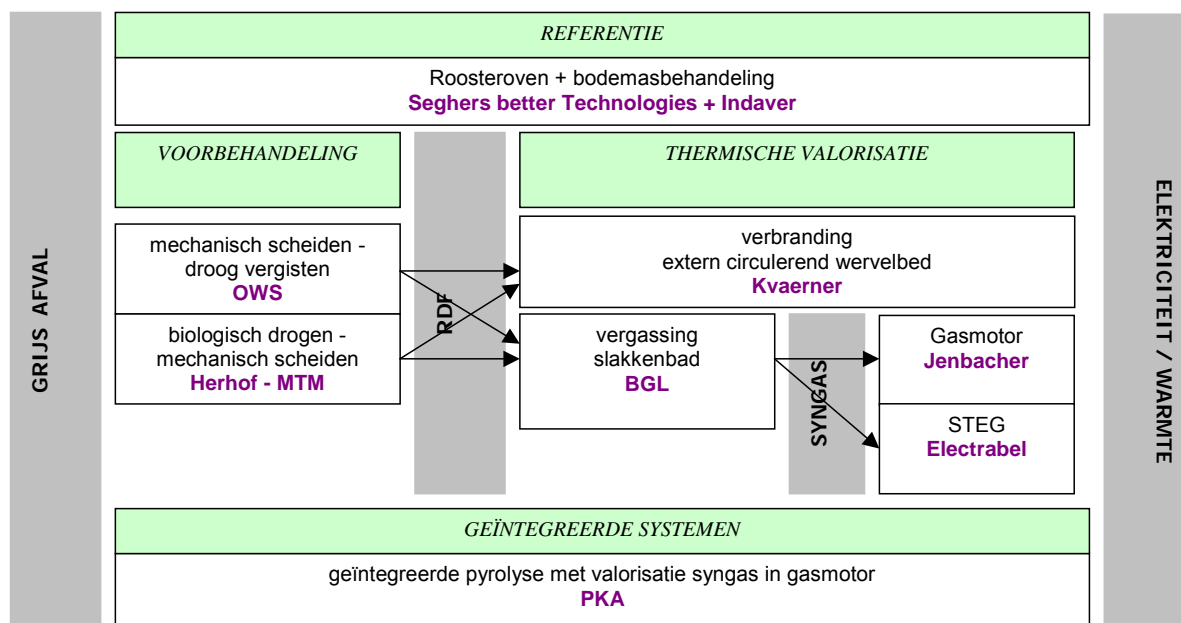
Er wordt voor elk van de verwerkingsscenario's een evaluatie gemaakt voor de aspecten procesbeheersing, veiligheid, betrouwbaarheid, onderhoud en flexibiliteit. Een aanvullend criterium is de betrouwbaarheid of marktgevoeligheid van de afzetroute voor het geproduceerde RDF.

Dit criterium werd echter niet onderzocht in deze studie;

## 2.4 Verwerkingsscenario's

De geëvalueerde verwerkingsscenario's bestaan uit integrale verwerkingsprocessen of uit een combinatie van voorbehandeling en thermische valorisatie van de geproduceerde calorische fracties. De outputs van een verwerkingsscenario zijn bijgevolg emissies, recycleerbare of herbruikbare fracties, energie en te storten fracties.

In volgende figuur wordt weergegeven welke afvalverwerkingstechnieken werden geëvalueerd in de restafvalstudie, en welke systeemleveranciers gecontacteerd werden.



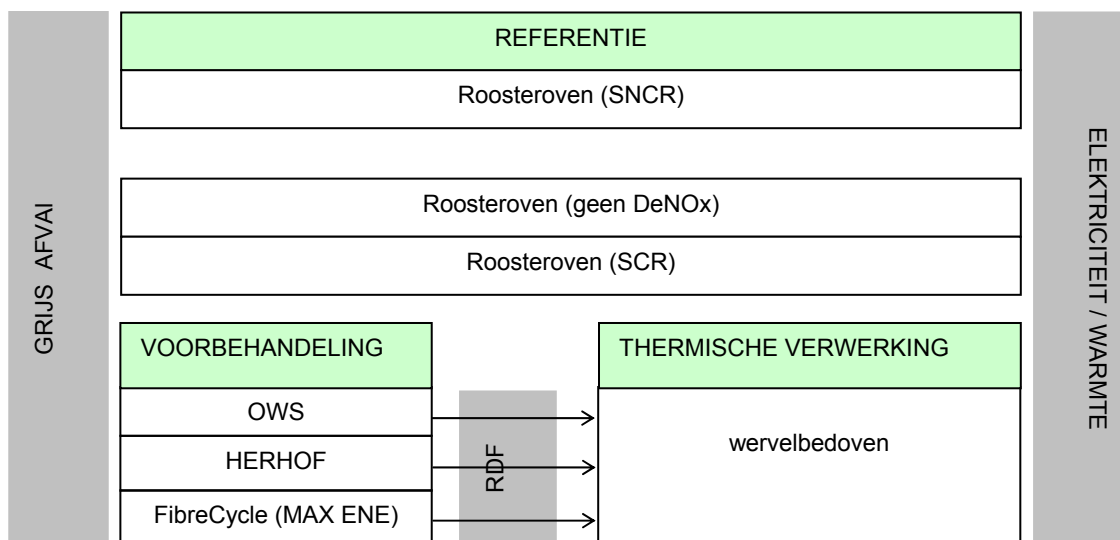
Figuur 2: overzicht geselecteerde afvalverwerkingstechnieken en gecontacteerde leveranciers voor bevraging uit restafvalstudie

Zoals blijkt uit bovenstaande figuur werd in de restafvalstudie een evaluatie gemaakt voor de thermische verwerking van de calorische fracties in een wervelbedoven en in een vergasser. Uit de restafvalstudie is gebleken dat de optie vergassing, gecombineerd met een

STEG of gasmotor een veelbelovend scenario is voor thermische verwerking van RDF. Maar de techniek is momenteel nog onvoldoende technisch bewezen is om een betrouwbare werking te garanderen. In het kader van taak 10 van het jaarcontract OVAM/Vito 2003 werd verder onderzoek verricht naar de beschikbaarheid van gedetailleerde gegevens over vergassing van calorische fracties uit restafval. Deze werden niet gevonden. Vandaar werd deze verwerkingsoptie niet opgenomen in deze evaluatie.

Uit de restafvalstudie bleek ook dat geïntegreerde pyrolyse wordt gekenmerkt door een relatief hoge kostprijs, lage energetische opbrengst en beperkt demonstratiestadium. Ook voor deze techniek werd onder taak 10 van het jaarcontract OVAM/Vito 2003 onderzoek verricht naar de beschikbaarheid van nieuwe gedetailleerde gegevens. Deze werden niet gevonden. Vandaar dat ook deze verwerkingsoptie niet verder werd opgenomen in de evaluatie.

Volgend overzichtschema geeft weer welke technieken/scenario's geëvalueerd werden in deze studie.



*Figuur 3: overzicht van de geactualiseerde verwerkingstechnieken in deze studie*

### 3 AFVALSAMENSTELLING

Om verschillende verwerkingstechnieken op een gelijkwaardige manier te vergelijken wordt in de methodiek verondersteld dat het te verwerken restafval een gekende en vaste samenstelling heeft. De samenstelling die gebruikt wordt is gebaseerd op sorteeranalyses die door Vito werden uitgevoerd in 1997-1998<sup>4</sup>. Ook in de restafvalstudie werd deze samenstelling gebruikt. In de verkorte methodiek wordt er een correctie doorgevoerd ten opzichte van de samenstelling uit de restafvalstudie. In de restafvalstudie werd een rekenfout gemaakt in het totaal gewogen gemiddelde. Deze fout werd gecorrigeerd. Het asgehalte van het afval stijgt hierdoor met ongeveer 4%. In Tabel 1 wordt de gebruikte samenstelling weergegeven.

De afvalsamenstelling heeft een significante invloed op verschillende van de geëvalueerde criteria, zoals bleek uit de studie<sup>1</sup> van Theunis J. et al in 2004. Door gebruik te maken van

een vaste samenstelling wordt er een correcte vergelijking gemaakt tussen de verschillende scenario's.

fractie	gewicht %	water %	as %	BVWd J/g	OVW j/g	Stookw. J/g	chloride mg/l	sulfaat mg/l	C %	H gem %
<b>organisch afval</b>	<b>45,2</b>	<b>75,3</b>	<b>24,1</b>	<b>16.119</b>	<b>2.164</b>	<b>1.855</b>			<b>37,5</b>	<b>5,7</b>
organisch keukenafval	39,63	75,96	17,62	17.614	2.393	2.071	31,16	39,1	41	6,15
tuinafval	5,58	70,25	61,43	7.538	540	325	8,37	33,2	17,5	3,31
<b>papier en karton</b>	<b>16,4</b>	<b>15,9</b>	<b>10,6</b>	<b>17.313</b>	<b>14.181</b>	<b>13.048</b>			<b>39,4</b>	<b>6,2</b>
recupereerbaar papier niet verpakkingen	5,15	7,24	16,11	15.235	13.956	12.811	2,88	11,3	38,8	5,66
recupereerbaar papier verpakkingen	2,17	6,27	6,07	24.363	22.683	21.356	1,26	5,1	39,7	6,49
recupereerbaar karton verpakkingen	2,83	6,13	13,1	15.872	14.750	13.552	3,41	6,6	35,3	5,85
niet recupereerbaar papier en karton verpakking	3,12	27,63	6,65	17.611	12.075	10.901	9,38	6,1	43,3	7,44
niet recupereerbaar papier en karton andere	3,11	33,93	3,55	16.704	10.214	9.339	8,01	6,7	41,4	6,07
<b>glas</b>	<b>4,8</b>	<b>1,1</b>	<b>100,0</b>		<b>-26</b>	<b>-26</b>				
glas verpakking	4,11	1,25	100		-30	-30				
glas andere	0,73		100							
<b>metalen</b>	<b>5,1</b>	<b>3,8</b>	<b>100,0</b>		<b>-91</b>	<b>-91</b>				
metalen ferro verpakking	2,24	5,27	100		-128	-128				
metalen non ferro verpakking	0,72	9,94	100		-241	-241				
metalen andere	2,1	0,02	100		0	0				
<b>kunststoffen</b>	<b>9,1</b>	<b>10,7</b>	<b>3,6</b>	<b>39.958</b>	<b>35.432</b>	<b>33.900</b>			<b>71,8</b>	<b>7,9</b>
kunststoffen flessen - PET	0,56	1,06	0,31	22.965	22.696	20.997	1,87	5	59,3	7,87
kunststoffen flessen - PVC	0,02	0,63	0,6	23.220	23.058	21.357	2,22	5	51,7	7,85
kunststoffen flessen - HDPE	1,06	19,15	8,92	36.571	29.103	27.819	5,47	18	68,1	7,28
kunststoffen folies	3,63	16,44	3,44	42.422	35.049	33.700	4,17	6	82,7	7,4
kunststoffen restplastic verpakkingen	2,53	4,86	2,43	40.763	38.664	36.840	6,48	5	61,3	8,79
kunststoffen restplastic andere	1,33	3,48	4,05	42.483	40.920	39.318	2,39	5	73,6	7,61
<b>textiel</b>	<b>2,17</b>	<b>22,99</b>	<b>2,06</b>	<b>19.681</b>	<b>14.599</b>	<b>12.953</b>	<b>4,66</b>	<b>26,6</b>	<b>46,4</b>	<b>9,8</b>
<b>KGA</b>	<b>0,32</b>	<b>25,33</b>	<b>17,54</b>	<b>34.440</b>	<b>25.102</b>	<b>24.011</b>	<b>5,52</b>	<b>18,1</b>	<b>64,2</b>	<b>6,7</b>
<b>gemengde fractie</b>	<b>7,6</b>	<b>35,9</b>	<b>22,3</b>	<b>16.807</b>	<b>9.909</b>	<b>8.795</b>			<b>38,5</b>	<b>8,0</b>
gemengde fractie hygiënische fractie	4,83	50,12	31,57	13.001	5.270	4.442	7,92	11,2	33,9	7,61
gemengde fractie brikverpakkingen	0,75	17,86	7,66	22.388	17.957	16.636	21,1	10,7	45,8	7,37
gemengde fractie rest verpakkingen	2,05	8,87	15,23	19.874	17.896	16.182	56	7,6	41,9	8,62
<b>fractie overige</b>	<b>6,08</b>	<b>5,93</b>	<b>22,17</b>	<b>23.905</b>	<b>22.344</b>	<b>21.086</b>	<b>3,65</b>	<b>34,2</b>	<b>42</b>	<b>6,13</b>
<b>inerte restfractie</b>	<b>3,16</b>	<b>34,72</b>	<b>62,35</b>	<b>6.235</b>	<b>3.229</b>	<b>2.787</b>	<b>7,03</b>	<b>39,6</b>	<b>18,2</b>	<b>3,1</b>
<b>vuilniszakken</b>		<b>17,09</b>	<b>8,2</b>	<b>33.190</b>	<b>27.104</b>	<b>25.778</b>	<b>4,53</b>	<b>5</b>	<b>77,8</b>	<b>7,33</b>
<b>Totaal gewogen gemiddelde</b>	<b>99,98</b>	<b>42,6</b>	<b>31,1</b>	<b>17740</b>	<b>9148</b>	<b>8464</b>			<b>36,7</b>	<b>5,4</b>

Tabel 1 : afvalsamenstelling zoals opgenomen in de verkorte beoordelingmethode

## **4 GEGEVENSVERWERKING**

Sinds de afronding van de restafvalstudie kreeg Vito meer gegevens ter beschikking over de werking van voornamelijk de mechanisch-biologische verwerkingssystemen. In het kader van deze evaluatie werden deze nieuwe gegevens gebruikt. Er werd geen bijkomende informatie opgevraagd.

### **4.1 Massa- en energiebalans**

In de restafvalstudie werd door Vito geen sluitende massa en energiebalans opgemaakt voor de verschillende scenario's. Er werd gewerkt met de samenstelling en calorische waarden de calorische fracties die werd opgegeven door de technologieleverancier (zowel voor de voorbehandelinginstallaties als voor de roosteroven). Het gevolg hiervan was dat er vooral voor wat de inhoud aan zware metalen betreft een significant verschil was tussen de verschillende calorische fracties.

In deze studie wordt voor elk van de scenario's een sluitende massa- en energiebalans opgesteld. Op basis van de gegevens in Tabel 2 en Tabel 3 wordt de calorische waarde en het gehalte aan zware metalen van het restafval bepaald. Daarna wordt voor de verschillende voorbehandelingstechnieken, op basis van de beschikbare informatie en eigen inschattingen, een verdeling gemaakt van verschillende fracties in het restafval over de geproduceerde fracties. Deze gegevens worden gecombineerd met de gegevens in Tabel 2 en Tabel 3 om de calorische waarde en metaalgehalte van de verschillende afgescheiden fracties te bepalen.

Het is niet duidelijk of de gebruikte gegevens nog in overeenstemming zijn met de huidige samenstelling van huishoudelijk afval voor wat betreft de zware metalen. Gezien de voortdurende wijzigingen in de samenstelling van verbruiksgoederen is het mogelijk dat de huidige afvalsamenstelling lagere of hogere concentraties aan zware metalen bevat. De gebruikte gegevens zijn afkomstig van studies die betrekking hebben op 1999 of vroeger. Recentere gegevens betreffende zware metalen in huishoudelijk afval werden niet gevonden. Om een correcte inschatting te kunnen maken van de huidige gehalten aan zware metalen in de verschillende fracties van huishoudelijk afval moeten nieuwe analyses worden uitgevoerd.

*Tabel 2: samenstelling van de calorische fracties in kg/ton afval*

kg/ton afval	restafval	OWS			HERHOF	FIBRCYCLE		
		RDF	residu	houterige	RDF	vezels	plastiek	residu
organische fractie	128,18	4,18	1,12	0,22	103,22	128,18	0,00	0,00
tuinafval	4,56	1,02	0,00	0,04	3,67	4,56	0,00	0,00
hout	32,00	28,59	1,24	1,21	25,77	32,00	0,00	0,00
papier en karton	134,48	16,50	0,00	0,67	108,29	134,48	0,00	0,00
glas	45,60	3,21	3,84	0,29	8,05	10,40	0,00	0,00
metalen - ferro	38,00	6,02	0,00	0,25	0,99	0,85	0,00	0,00
metalen - non-ferro	10,45	1,76	0,10	0,08	1,20	4,28	0,00	0,00
plastiek	78,26	66,99	6,45	2,99	78,26	1,13	77,13	0,00
textiel	15,40	14,72	0,44	0,62	15,40	0,00	0,00	15,40
leer - rubber	9,00	8,92	0,33	0,38	9,00	0,00	0,00	9,00
tapijten	8,50	8,33	0,00	0,34	8,50	0,00	0,00	8,50
klein gevaarlijk afval	2,25	0,42	1,40	0,07	2,25	0,00	0,00	2,25
gemengde fractie - hygiënische fractie	23,04	0,93	0,00	0,04	23,04	21,62	0,00	1,42
gemengde fractie - brikken	6,56	1,88	0,53	0,10	5,28	0,00	0,00	6,56
andere - brandbare	7,90	3,78	3,30	0,29	7,90	0,00	0,00	7,90
andere - niet-brandbare	8,50	2,01	4,25	0,25	8,50	0,00	0,00	8,50
inerten	20,80	10,75	0,14	0,44	3,67	10,40	0,00	0,00
<b>totaal DS</b>	<b>573,48</b>	<b>180,04</b>	<b>23,13</b>	<b>8,26</b>	<b>413,00</b>	<b>347,90</b>	<b>77,13</b>	<b>59,53</b>

Tabel 3: gehalten aan zware metalen van de verschillende fracties in mg/kg DS

mg/kg DM	As	Co	Cu	Hg	Ni	V	Zn	Pb	Cd	Cr
organische fractie	6,3	36	73	0,3	220	29	362	176	0,5	204
tuinafval	0,6	7	18	0,1	16	1	157	277	1,2	58
hout	0,6	7	43	0,1	16	1	157	277	1,2	58
papier en karton	0,2	2	73	0,1	9	0	138	13	1,1	7
glas	28,7	8	24	0,0	19	7	91	381	1	253
metalen - ferro	54,0	64	6116	0,0	744	276	589	52	1	1730
metalen - non-ferro	4,8	11	146000	0,0	582	35	13615	11635	1,9	331
plastiek	0,3	6	256	0,1	54	1	404	302	38,8	85
textiel	0,2	3	67	0,1	15	1	315	42	1,6	93
leer - rubber	1,3	3	41	0,0	16	2	3886	190	38	1995
tapijten	1,5	9	32	0,0	56	4	980	120	9,5	76
klein gevaarlijk afval	26,0	127	2295	267,0	605	0	76000	0	99	0
gemengde fractie - hygiënische fractie	0,2	2	41	0,1	9	0	138	13	1,2	7
gemengde fractie - brikken	0,2	2	41	0,1	9	0	138	13	1,1	7
andere - brandbare	0,0	0	0	0,0	0	0	0	4000	0	0
andere - niet-brandbare	0,0	0	0	0,0	0	0	0	2000	0	0
inerten	9,1	45	100	0,0	31	43	565	1967	34	82

## 4.2 Emissieberekeningen

Voor de voorbehandelingsinstallaties werden emissiegegevens aan de technologieleverancier gevraagd. Voor de thermische verwerkingsinstallaties werd eigen veronderstellingen en berekeningen gehanteerd. Hieronder wordt aangegeven hoe de emissies van de thermisch verwerking worden bepaald. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen emissies die afhankelijk zijn van de samenstelling van de energetische fractie (zoals metalen en CO<sub>2</sub>) en emissies die niet afhankelijk zijn van de samenstelling.

### 4.2.1 Zware metalen

Emissies van zware metalen ten gevolge van verbranding worden berekend op basis van de samenstelling van de calorische fractie, een emissiefactor<sup>2</sup> naar lucht voor elk zwaar metaal dat in rekening wordt gebracht en het rookgasdebiet. In Tabel 4 worden de gebruikte emissiefactoren weergegeven. In de berekeningen wordt er voor de roosteroven uitgegaan van een rookgasdebiet van 5300 m<sup>3</sup>/ton afval. Voor het wervelbed wordt 9500 m<sup>3</sup>/ton RDF gebruikt.

De berekeningen zijn dus gebaseerd op een theoretisch model. Zowel de samenstelling van de calorische fracties als de gebruikte emissiefactoren houden enige onzekerheid in. Verder onderzoek is nodig om uitsluitsel te geven of de gebruikte gegevens nog correct zijn anno 2005.

*Tabel 4: gebruikte emissiefactoren naar de lucht voor zware metalen bij verbranding*

	Fractie van de input uitgestoten naar de lucht D% (air) <sup>2</sup>
Cd	0,01
Hg	0,22
Pb	0,0329
Cr	0,028
Cu	0,0883
As	0,02
Co	0,0059
Ni	0,017
V	0,1
Sb	0,039
Mn	0,0183
Sn	0,0098
Zn	0,01

### 4.2.2 CO<sub>2</sub>

De CO<sub>2</sub>-emissies ten gevolge van verbranding worden eveneens berekend op basis van de samenstelling van de calorische fractie, een emissiefactor en het rookgasdebiet. De gebruikte emissiefactor bedraagt 98%. Dit wil zeggen dat 98% van de totale koolstofinhoud wordt geëmitteerd onder de vorm van CO<sub>2</sub>.

<sup>2</sup> D% air voor Cd, Hg, As o.b.v. Melody, input overige metalen op basis van analyse van bodemassen, ketelassen, rookgasreinigingsresidu en rookgassen



### 4.2.3 Overige emissies

De overige emissies worden niet berekend op basis van de samenstelling van de calorische fractie. Deze emissies zijn voornamelijk afhankelijk van de werking van een systeem en de geïnstalleerde rookgasreiniging. De gehanteerde gegevens worden weergegeven in Tabel 5.

*Tabel 5 : gebruikte emissies naar de lucht voor , SO<sub>2</sub>, stof en dioxines*

polluent		RO	RO SNCR	RO SCR	WBO
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	400	200	80	130
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	10	10	5	10
stof	mg/Nm <sup>3</sup>	2,3	2,3	2,3	2,3
dioxines	ng TEQ/Nm <sup>3</sup>	0,04	0,04	0,034	0,04



## 5 RESULTATEN

In wat volgt worden de resultaten voor de verschillende verwerkingsscenario's weergegeven. Ze worden gegroepeerd weergegeven voor de verschillende roosteroven-scenario's, de voorbehandelingstechnieken en de combinatie voorbehandeling – thermische valorisatie.

Voor de beschrijving van de verschillende systemen wordt verwezen naar de bijlagen.

### 5.1 Roosteroven

In de restafvalstudie werd de roosteroven als referentie genomen. Deze referentieinstallatie was uitgerust met een niet katalytische deNO<sub>x</sub> installatie (RO SNCR). Als variatie op dit referentiescenario werd een roosteroven met katalytische deNO<sub>x</sub> (RO SCR) opgenomen. In deze studie wordt ter illustratie eveneens een roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> installatie (RO) opgenomen. De overige rookgasreinigingssystemen zijn gelijk voor de drie roosterovens.

In onderstaande tabellen worden de berekende emissies naar lucht, de recupereerbare en te storten fracties en de in- en output van energie weergegeven.

*Tabel 6: roosteroven, emissies naar lucht*

	RO	RO SNCR	RO SCR
<b>emissies</b>	<b>kg/ton afval</b>		
CO <sub>2</sub>	7,64E+02	7,64E+02	7,64E+02
NO <sub>x</sub>	2,12E+00	1,06E+00	4,24E-01
SO <sub>2</sub>	5,30E-02	5,30E-02	2,65E-02
PM	1,22E-02	1,22E-02	1,22E-02
andere			
As	5,25E-07	5,25E-07	5,25E-07
Cd	2,76E-07	2,76E-07	2,76E-07
Cr	2,23E-05	2,23E-05	2,23E-05
Pb	5,52E-05	5,52E-05	5,52E-05
Ni	7,08E-06	7,08E-06	7,08E-06
Hg	8,40E-07	8,40E-07	8,40E-07
dioxine	2,12E-10	2,12E-10	1,80E-10

*Tabel 7: roosteroven, recupereerbare en te storten fracties*

	RO	RO SNCR	RO SCR
<b>recuperatie</b>	<b>kg/ton afval</b>		
<b>metalen</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>34</b>
ferro	32	32	32
non ferro	3	3	3
<b>mineralen</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>81</b>
bodemassen	81	81	81
<b>organische</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>
<b>te storten</b>			
<b>mineralen</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>150</b>
bodemassen	112	112	112
vliegassen	21	21	21
rookgasreinigingsresidu	17	17	17

Tabel 8: roosteroven, energiein- en -output

	RO	RO SNCR	RO SCR
<b>energie input</b>	MJ/ton afval		
olie	169	169	169
gas			289
	kWh/ton afval		
elektriciteit		80	85
<b>energie output</b>	kWh/ton afval		
elektriciteit	560	480	475

## 5.2 Voorbehandelingsinstallaties

In de restafvalstudie werden twee voorbehandelingsinstallaties bestudeerd. In 2003 werd een studie<sup>5</sup> uitgevoerd in opdracht van ESTECH om de FibreCycle techniek te vergelijken met de in de restafvalstudie bestudeerde technieken.

Volgende tabellen geven een overzicht van drie voorbehandelingstechnieken, het scheiden- vergisten (SORDISEP) van OWS, het biologisch drogen- scheiden van HERHOF en stomen-scheiden (FibreCycle) van ESTECH.

Voor de FibreCycle-techniek worden door de leverancier geen emissies naar de lucht gerapporteerd. Reden hiervoor is dat de het een gesloten systeem betreft.

Tabel 9: voorbehandeling, emissies naar lucht

	OWS	HERHOF	FibreCycle
<b>emissies</b>	kg/ton afval		
CO <sub>2</sub>	1,81E+02	1,13E+02	
NO <sub>x</sub>	7,23E-02		
SO <sub>2</sub>	2,80E-02		
PM	0,00E+00	2,70E-03	
andere			
	As		
	Cd		
	Cr		
	Pb		
	Ni		
	Hg	1,00E-05	
	dioxine	4,00E-11	6,00E-12

Tabel 10: voorbehandeling, recupereerbare en te storten fracties

	OWS	HERHOF	FibreCycle
<b>recuperatie</b>	kg/ton afval		
<b>metalen</b>	<b>45</b>	<b>49</b>	<b>46</b>
ferro	39	39	39
non ferro	6	10	7
<b>mineralen</b>	<b>136</b>	<b>61</b>	<b>48</b>
inert	52	61	48
zand	84		
<b>organische</b>	<b>70</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>
voor bodemverbetering	70		
	MJ/ton afval		
<b>calorische fracties</b>	<b>7059</b>	<b>8887</b>	<b>5981</b>
biogas	1816		
RDF	5243	8887	
vezel			5981
plastiek			2505
residu			672
<b>te storten</b>	kg/ton afval		
<b>mineralen</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
residu	15		
<b>organische</b>	<b>83</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
slibkoek	83		

Tabel 11: voorbehandeling, energiein- en -output

	OWS	HERHOF	FibreCycle
<b>energie input</b>	MJ/ton afval		
olie			17
gas		141	1512
diesel		7,2	
	kWh/ton afval		
elektriciteit	84	100	30
<b>energie output</b>	kWh/ton afval		
elektriciteit	164	0	0

### 5.3 Voorbehandeling & thermische verwerking

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de resultaten van de voorbehandelingsinstallaties gecombineerd met thermische verwerking van de calorische fracties. Afhankelijk van de calorische waarde van de calorische fracties worden ze verwerkt in een roosteroven of wervelbedoven. Voor de hier bestudeerde voorbehandelingsinstallaties wil dit zeggen dat er 1 fractie, nl. het residu van de FibreCycle-installatie, wordt verwerkt in een roosteroven met SNCR. De overige calorische fracties, ook de vezelfractie van de FibreCycle-installatie, worden integraal verwerkt in het wervelbed.

Tabel 12: voorbehandeling+WBO, emissies naar lucht

	OWS + WBO	HERHOF + WBO	FibreCycle + WBO & RO
<b>emissies</b>	<b>kg/ton afval</b>		
CO <sub>2</sub>	4,56E+02	7,65E+02	7,56E+02
NO <sub>x</sub>	4,53E-01	6,01E-01	6,97E-01
SO <sub>2</sub>	5,73E-02	4,62E-02	5,07E-02
PM	6,74E-03	1,33E-02	1,04E-02
andere			
As	1,55E-07	2,26E-07	2,86E-07
Cd	2,18E-07	5,41E-07	4,37E-07
Cr	1,20E-05	1,54E-05	1,75E-05
Pb	3,96E-05	4,22E-05	6,07E-05
Ni	2,30E-06	5,54E-06	6,86E-06
Hg	1,09E-06	1,14E-05	1,46E-06
dioxine	1,57E-10	1,91E-10	2,03E-10

Tabel 13: voorbehandeling + WBO, recupereerbare en te storten fracties

	OWS + WBO	HERHOF + WBO	FibreCycle + WBO & RO
<b>recuperatie</b>	<b>kg/ton afval</b>		
<b>metalen</b>	<b>45</b>	<b>49</b>	<b>46</b>
ferro	39	39	39
non ferro	6	10	7
<b>mineralen</b>	<b>160</b>	<b>101</b>	<b>92</b>
inert	52	61	48
zand	84		
bodemassen			6
bedassen	15	26	25
ketelassen	9	14	14
<b>organische</b>	<b>70</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>
voor bodemverbetering	70		
<b>te storten</b>			
<b>mineralen</b>	<b>42</b>	<b>69</b>	<b>53</b>
residu	14,9		
bodemassen			8
vliegassen			2
cycloonassen	26	45	43
rookgasreinigingsresidu	15	25	25
<b>organische</b>	<b>83</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>
slibkoek	83		

Tabel 14: voorbehandeling + WBO, energiein- en -output

	OWS + WBO	HERHOF + WBO	FibreCycle + WBO & RO
<b>energie input</b>	<b>MJ/ton afval</b>		
olie			35
gas	6	150	1522
diesel		7	
	<b>kWh/ton afval</b>		
elektriciteit	128	169	106
<b>energie output</b>	<b>kWh/ton afval</b>		
elektriciteit	531	522	601

## 6 EVALUATIE

### 6.1 Milieu, directe emissies

#### 6.1.1 Inleiding

Voor de berekening van de milieu-impacten wordt zowel met directe impacten rekening gehouden als met onrechtstreekse impacten van hulpstoffen en energiegebruik. Directe impacten worden veroorzaakt door emissies die optreden in de afvalverwerkingsinstallatie zelf. Onrechtstreekse impacten van hulpstoffen en energiegebruik zijn de impacten die veroorzaakt worden door de emissies naar de lucht die ontstaan bij de productie en toelevering van de benodigde hulpstoffen en energie. Voor deze onrechtstreekse impacten wordt gebruik gemaakt van dezelfde gegevenssets als in de Restafvalstudie (BUWAL<sup>6</sup> en ETH<sup>7</sup>-database in SimaPro 5<sup>8</sup>)

De berekening van de milieu-impacten gebeurt op basis van de gegevens verkregen bij de inventarisatie (grondstoffen en energie gebruik) en op basis van berekende gegevens (emissies naar de lucht).

De emissies naar de lucht en het gebruik van grondstoffen worden gekarakteriseerd met behulp van de Eco-indicator 99<sup>9</sup> methode. Deze methode wordt beschreven in Bijlage 2.

De gebruikte impactcategorieën in deze verkorte methode zijn over het algemeen dezelfde als in de restafvalstudie. Enkele impactcategorieën worden niet opgenomen in de verkorte methodiek omdat in de restafvalstudie is gebleken dat ze een relatief kleine absolute bijdrage hebben tot de geaggregeerde schadecategorie. Het gaat binnen de categorie *schade aan de humane gezondheid* over *schade aan de luchtwegen door emissie van organische stoffen*, *schade door ozonlaagaantasting* en *kanker ten gevolge van radioactieve straling*. De impactcategorie *kanker door dioxine* is inbegrepen in de categorie *schade door kankerverwekkende stoffen*. Bij de categorie *schade aan ecosystemen* wordt *landgebruik* niet meer weergegeven.

In onderstaande tabel worden de emissies weergegeven welke voor deze studie een belangrijke invloed hebben op de verschillende impactcategorieën.

Schade	impactcategorie	emissie naar lucht
Schade aan de menselijke gezondheid	kanker door emissies van carcinogene stoffen	As,Cd, Cr(VI), Ni en dioxine
	schade aan luchtwegen door emissie van anorganische stoffen	CO, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> en stof
Schade door klimaatverandering	schade door klimaatveranderingen	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> en N <sub>2</sub> O
Schade aan ecosystemen	schade door de emissie van ecotoxische stoffen	As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn en Hg
	schade door de emissie van verzurende en vermestende stoffen	SO <sub>2</sub> , en NH <sub>3</sub>
Schade aan grondstofvoorraden	uitputting van mineralen en brandstoffen	Alle metalen en ruwe brandstoffen

Op basis van analyse van de resultaten van de restafvalstudie blijkt dat voor *schade aan de menselijk gezondheid door carcinogenen* vooral Cr(VI) belangrijk is. Voor *schade aan ecosystemen door emissies van ecotoxische stoffen* zijn vooral Cu, Pb en Zn van belang. Dit

is een gevolg van de hoeveelheden die uitgestoten worden in combinatie met de schadefactoren voor elk van deze elementen Error! Bookmark not defined.

In de berekeningen van de milieupacten in de restafvalstudie werden de impacten door Cr-emissies voor de afvalverwerkingstechnieken berekend in de veronderstelling dat Cr werd uitgestoten onder de vorm van Cr(III). De impacts door Cr emissies van de elektriciteitsinstallaties werden daarentegen berekend in de veronderstelling dat Cr werd uitgestoten onder de vorm van Cr(VI). Cr(VI) is carcinogeen, in tegenstelling tot Cr(III). De impact van dit element werd daarom herberekend. In alle berekeningen wordt nu aangenomen dat 15% van de totale Cr-emissies van verbrandingsprocessen Cr(VI)-emissies zijn.<sup>10,11,12,13</sup>

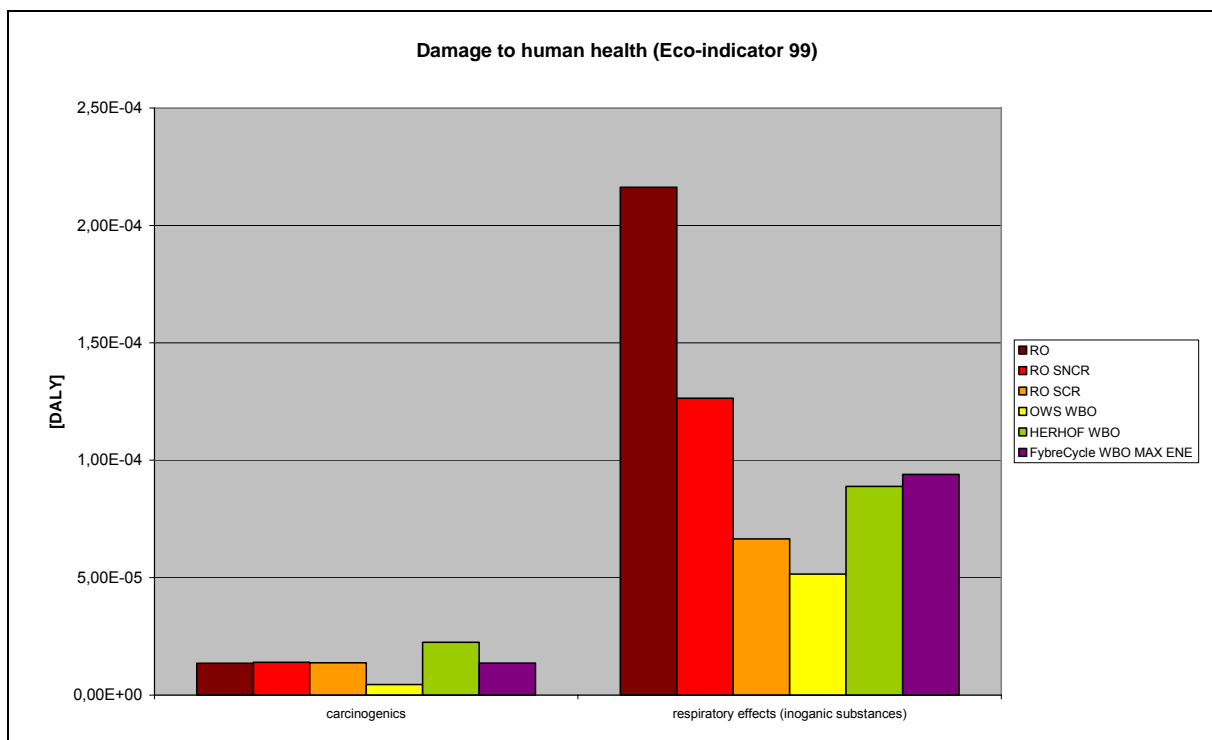
### 6.1.2 Analyse

In Figuur 4 worden de impactcategorieën *schade aan humane gezondheid door carcinogenen* en *schade aan humane gezondheid door anorganische stoffen* weergegeven.

Voor de impactcategorie *schade door carcinogenen* wordt de schade voornamelijk veroorzaakt door het gebruik van energie (zowel elektriciteit als fossiele brandstoffen) en de emissie van Cr(VI) gedurende de verbranding. De goede score voor deze impact door de OWS-installatie gecombineerd met het wervelbed wordt verklaard door het feit dat deze installatie bijna geen externe energiebronnen gebruikt. Voor dit scenario wordt enkel in de wervelbedoven externe energie toegevoegd onder de vorm van aardgas bij de opstart. De verschillen in impact van de FibreCycle-installatie gecombineerd met het wervelbed en roosteroven, en de verschillende roosterovens zijn minimaal. De installatie van HERHOF verbruikt een grote hoeveelheid elektriciteit van het net, wat een negatieve invloed heeft op deze impactcategorie.

De impactcategorie *schade door anorganische stoffen* wordt gedomineerd door emissies geproduceerd tijdens de verbranding. Vooral de emissies van NO<sub>x</sub> zijn doorslaggevend. Voor de roosterovens zien we die impact van het toepassen van een deNO<sub>x</sub>, en ook het type deNO<sub>x</sub>. Bij de voorbehandelingsinstallaties gecombineerd met een wervelbed zien we de invloed van de hoeveelheid calorische fractie die naar verbranding wordt gestuurd. Hoe groter de hoeveelheid calorische fractie, hoe meer NO<sub>x</sub>-emissies per ton afval, en hoe hoger de impact.



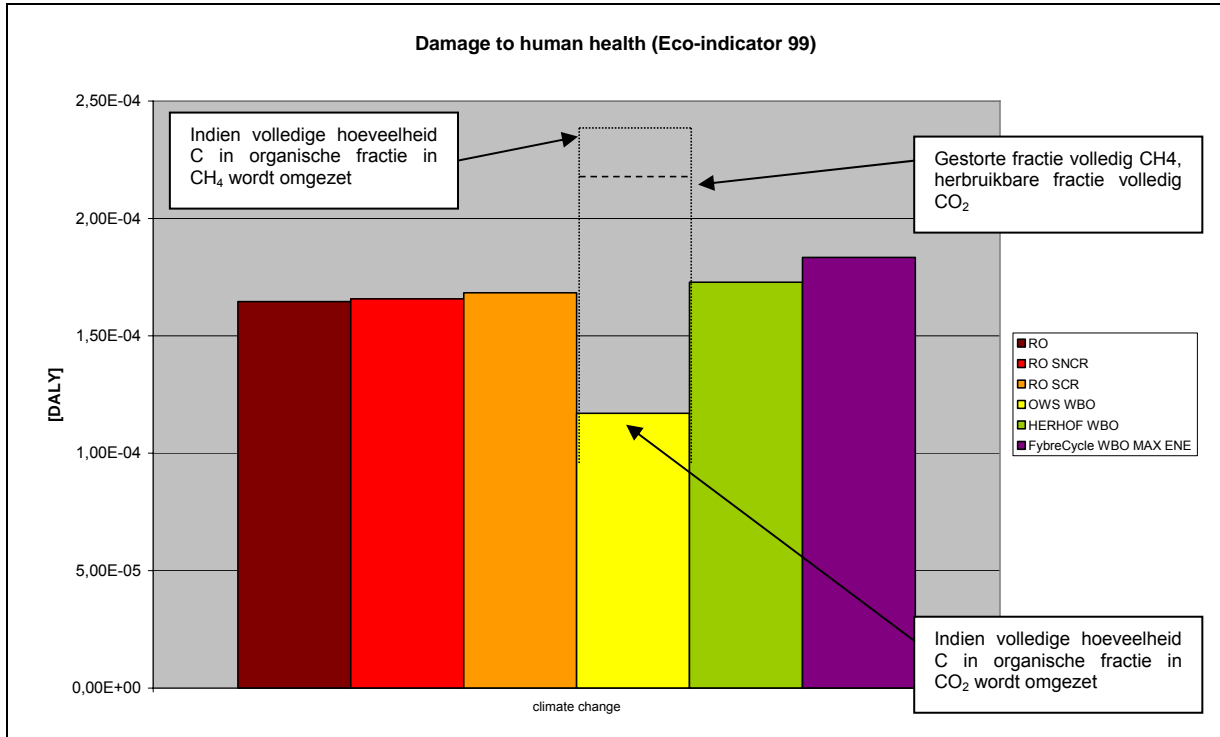


*Figuur 4: schade aan menselijke gezondheid door kankerverwekkende en anorganische stoffen, vergelijking van de scenario's*

Figuur 5 geeft de *schade aan menselijke gezondheid door klimaatsverandering* weer. Deze impactcategorie wordt gedomineerd door de emissies van CO<sub>2</sub> en, indien van toepassing, CH<sub>4</sub>. Daarnaast heeft ook het gebruik van energie een negatieve invloed op deze impactcategorie. Bij de roosterovens worden de (weliswaar kleine) verschillen tussen de verschillende systemen verklaard door enerzijds de gebruikte hulpstoffen. De roosterovens met SNCR en SCR verbruiken meer hulpstoffen, vandaar een grotere impact. Anderzijds worden de verschillen tussen de twee roosterovens met deNO<sub>x</sub>, verklaard door het gebruik van aardgas voor de opstart van de SCR.

Bij de voorbehandelingsinstallaties gecombineerd met een wervelbed worden de verschillen verklaard door de hoeveelheden die worden verbrand en het gebruik van externe energie.

Zoals eerder vermeld in de paragraaf speelt de emissie van CH<sub>4</sub> eveneens een rol bij deze impactcategorie. In de basisveronderstelling werd ervan uitgegaan dat alle C in de organische fracties die geproduceerd worden door de voorbehandelingsinstallatie van OWS worden omgezet in CO<sub>2</sub>. In een sensitiviteitsanalyse werd een variant berekend waarbij alle C in deze organische fracties wordt omgezet in CH<sub>4</sub> (stippellijn). De realiteit zal zich ergens tussen beide bevinden. De fractie van het organische afval die wordt gestort (de slibkoek), wordt waarschijnlijk grotendeels omgezet in methaan. De organische fractie, die gebruikt kan worden als bodemverbeterend middel, wordt waarschijnlijk voornamelijk omgezet in CO<sub>2</sub>. Indien we deze veronderstellingen doorrekenen (gestorte fractie volledig CH<sub>4</sub>, gebruikte fractie volledig CO<sub>2</sub>) dan bevindt het resultaat zich ergens tussenin. Deze analyse wordt in de figuur aangegeven door de streeplijn. Bij de verdere beoordeling wordt uitgegaan van de basisveronderstelling (alle C wordt omgezet in CO<sub>2</sub>).

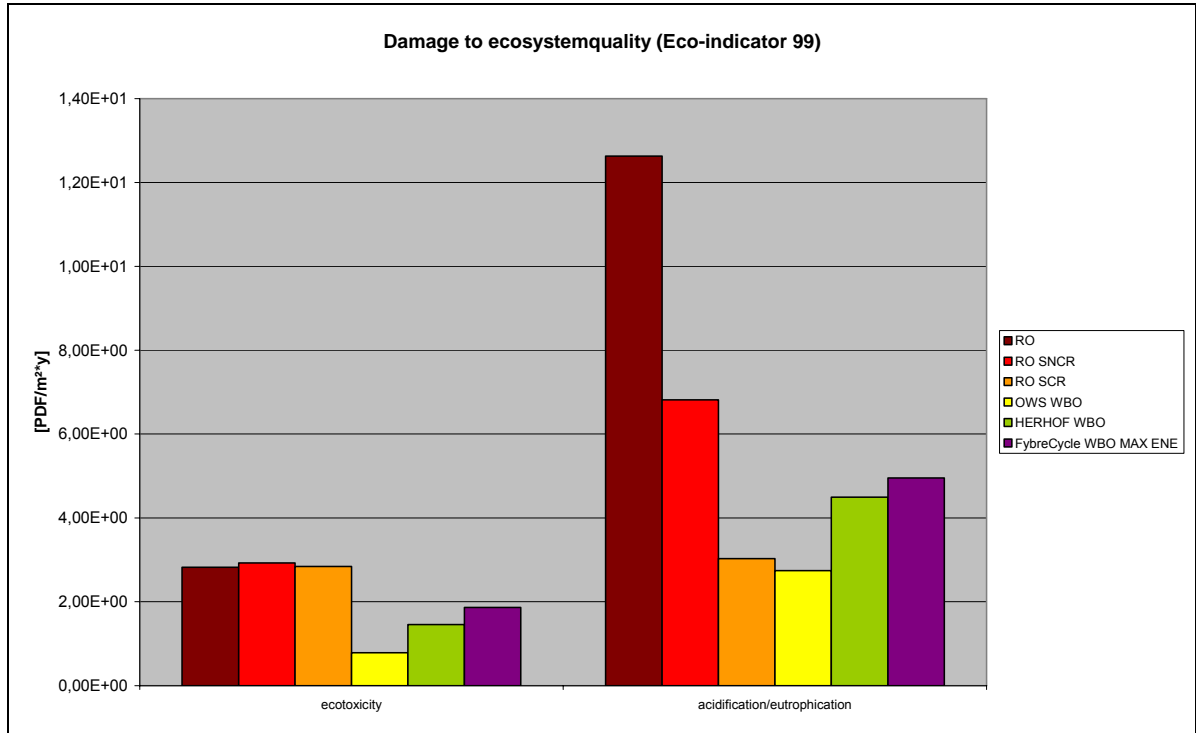


*Figuur 5: schade aan humane gezondheid door klimaatsverandering, vergelijking van de scenario's*

*Schade aan het ecosysteem wordt veroorzaakt door ecotoxische stoffen en door emissies van verzurende/vermestende stoffen. Deze impactcategorieën worden weergegeven in Figuur 6.*

*Schade door ecotoxische stoffen wordt gedomineerd door emissies van zware metalen. Voornamelijk de emissies van Cu en Pb zijn bepalend. Ook hier wordt de lage score van OWS verklaard door de lagere hoeveelheid calorische fractie die verbrand dient te worden. Voor de andere scenario's met voorbehandeling verhoogt de score afhankelijk van de hoeveelheid die wordt verbrand. De verschillen tussen de verschillende roosterovenscenario's worden verklaard door de gebruikte hulpstoffen en energiedragers. Het gebruik van ureum in plaats van ammonium, en het aardgasverbruik verklaren de verschillen.*

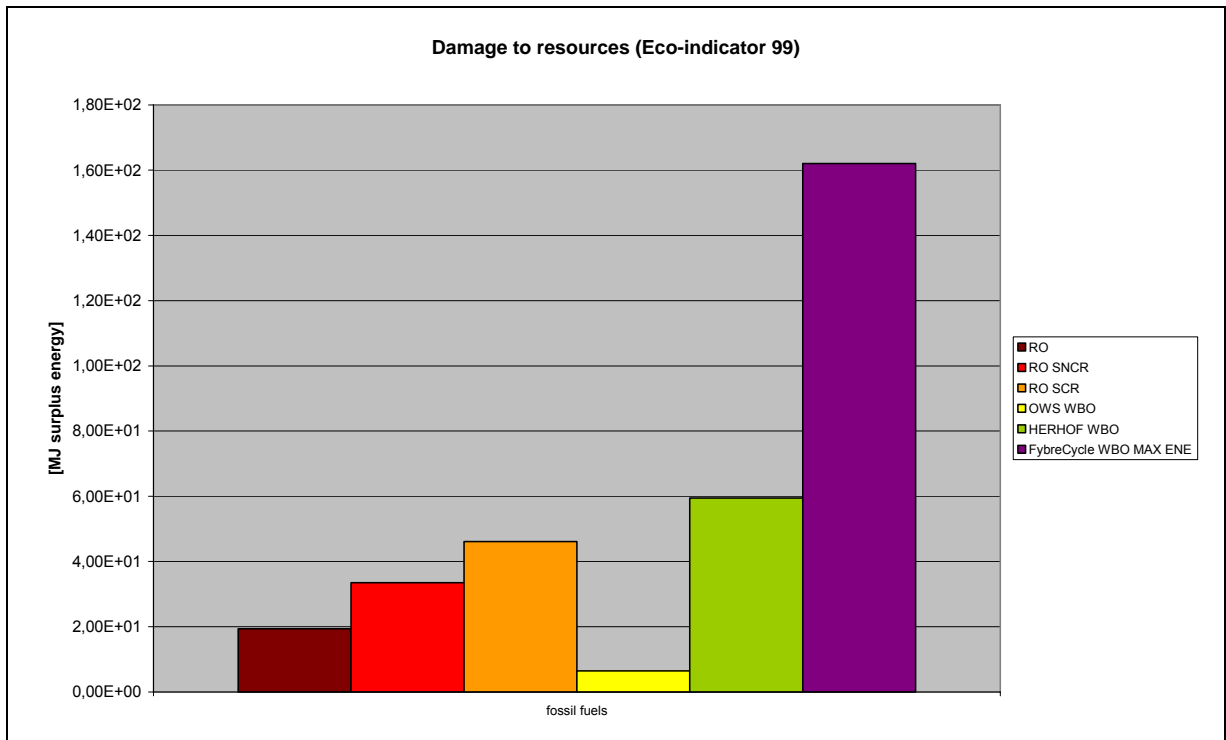
*Schade door emissie van verzurende/vermestende stoffen wordt voornamelijk veroorzaakt door de emissie van  $\text{NO}_x$ . We zien dus een gelijkaardig beeld als bij de impactcategorie schade door anorganische stoffen. De verschillen kunnen op dezelfde manier verklaard worden. Bij de scenario's met roosterovens, zien we de invloed van de  $\text{NO}_x$ -installatie. Bij de scenario's met voorbehandeling zien we de invloed van de hoeveelheid calorische fractie die verwerkt wordt.*



*Figuur 6: schade aan het ecosysteem door ecotoxische stoffen en verzuring en vermisting, vergelijking van de scenario's*

De impactcategorie *Uitputting van grondstoffen* wordt weergegeven in onderstaande figuur (Figuur 7).

Het gebruik van fossiele brandstoffen is van doorslaggevend belang voor deze impactcategorie en dan voornamelijk het gebruik van aardgas.



*Figuur 7: uitputting van grondstoffen, vergelijking van de scenario's*

### 6.1.3 Besluit

Om uit de milieuvergelijking van de verschillende verwerkingsscenario's de juiste conclusies te trekken, is het belangrijk dat alle aannames van de milieu-analyse niet uit het oog verloren worden. Ze worden daarom nog even op een rij gezet.

- de hoeveelheid calorische fractie die wordt geproduceerd bepaalt gedeeltelijk de milieu-impact van een systeem, omdat de functionele eenheid van de globale studie 1 ton afval is;
- de systeemgrenzen werden bij het begin van de studie bepaald. Het gebruik van hulpstoffen, brandstoffen en emissies vormen de basis van de milieu-analyse. Vermeden emissies (door energieproductie) en materiaalrecuperatie worden apart besproken;
- enkel die impact-categorieën worden besproken waarvan in de restafvalstudie is gebleken dat ze van doorslaggevend belang waren.

Voor het weergeven van de resultaten wordt gebruik gemaakt van een samenvattende tabel (zie Tabel 15). In deze tabel worden de verschillen tussen de verschillende technieken procentueel weergegeven. Door het gebruik van kleuren wordt de vergelijking duidelijker voorgesteld. Per impactcategorie wordt aan de verwerkingsroute met de hoogste impact een score van 100% gegeven. De overige verwerkingsscenario's worden ten opzicht van deze 100% uitgedrukt. De resultaten worden opgesplitst in 4 categorieën :

- Rood voor impacts hoger dan 75%;
- Grijs voor impacts tussen 50% en 75%;
- Wit voor impacts tussen 25% en 50%;
- Groen voor impacts lager dan 25%.

De grootte van de impact kan per impactcategorie (horizontaal) vergeleken worden. Impact kunnen niet altijd verticaal vergeleken of opgeteld worden omdat er verschillende eenheden worden gebruikt.

Tabel 15: vergelijking van de totale milieu-impacts voor de verschillende scenario's

	RO	RO SNCR	RO SCR	OWS WBO	HERHOF WBO	FibreCycle WBO & RO
<b>human health [DALY]</b>						
carcinogenics	1,36E-05	1,40E-05	1,38E-05	4,52E-06	2,24E-05	1,36E-05
respiratory effects	2,16E-04	1,26E-04	6,65E-05	5,15E-05	8,88E-05	9,40E-05
climate change	1,65E-04	1,66E-04	1,68E-04	1,17E-04	1,73E-04	1,83E-04
<b>damage to Ecosystem Quality (PDF/m<sup>2</sup>yr)</b>						
ecotoxicity	2,83E+00	2,93E+00	2,84E+00	7,85E-01	1,46E+00	1,87E+00
acidification/eutrophication	1,26E+01	6,81E+00	3,03E+00	2,74E+00	4,49E+00	4,95E+00
<b>resources (MJ surplus)</b>						
fossil fuels	1,93E+01	3,35E+01	4,61E+01	6,45E+00	5,95E+01	1,62E+02

Voor de impactcategorie *schade aan humane gezondheid veroorzaakt door kankerverwekkende stoffen* scoort het HERHOF-scenario het slechtst. Voor de roosterovens en het FibreCycle-scenario zijn de impacts vergelijkbaar. Het scenario OWS-WBO scoort significant beter.

Bij schade aan humane gezondheid door effecten op de luchtwegen scoort de roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> het slechtst, gevolgd door de roosteroven met SNCR. De roosteroven met

SCR, het HERHOF-scenario en FibreCycle-scenario hebben een gelijkwaardige impact. Ook hier scoort het OWS-scenario het best.

Schade door klimaatsverandering is gelijkwaardig voor alle scenario's uitgezonderd voor het OWS-scenario, dat beter scoort.

Voor de impactcategorie *schade aan het ecosysteem veroorzaakt door ecotoxische stoffen* scoren de roosterovens het minst goed. Deze scenario's worden gevolgd door het FibreCycle-scenario. De OWS-WBO en HERHOF-WBO scenario's scoren het best voor deze categorie.

*Schade door verzuring/vermesting* wordt vooral veroorzaakt door de roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> gevolgd door de roosteroven met SNCR. De HERHOF en FibreCycle-scenario's scoren beter. De RO met SCR en het OWS-scenario scoren het best.

Voor de impactcategorie *uitputting van fossiele brandstoffen* scoort het FibreCycle-scenario het slechtst. De uitputting veroorzaakt door de RO met SCR en het HERHOF-scenario is lager ten opzichte van het FibreCycle-scenario. De RO zonder deNO<sub>x</sub>, RO-SNCR en OWS-WBO scenario's scoren het best voor deze impactcategorie.

Over het algemeen blijkt uit deze vergelijking dat het OWS-scenario het voordeligst uit de analyse komt, gevolgd door het HERHOF-scenario. Voor het FibreCycle-scenario en de roosterovens met deNO<sub>x</sub> zijn de milieu-impacts gelijkaardig. De roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> sluit de rij.

## 6.2 Energie

### 6.2.1 Inleiding

De analyse met Eco-indicator 99<sup>9</sup> wordt aangevuld met een analyse van de energiebalans. Er werd onderscheid gemaakt tussen energie onder de vorm van elektriciteit, fossiele brandstoffen en warm water of stoom. De geproduceerde energie kan een bestaande energiebron vervangen. De invloed van de elektriciteitsproductie door afvalverwerking werd bepaald door vermeden emissies te berekenen (zie § 6.3 vermeden impacts).

Voor elk van de onderzochte scenario's wordt de *netto elektriciteit productie (kWh/ton afval)* berekend. De elektriciteitsopbrengst is de som van de bruto-productie in de verschillende verwerkingsstappen, verminderd met het eigen elektriciteitsverbruik en met de aangekochte elektriciteit. Het *netto elektrisch rendement* werd gedefinieerd als de verhouding van deze netto-energieproductie op de som van de calorische waarden van de gebruikte brandstoffen en het afval.

Bij de ontwikkeling van de verkorte methodiek <sup>Error! Bookmark not defined.</sup> bleek dat deze aanpak enkele beperkingen heeft. Wanneer een belangrijke brandbare fractie wordt hergebruikt, en niet energetisch wordt gevaloriseerd, wordt de energie van deze fractie niet gebruikt voor elektriciteitsproductie. Het netto elektrisch rendement zal in dat geval zeer laag zijn, en geeft geen indicatie van het werkelijke conversierendement voor het gedeelte dat wel energetisch wordt gevaloriseerd. Een ander kritisch punt is dat de verbruikte (fossiele) brandstoffen mee worden verrekend in de noemer. Het berekende netto-energie

rendement is dus ook van toepassing op deze verbruikte brandstoffen. Dit berekende netto-elektrisch rendement kan wel aanvaardbaar zijn voor de productie van elektriciteit uit afval, maar is doorgaans minder dan de helft van wat gerealiseerd kan worden in klassieke elektriciteitscentrales. Daarom wordt naast bovenstaande berekening ook een inschatting gemaakt van de *netto uitgespaarde fossiele brandstof*. Er wordt hierbij verondersteld dat de netto elektriciteitsproductie uit afval elektriciteit vervangt die met een gemiddeld rendement van 40% uit fossiele brandstoffen zou geproduceerd worden. Dit geeft de bruto hoeveelheid uitgespaarde fossiele brandstof. Hiervan moet de gebruikte hoeveelheid fossiele brandstoffen worden afgetrokken. Dit geeft dat de hoeveelheid netto uitgespaarde fossiele brandstof. In onderstaande tabel (Tabel 16) worden volgende kengetallen berekend :

- de netto elektriciteit productie;
- het netto elektrisch rendement;
- de netto uitgespaarde fossiele brandstof.

## 6.2.2 Analyse

De energetische prestaties van de verschillende scenario's worden samengevat in onderstaande tabel (Tabel 16).

Het rendement om in een wervelbed elektriciteit te produceren dat werd gebruikt in de restafvalstudie was 25% netto. Uit gesprekken met Indaver, en recentere data uit de literatuur is gebleken dat dit een vrij hoge inschatting is. Waarschijnlijk is een bruto rendement van 24% realistischer. Dit komt overeen met een netto rendement van 18 – 19%. In de berekeningen in onderstaande tabel werd voor het wervelbed een netto rendement van 19% verondersteld. De netto rendementen voor de roosterovens met rookgaswassing en wervelbedoven die werden toegepast in deze berekeningen zijn hetzelfde. Voor de roosteroven zonder rookgaswassing werd een nettorendement van 22% verondersteld. Dit verschil is volledig toe te schrijven aan het niet gebruiken van elektriciteit door deNO<sub>x</sub> installatie.

*Tabel 16: netto-rendement per scenario*

		RO	RO SNCR	RO SCR	OWS + WBO	HERHOF + WBO	FibreCycle + WBO & RO
netto-elektriciteitsproductie	kWh/t	560	480	475	441	369	455
netto-elektriciteitsproductie	GJ/t	2,0	1,7	1,7	1,6	1,3	1,6
cal. waarde afval	GJ/t	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
brandstoffen	GJ/t	0,17	0,02	0,46	0,01	0,16	2
nel		23,3%	20,3%	19,1%	18,7%	15,4%	16,4%
netto uitgespaarde fossiele brandstoffen	GJ/t	4,9	4,3	3,8	4,0	3,2	2,5

Voorvermelde veronderstellingen komen tot uiting in de netto-rendementen zoals vermeld in bovenstaande tabel. De netto-rendementen van beide ovens met deNO<sub>x</sub> zijn lager dan die van de roosteroven zonder deNO<sub>x</sub>.

Uit de gegevens blijkt dat de voorbehandeling van OWS gecombineerd met een wervelbed een gelijkaardige netto-elektriciteitsproductie geeft dan de roosterovens met deNO<sub>x</sub>. Dit is te danken aan het biogas dat wordt geproduceerd. Dit biogas wordt verbrand in een

gasmotor met een rendement van 35%. De voorbehandelingsinstallatie heeft hierdoor een netto-elektriciteitoutput van 121,5 kWh/ton afval.

De andere scenario's met voorbehandeling hebben een lager rendement. Hoewel de FibreCycle installatie een gelijkaardige netto-electriciteitproductie heeft dan scenario OWS-WBO is de netto-energie-output toch lager. Dit wordt verklaard door het feit dat de FibreCycle-installatie een relatief grote hoeveelheid brandstof verbruikt. Ook het HERHOF-scenario heeft een significant lagere netto-elektriciteitsoutput dan de andere scenario's. Dit is het gevolg van het elektriciteitsverbruik van de voorbehandelingsinstallatie (100 kWh/ton afval).

Ook de netto uitgespaarde hoeveelheid fossiele brandstoffen wordt weergegeven. Hieruit blijkt dat vooral het FibreCycle-scenario een brandstofverbruiker is.

### **6.2.3 Besluit**

Uit Tabel 16 blijkt dat het netto elektrisch rendement van de roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> significant hoger is dan die van de overige systemen. Dit rendement is vergelijkbaar voor de roosteroven-scenario's met deNO<sub>x</sub> en het OWS-scenario. Voor de beide andere scenario's met voorbehandeling is het netto elektrisch rendement significant lager.

Daarnaast blijkt ook dat de tendens voor het criterium netto uitgespaarde fossiele brandstoffen in grote lijnen overeen komt met die voor het netto elektrisch rendement. Uitzondering is het FibreCycle-scenario. Hiervoor zagen we bij het netto elektrisch rendement dat de score gelijkaardig, maar hoger was dan voor het HERHOF-systeem. Bij het criterium netto uitgespaarde fossiele brandstoffen zien we dat het FibreCyclesysteem significant slechter scoort ten opzichte van de overige scenario's, ook ten opzichte van het HERHOF-scenario.

## **6.3 Milieu, vermeden emissies**

### **6.3.1 Inleiding**

Ten gevolge van de productie van elektriciteit in de bestudeerde scenario's worden emissies, veroorzaakt gedurende de productie van elektriciteit uit fossiele brandstoffen, vermeden. Deze vermeden emissies worden berekend op basis van de netto output van elektriciteit van een bepaald scenario.

In deze studie worden de vermeden emissies berekend op basis van de gemiddelde Belgische brandstofmix voor elektriciteit. Het Belgische elektriciteitspark gebruikt voor een groot deel nucleaire energie (58%), waaraan geen emissies verbonden worden.

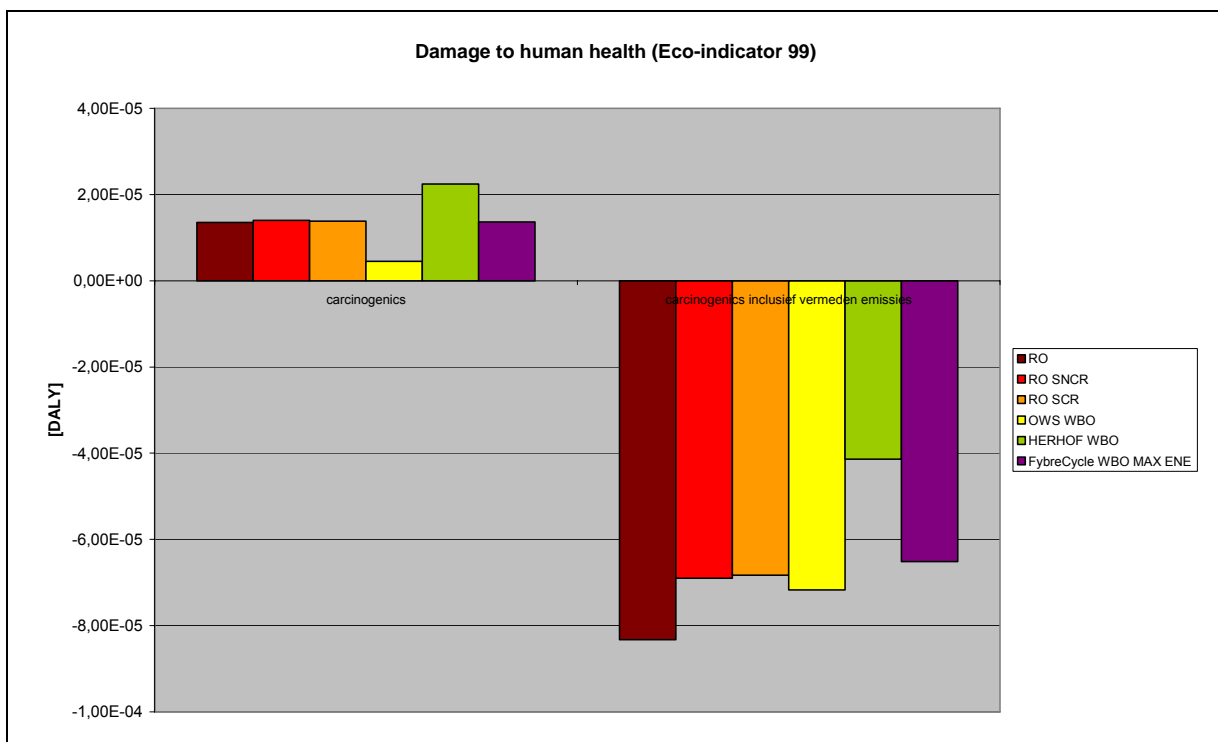
Er werd voor deze optie gekozen omdat in de modelberekeningen (eco-indicator 99), wanneer er elektriciteit van het net wordt gebruikt, eveneens het gemiddelde Belgische elektriciteitspark wordt gebruikt.

Vermeden impacts worden berekend door de directe impact en de vermeden impacts door elektriciteitsproductie op te tellen.

### 6.3.2 Analyse

In Figuur 8 worden de vermeden impacts voor de categorie 'schade door menselijke gezondheid door kankerverwekkende stoffen' weergegeven. De totale impact vermindert door de vermeden emissies in rekening te brengen, en wordt zelfs negatief. Dit wil zeggen dat elektriciteitsproductie uit afval een lagere milieu-impact heeft dan een zelfde elektriciteitsproductie door het Belgische elektriciteitspark.

De rangschikking van de installaties verandert door de vermeden impacts in rekening te brengen. De roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> vermijdt de meeste emissies. De verschillen tussen beide roosterovens met deNO<sub>x</sub>, het OWS-scenario en het FibreCycle-scenario zijn verwaarloosbaar. Het HERHOF-scenario vermijdt de minste emissies.



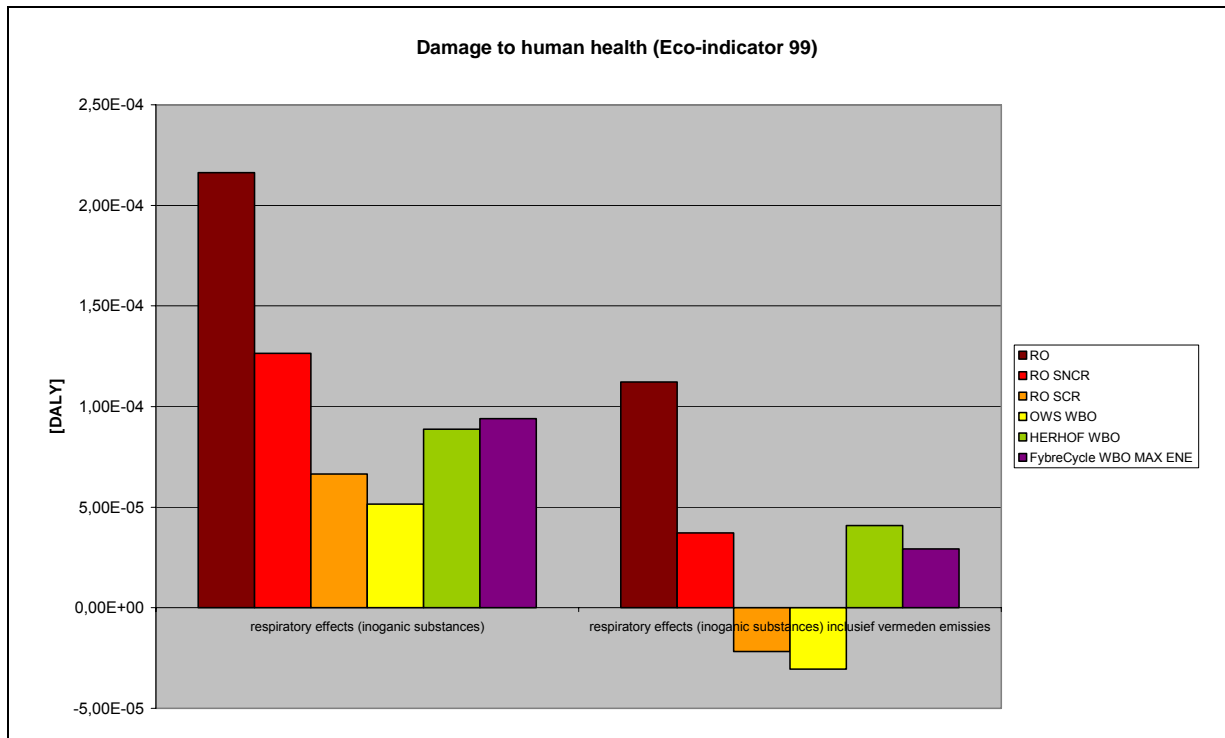
Figuur 8: schade aan menselijke gezondheid door kankerverwekkende inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's

De vergelijking tussen de scenario's voor de impact-categorie 'schade aan menselijke gezondheid door anorganische stoffen, inclusief vermeden impacts' wordt weergegeven in volgende figuur.

De volgorde van de roosteroven met SNCR, het HERHOF-scenario en het FibreCycle-scenario wijzigt. Voor twee scenario's, de roosteroven met SCR en het OWS-scenario worden de impacts negatief.

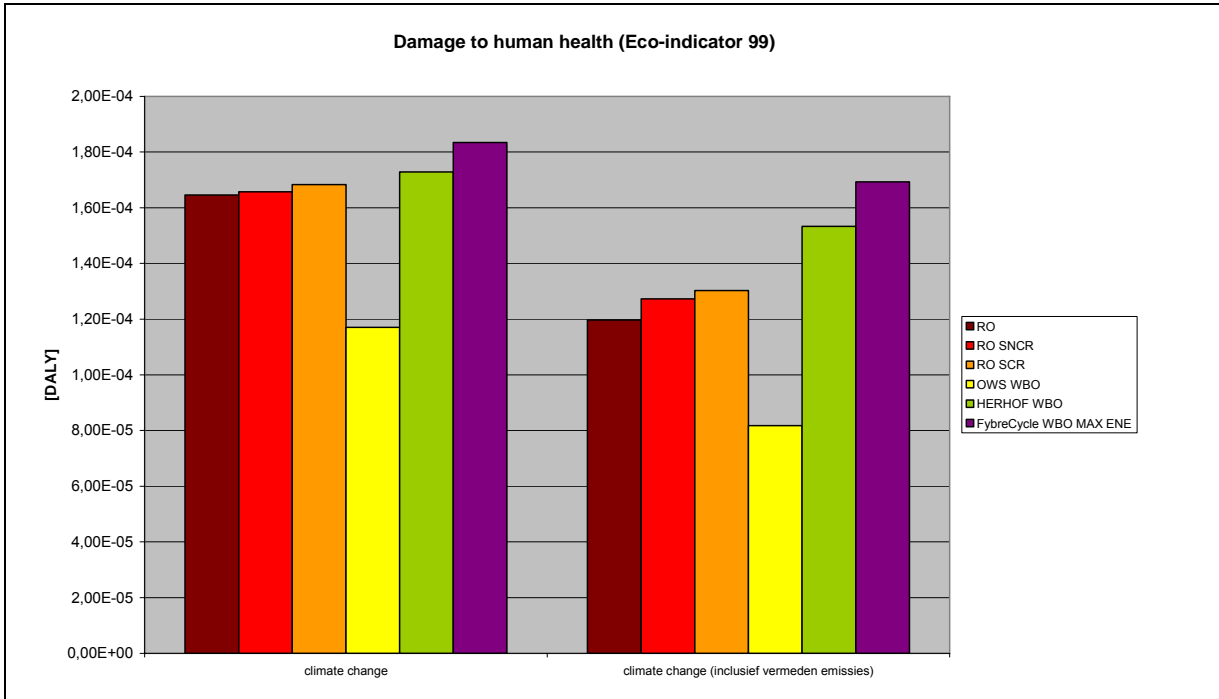


Scenario's met de hoogste elektriciteitsproductie verbeteren het sterkst.



*Figuur 9: schade aan menselijke gezondheid door anorganische stoffen, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's*

Voor 'schade aan menselijke gezondheid ten gevolge van klimaatsverandering' ziet men dat de globale impact vermindert. De volgorde van de verschillende scenario's blijft echter dezelfde.



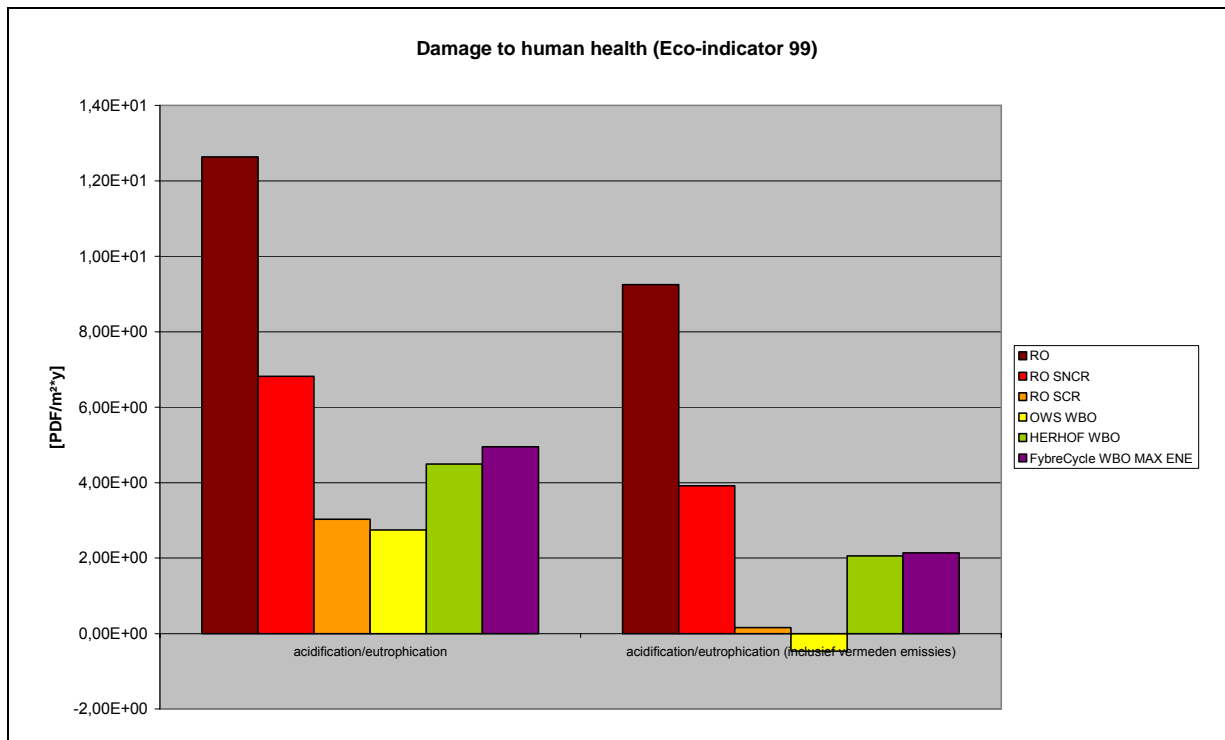
*Figuur 10: schade aan humane gezondheid door klimaatsverandering, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's*

Bij schade door ecotoxische stoffen zien we dat voor alle scenario's de impacts negatief worden. Het FybreCycle en Herhof-scenario wisselen van plaats door het in rekening brengen van de vermeden impacts.



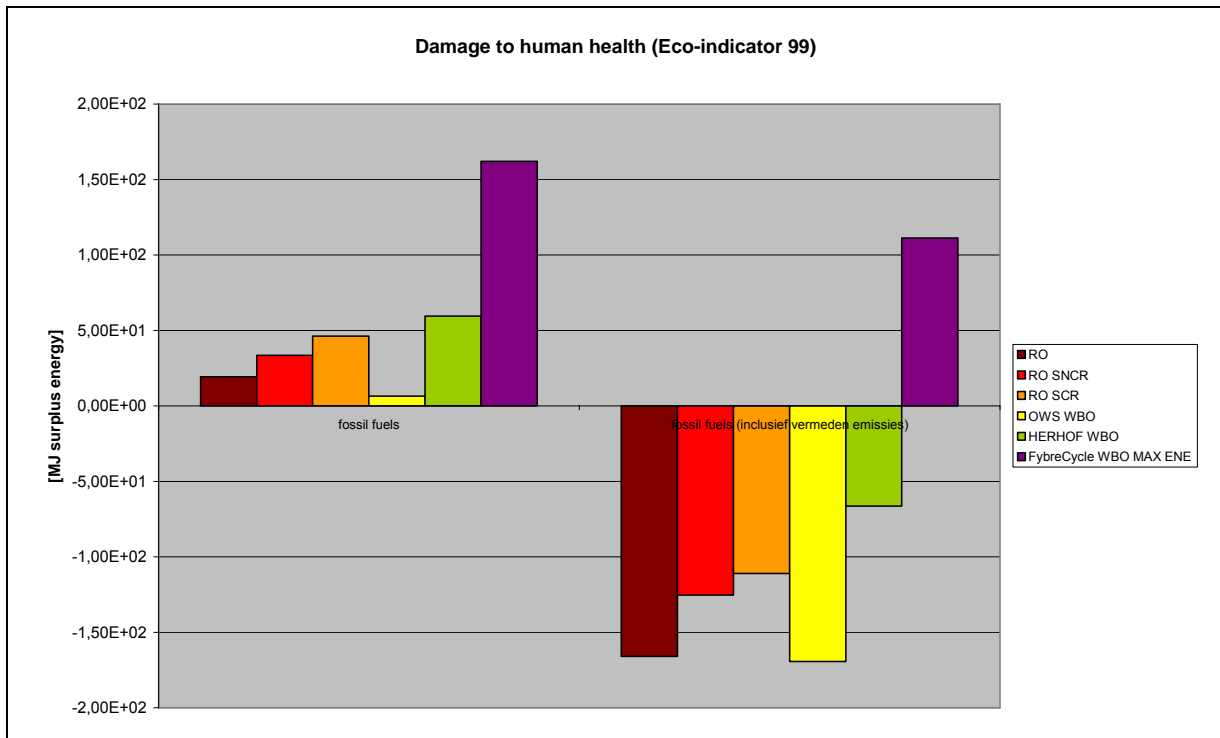
*Figuur 11: schade aan het ecosysteem door ecotoxische stoffen, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's*

Voor de 'impact op ecosystemen door verzuring en vermisting' zien we hetzelfde effect dan bij schade door anorganische stoffen (en SO<sub>2</sub> dragen ook bij tot verzuring). De meeste impacts blijven positief, uitgezonderd deze van het OWS-scenario.



*Figuur 12: schade aan het ecosysteem door verzuring en vermisting, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's*

Het opwekken van elektriciteit uit afval vermijdt de productie van elektriciteit uit fossiele brandstoffen. Dit blijkt uit onderstaande figuur. De uitputting van aardgas weegt in deze impactcategorie zwaarder door dan uitputting van steenkool. Vandaar dat het FibreCycle-scenario minder goed scoort voor deze impactcategorie.



Figuur 13: uitputting van grondstoffen, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's

### 6.3.3 Besluit

De kleurbepaling zoals gebruikt in Tabel 17 is wat anders dan deze in Tabel 15.

Wanneer ten minste 1 impact positief blijft is de benadering hetzelfde dan in Tabel 15. De werkingroute met de hoogste milieu-impact wordt op 100% gezet. De andere verwerkingsscenario's zijn per impactcategorie ten opzichte van deze 100% uitgedrukt. Voor de eenvoud is een onderverdeling gemaakt in 4 categorieën :

- rood voor impacts van meer dan 75%
- grijs voor impacts tussen 50 en 75%
- wit voor impacts tussen 25 en 50%
- groen voor impacts tussen 0 en 25%

Wanneer echter alle impacts negatief zijn wordt een andere methode toegepast. Dan wordt de meest negatieve impact op 100% gezet. De overige scenario's worden dan relatief ten opzichte van deze 100% uitgedrukt. Ook hier werd een kleurcode gegeven aan de verschillende categorieën:

- groen voor impact van meer dan 75%
- wit voor impacts tussen 50 en 75%
- grijs voor impacts tussen 25 en 50%
- rood voor impacts van minder dan 25%

De grootte van de impact kan per impactcategorie (horizontaal) vergeleken worden. Impact kunnen niet altijd verticaal vergeleken of opgeteld worden omdat er verschillende eenheden worden gebruikt.

Tabel 17: vergelijking van de milieu-impacts, inclusief vermeden emissies, voor de verschillende scenario's

	RO	RO SNCR	RO SCR	OWS WBO	HERHOF WBO	FibreCycle WBO & RO
<b>human health [DALY]</b>						
carcinogenics	-8,32E-05	-6,90E-05	-6,83E-05	-7,17E-05	-4,14E-05	-6,51E-05
respiratory effects	1,12E-04	3,72E-05	-2,18E-05	-3,04E-05	4,08E-05	2,93E-05
climate change	1,20E-04	1,27E-04	1,30E-04	8,17E-05	1,53E-04	1,69E-04
<b>damage to Ecosystem Quality (PDF/m<sup>2</sup>yr)</b>						
ecotoxicity	-1,58E+00	-8,46E-01	-8,93E-01	-2,68E+00	-6,50E-01	-1,17E+00
acidification/eutrophication	9,25E+00	3,91E+00	1,55E-01	7,90E-02	2,98E+00	3,02E+00
<b>resources (MJ surplus)</b>						
fossil fuels	-1,66E+02	-1,25E+02	-1,11E+02	-1,39E+02	-1,56E+01	1,60E+02

Bij de impactcategorie *schade op humane gezondheid door kankerverwekkende stoffen* vermijdt het HERHOF scenario de minste emissies. De impacts door de andere scenario's zijn gelijkaardig. *Impacts op de ademhaling* zijn het laagst voor de roosteroven zonder deNO<sub>x</sub>. Ze zijn gelijkaardig voor de roosteroven met SNCR, het HERHOF-scenario en het FibreCycle-scenario. Voor de roosteroven met SCR en het OWS-scenario zijn de impacts negatief. *Schade door klimaatsverandering* wordt vooral veroorzaakt door de roosterovens met deNO<sub>x</sub> installatie, het HERHOF- en FibreCycle-scenario. De score van de roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> is beter. Het OWS-scenario scoort het best voor dit criterium.

Het OWS-scenario vermijdt de meeste *schade aan het ecosysteem door ecotoxische stoffen*. Op de tweede plaats komt de roosteroven zonder deNO<sub>x</sub>-installatie. De roosterovens met deNO<sub>x</sub> en het FibreCycle-scenario volgen. Het HERHOF-scenario vermijdt het minste schade voor deze categorie. De roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> scoort voor de impactcategorie verzuring/vermesting het slechtst. De roosteroven met SNCR, het HERHOF- en FibreCycle-scenario hebben een gelijkaardige, betere score. De RO SCR en het OWS-WBO scenario scoren het best.

Bij *vermeden brandstoffen* zijn de impact van de meeste scenario's negatief. Enkel het FibreCycle-scenario heeft een positieve impact, en dus de slechtste score.

Bij deze vergelijking zien we dat ook hier het OWS-scenario het beste scoort wat betreft de milieu-impacts. Het wordt gevolgd door de twee roosterovens met deNO<sub>x</sub>, waarbij de SCR licht beter scoort. Daarna komen het HERHOF en FibreCycle-scenario. De roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> scoort ook hier het slechtst.

## 6.4 Materiaalrecuperatie

Het aspect materiaalrecuperatie wordt geëvalueerd op basis van de hoeveelheden herbruikbare en te storten materialen die geproduceerd worden. Daarnaast wordt ook gekeken naar de milieuhygiënische en technische kwaliteiten van de mogelijk herbruikbare fracties.

De verschillende geëvalueerde scenario's produceren verschillende typen materialen. In hetgeen volgt worden deze verschillende fracties overlopen.

De afgescheiden energetische fracties worden niet apart besproken in dit rapport. Voor de afgescheiden hoeveelheden wordt verwezen naar hoofdstuk 5.2.

In volgende tabel wordt een overzicht weergegeven van de verschillende geproduceerde fracties.

*Tabel 18: overzicht van de verschillende geproduceerde niet energetische fracties*

kg/ton afval product	hergebruik				residu	
	ferro	non ferro	inert	organisch	inert	organisch
RO	32	3	81		150	
RO SNCR	32	3	81		150	
RO SCR	32	3	81		150	
OWS WBO	39	6	160	70	57	83
HERHOF WBO	39	10	101		69	
FibreCycle WBO	39	7	87		70	

#### 6.4.1 Ferro

De hoeveelheden afgescheiden ferro zijn hetzelfde voor de verschillende scenario's met voorbehandeling. Er werden voor deze scenario's dezelfde afscheidingspercentages gehanteerd. Deze afscheidingspercentages zijn gebaseerd op theoretische inschattingen en waarschijnlijk aan de hoge kant (90%). Voor de roosterovens zijn de hoeveelheden afgescheiden ferro-fracties gebaseerd op praktijkgegevens. Dit resulteert waarschijnlijk in een onderschatting ten opzichte van de theoretische hoeveelheid. Het gebruikte afscheidingspercentage is lager dan voor de voorbehandelingsinstallaties (75%).

Er wordt verondersteld dat alle gerecupereerde ferro kan worden hergebruikt

#### 6.4.2 Non ferro

De hoeveelheden non-ferro die worden afgescheiden door de verschillende systemen is gelijk voor de roosteroven-scenario's. Deze hoeveelheden zijn laag in vergelijking met de voorbehandelings-scenario's. Zoals bij de hoeveelheden gerecupereerde ferro zijn deze hoeveelheden gebaseerd op praktijkgegevens en waarschijnlijk een onderschatting ten opzichte van de theoretische inschattingen. De hoeveelheden voor de voorbehandelings-scenario's zijn vergelijkbaar.

Er wordt verondersteld dat alle gerecupereerde non-ferro kan worden hergebruikt.

#### 6.4.3 Inerten

Voor de verschillende scenario's werd de hoeveelheid restproducten berekend. In de berekeningen werd uitgegaan van de volgende veronderstellingen :

- Voor de roosterovens kan de fractie 2 – 50 mm hergebruikt worden,
- Voor de voorbehandelingsinstallaties werd verondersteld dat de afgescheiden inertien kunnen hergebruikt worden. Voor OWS is dit een zandfractie en een inerte fractie, voor HEROF en FibreCycle enkel een inerte fractie. Daarnaast wordt door de OWS-installatie een organische fractie afgescheiden waarvan verondersteld wordt dat ze in aanmerking komt om te gebruiken als bodemverbeterend middel. Door de OWS installatie worden niet enkel herbruikbare fracties afgescheiden maar ook twee te storten fractie, een inert residu en een organische fractie die niet in aanmerking komt om te worden hergebruikt.
- Voor het wervelbed wordt verondersteld dat de bed- en ketelassen hergebruikt kunnen worden..

De hoeveelheid geproduceerde assen werd berekend op basis van het asgehalte van het afval en praktijkgegevens<sup>14</sup>. De veronderstellingen betreffende de milieuhygiënische kwaliteit van de assen zijn gebaseerd op praktijkgegevens.

De hoeveelheid inertien die door de HERHOF voorbehandelingsinstallatie wordt afgescheiden werd door Vito berekend op basis van de afvalsamenstelling en algemene gegevens van de technologieleverancier. De gegevens betreffende de milieuhygiënische kwaliteit van de inerte fractie werden aangeleverd door de systeemleverancier

De hoeveelheden van deze inerte fracties die in de SORDISEP-installatie van OWS worden afgescheiden, zijn gebaseerd op de gedetailleerde massabalans die OWS aan Vito bezorgde. Deze berekende hoeveelheden zijn gebaseerd op de opgegeven afvalsamenstelling. De milieuhygiënische kwaliteit van de zand- en inerte fractie van OWS werd door Vito onderzocht. Voor de zandfractie werden analyses gedaan van het zand van een pilootinstallatie. Voor de inerte fractie werd enkel een visuele test gedaan. Deze fractie is visueel zuiverder dan de zandfractie. Er kan met voldoende zekerheid worden aangenomen de milieuhygiënische kwaliteit van deze inertien beter is dan deze van de zandfractie.

De hoeveelheden afgescheiden inertien door het FibreCycle-proces werden door Vito ingeschat op basis van de opgegeven afvalsamenstelling en algemene gegevens van de technologieleverancier. Op deze inerte fractie werden geen testen uitgevoerd. Omdat de overige inerte fracties van voorbehandelingsinstallaties van voldoende kwaliteit zijn, veronderstellen we dat ook de inerte fractie van FibreCycle voldoet om te worden hergebruikt.

De hoeveelheden assen die in het wervelbed worden geproduceerd, werden berekend op basis van de asgehalten van de calorische fracties en gegevens opgegeven door de technologieleverancier.

De kwaliteit van de bodemasfractie van de wervelbedinstallatie werd niet gerapporteerd. Er kan verwacht worden dat de milieuhygiënische kwaliteit van de bodemassen van het wervelbed beter is dan die van roosterovenbodemassen omwille van volgende redenen :

- Lager gehalte fijn materiaal;
- Betere uitbrandkwaliteit in een wervelbed;
- Inputbrandstof met lagere metaalverontreiniging.

#### 6.4.4 Residu's

De residustromen komen niet voor hergebruik in aanmerking. Deze stromen zijn voornamelijk restproducten van zuiveringsprocessen, waarin de onzuiverheden zijn opgeconcentreerd. De residu's worden na eventuele immobilisatie afgevoerd naar een stortplaats.

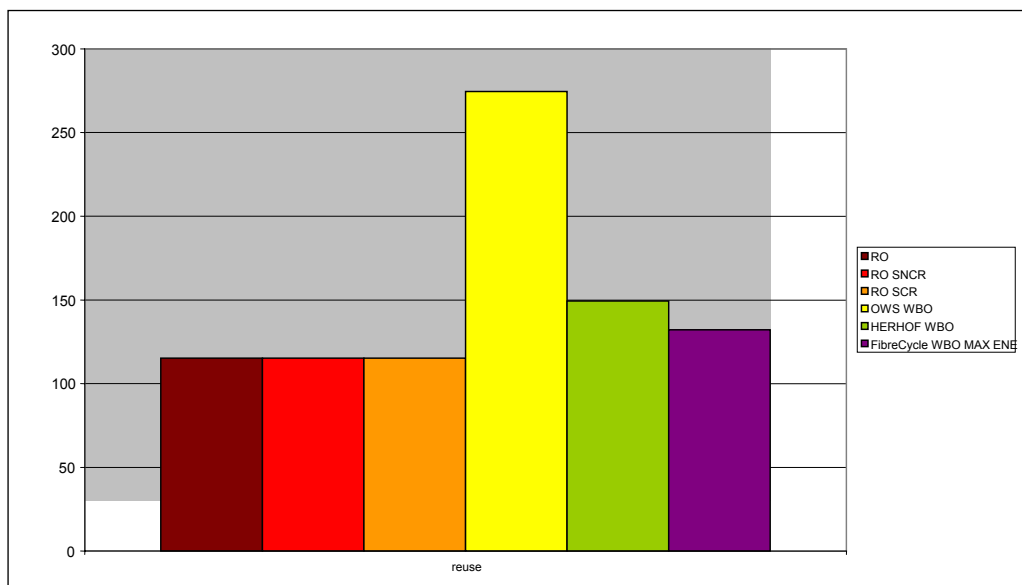
Voor de roosteroven dienen de fracties afkomstig van de rookgasreiniging, de ketelassen en de fractie 0 – 2 mm te worden gestort. Voor de wervelbedoven wordt in de berekeningen uitgegaan van de veronderstelling dat de cycloonassen en het rookgasreinigingresidu worden afgevoerd naar een stortplaats.

De nabehandeling van het digestaat uit de DRANCO-vergistingsinstallatie van OWS resulteert in de vorming van een inert residu en een slibkoek. Beide fracties worden gestort.

#### 6.4.5 Besluit

De voorbehandelinginstallaties produceren meer herbruikbare fracties. De installatie van OWS is de techniek met de hoogste materiaalopbrengst. Deze techniek is er dan ook op gericht zo veel mogelijk herbruikbaar materiaal af te scheiden uit het huishoudelijk afval. Dit wordt weergegeven in volgende grafiek (Figuur 14).

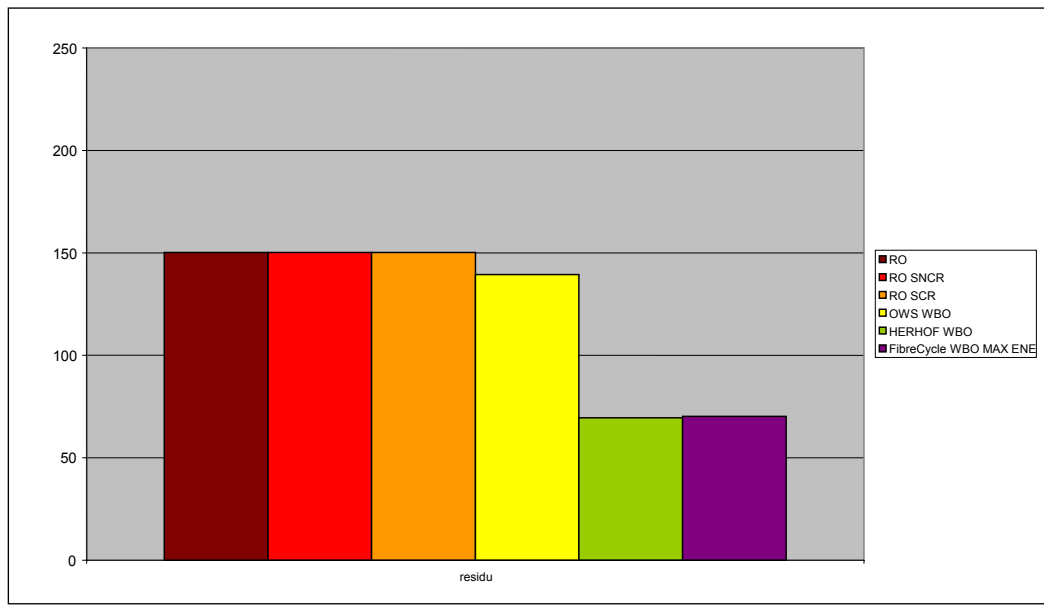
Indien zou blijken dat de afgescheiden organische fractie niet herbruikbaar zou zijn als bodemverbeterend middel, produceert deze techniek nog steeds de grootste hoeveelheid herbruikbaar materiaal. De hoge materiaalopbrengst van het OWS-systeem brengt ook nadelen met zich mee. Voor al de geproduceerde fracties moet afzet worden gezocht. In de praktijk blijkt dat dit een beperkende factor kan zijn voor het implementeren van dit systeem.



Figuur 14: overzicht herbruikbare fracties (kg/ton afval)



Het produceren van materiaalstromen door OWS, resulteert ook in de vorming van meer residu's die gestort moeten worden. De hoeveelheid te storten fractie geproduceerd door het OWS-scenario is gelijkaardig aan de hoeveelheden geproduceerd door de roosterovens. Indien de organische fractie geproduceerd door OWS niet in aanmerking komt om te worden hergebruikt stijgt de hoeveelheid te storten materiaal met ongeveer de helft. De overige twee voorbehandelingsscenario's produceren significant minder te storten fractie. De resultaten worden weergegeven in onderstaande grafiek (Figuur 15).



*Figuur 15: overzicht te storten fracties (kg/ton afval)*



## 7 ALGEMEEN BESLUIT

In voorliggend rapport werd een vergelijking gemaakt van de milieu-impacten verschillende verwerkingstechnieken voor huishoudelijk afval. Hiervoor werden de gegevens van de restafvalstudie geactualiseerd. Er werd gebruik gemaakt van de op Vito beschikbare informatie om deze update te maken. De herberekeningen gebeurden in het kader van het SusTools-project waaraan Vito deelnam in 2004.

Bij de evaluatie van het criterium milieu, directe emissies, zien we een zelfde tendens voor de verschillende impactcategorieën. Uit de evaluatie blijkt dat het OWS-scenario het voordeligst uit de analyse komt, gevolgd door het HERHOF-scenario. Voor het FibreCycle-scenario en de roosterovens met deNO<sub>x</sub> zijn de milieu-impacts gelijkaardig. De roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> sluit de rij.

Voor het evaluatiecriterium energie blijkt dat het netto elektrisch rendement van de roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> significant hoger is dan dit van de overige systemen. De rendementen van de roosterovens-scenario's met deNO<sub>x</sub> en het OWS-scenario zijn vergelijkbaar. Voor zowel het HERHOF als het FibreCycle-scenario zijn de netto elektrische rendementen significant lager. De resultaten voor het criterium netto uitgespaarde fossiele brandstoffen komt in grote lijnen overeen met het netto elektrische rendement. Uitzondering is het FibreCycle-scenario. Dit scenario scoort significant slechter dan de overige scenario's.

Op basis van de geproduceerde elektriciteit door de bestudeerde scenario's worden vermeden emissies bepaald. Ook voor dit evaluatiecriterium milieu, vermeden emissies, zien we dat het OWS-scenario het beste scoort wat betreft de milieu-impacts. Het wordt gevolgd door de twee roosterovens met deNO<sub>x</sub>, waarbij de SCR licht beter scoort. Daarna komen het HERHOF en FibreCycle-scenario. Ook hier scoort de roosteroven zonder deNO<sub>x</sub> het slechtst.

Wat materiaalrecuperatie betreft; blijkt dat de voorbehandelingsinstallaties meer herbruikbare fracties produceren. De installatie van OWS is de techniek met de hoogste materiaal opbrengst. Deze hoge materiaalopbrengst heeft als nadeel dat voor al de geproduceerde herbruikbare fracties afzet moet worden gezocht. In de praktijk blijkt dat dit een beperkende factor kan zijn voor het implementeren van dit systeem. Daarnaast resulteert het produceren van materiaalstromen ook in de vorming van meer residu's die gestort moeten worden. De hoeveelheid te storten fractie door het OWS-scenario is gelijkaardig aan de hoeveelheden geproduceerd door de roosterovens. Het HERHOF en FibreCycle-scenario produceren significant minder te storten fracties.

Er wordt in deze studie geen nieuw samenvattend besluit geformuleerd vermits de financieel-economische aspecten en bedrijfsvoering van de verschillende technieken niet opnieuw geëvalueerd werden. Beide aspecten kunnen een belangrijk effect hebben op de globale evaluatie en zijn zeer relevant voor implementatie van de verwerkingstechnieken/scenario's in de praktijk. Bovendien is de methodologie gebaseerd

op opvolging en overleg met verschillende actoren in een begeleidingscomité. Dergelijk comité werd niet samengesteld voor deze update.

Vito wenst er eveneens op te wijzen dat de gegevens in dit rapport met de nodige voorzichtigheid en omkadering gehanteerd moeten worden. De impacts van de roosterovens zijn gebaseerd op theoretische modellen voor de verdeling van de zware metalen naar de rookgassen en de asfracties. Dit kan leiden tot een foutieve inschatting (zowel over- als onderschatting) van de metaalemissies via de rookgassen. Voor de voorbehandelingsscenario's zijn alle berekeningen gebaseerd op theoretische veronderstellingen. Er is momenteel in Vlaanderen geen van de beschreven voorbehandelingsinstallaties operationeel voor het verwerken van huishoudelijk afval. Voor het FibreCycle procédé is enkel een pilootinstallatie beschikbaar. Hierdoor dient er voldoende voorbehoud te worden gemaakt bij de interpretatie van de resultaten. Daarnaast is thans ook geen wervelbedoven in werking in Vlaanderen, ook deze gegevens zijn volledig gebaseerd op theoretische veronderstellingen.

Een van de uitgangspunten van de vergelijking is dat de geproduceerde hoogcalorische fracties verwerkt worden in een wervelbedoven. Het is mogelijk dat er andere en eventueel meer geschikte verbrandingsinstallaties bestaan voor het verwerken van de geproduceerde calorische fracties. Deze opties werden echter niet onderzocht. De resultaten van deze studie doen geen enkele uitspraak over deze alternatieve verwerkingsopties en over het feit dat de geëvalueerde verwerkingsscenario's de meest realistische zijn.





**DEEL 2:**

**Technische fiches mechanisch-biologische  
voorbehandelingstechnieken voor huishoudelijk afval.**

## 1 INLEIDING

Mechanisch-biologische voorbehandeling van afval slaat op de voorbehandeling van huishoudelijk afval dat biologisch afbreekbare componenten bevat. De behandeling is een combinatie van mechanische en andere fysische processen en biologische processen. De mechanische voorbehandeling bestaat uit een combinatie van verschillende mechanisch-fysische processen zoals verkleining, afscheiding van metalen, uitsorteren van fracties op basis van hun verschillende eigenschappen (grootte, dichtheid, soortelijk gewicht) met behulp van zeven, windsortering, magneten, ... De biologische processen bestaan ofwel uit een aërobe afbraak ofwel uit een anaërobe afbraak van (een deel van) de organische fractie van het afval.

De oorspronkelijke doelstelling van dergelijke voorbehandeling is het verkleinen van de massa en het volume van het afval. Een andere oorspronkelijke doelstelling is om de milieu-impact van het te storten afval te minimaliseren. Hiermee wordt bedoeld dat de stortgasemissies gereduceerd worden, dat de vorming van percolaat zo laag mogelijk gehouden wordt en dat vermeden wordt dat het volume van het gestorte afval afneemt naarmate het verder biologisch afgebroken wordt. Samenvattend kan gesteld worden dat het mechanisch-biologisch voorbehandelen in de eerste plaats ontwikkeld is als voorbehandeling voor het storten

Mechanisch-biologische voorbehandeling streeft eveneens -meer en meer- naar de scheiding van hergebruikbare afvalcomponenten voor industrieel hergebruik (zoals metalen en plastics) en naar de productie van *Refuse Derived Fuel* (RDF)<sup>15</sup>.

Mechanisch-biologische voorbehandeling van afval wordt beschouwd als een alternatief voor integrale afvalverbranding in een roosteroven. De mechanisch-biologische voorbehandeling op zich kan niet beschouwd worden als een volwaardig alternatief voor integrale verbranding in een roosteroven. Om een volledig alternatief te kunnen bieden voor een integrale thermische verwerking van huishoudelijk afval, zoals beschreven in het gedeelte thermische technieken, moet een mechanisch-biologische voorbehandeling steeds gecombineerd worden met het storten van de biologisch gestabiliseerde fractie ofwel met een thermische verwerking van de RDF-fractie. In het laatste geval wordt een gedeelte van het huishoudelijk afval eveneens thermisch verwerkt. Indien er gezocht wordt naar een echt alternatieve niet thermische verwerking van huishoudelijk afval, is deze laatste kan deze combinatie niet

De bespreking van de *state of the art* technologie voor het storten van de gestabiliseerde residu's en van de thermische verwerkingsmethoden voor RDF is niet opgenomen in dit rapport. Het storten van de gestabiliseerde residu's is de minst gewenste eindverwerkingsoptie voor huishoudelijk afval binnen het Vlaams afvalbeleid en wordt daarom niet verder in overweging genomen. In de Vito-studie rond de verwerking van huishoudelijk afval werden verbranding in een wervelbedoven en vergassing als mogelijkheden voor de verwerking van de RDF-fractie naar voor geschoven.<sup>3</sup> Ook bijstook in elektriciteitscentrales of in klinkerovens behoren tot de mogelijkheden.<sup>35, 16</sup> In een volgende stap kunnen deze verwerkingsopties aangevuld worden in deze inventarisatie.

Bij de inventarisatie van de bestaande mechanisch-biologische voorbehandelingstechnieken is uitgegaan van de basisinventaris <<nieuwe technieken>>, opgesteld in het kader van het onderzoek naar de mogelijke toepassing van nieuwe afvalverwerkingstechnieken in de Provincie Antwerpen<sup>17</sup>. Deze inventaris dateert van februari 1999. Ook werd voortgegaan



op de Vito-studie met betrekking tot de verwerking van huishoudelijk afval<sup>3</sup> en de Vito-studies waarin bijkomende voorbehandelingstechnieken op eenzelfde manier worden geëvalueerd<sup>5,35</sup>. Een meer recente informatiebron is de website van *Juniper*<sup>18</sup>, waar een oplijsting wordt gemaakt van de belangrijke leveranciers van mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen voor huishoudelijk afval.

Voor elk van de geïnventariseerde systemen of leveranciers is gezocht naar een beschrijving van het voorbehandelingssysteem, en naar de meest recente stand van zaken.

Uit de inventarisatie blijkt dat een eerste belangrijk onderscheid bestaat tussen technieken die gebaseerd zijn op de productie en valorisatie van biogas en technieken die gebaseerd zijn op het biologisch drogen van het afval. Daarnaast zijn nog enkele andere systemen, die niet onder één van beide categorieën kunnen ondergebracht worden.

Bepaalde systemen blijken nog niet bewezen te zijn via een operationele *full scale* installatie in Europa. Deze worden apart besproken. Andere systemen blijken niet toepasbaar te zijn voor huishoudelijk afval of blijken geen volledige mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen te zijn (bijvoorbeeld alleen een biologische behandeling). Voor enkele systemen is geen informatie te vinden. Alle leveranciers/systemen die geïnventariseerd werden, zijn opgenomen in dit document, zodat deze allemaal in de juiste context geplaatst kunnen worden.

In Duitsland zijn de meeste *full scale* praktijkvoorbeelden te vinden van mechanisch-biologische voorbehandelingen. Een deel van deze voorbeelden komen terug in onderstaande beschrijvingen. In vele gevallen gaat het om een voorbehandeling voor storten. Andere installaties kunnen niet toegewezen worden aan de beschreven technologieën.<sup>19</sup>

Tenslotte zijn er een aantal voorbehandelingssystemen waarbij afval in verschillende fracties wordt gescheiden zonder biologische omvorming.

## **2 COMBINATIES VAN MECHANISCHE VOORBEHANDELING EN VERGISTING VAN DE ORGANISCHE FRACTIE**

Een eerste reeks mechanisch-biologische voorbehandelingsystemen bestaan uit een mechanische voorbehandeling in combinatie met een vergisting van de organische fractie met vorming van biogas. Dit biogas wordt vervolgens energetisch gevaloriseerd.

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen droge en natte vergisting.

Droge vergisting kan plaatsvinden in een horizontale *propstroomreactor*, in een verticale reactor met conische uitgang of in een verticale cilindrische vergister waarin het substraat zich schroefvorming voortbeweegt.

Het voordeel van een droge vergisting zou erin bestaan dat geen equipment, mengers of schroeven in de reactor nodig zijn. Deze onderdelen kunnen dan ook niet aanleiding geven tot verstoppingen of versnelde slijtage. Verder zou droge vergisting evenmin problemen opleveren met betrekking tot sedimentatie. Dit laatste zou eveneens een probleem zijn waarmee natte vergistingsreactoren geassocieerd worden.

Natte vergisting kan rechtstreeks toegepast worden op het substraat of kan toegepast worden na een voorafgaande hydrolysestap waarin de oplosbare organische fractie in water wordt opgelost. Het is deze organisch beladen waterfractie die vervolgens vergist wordt.

Rechtstreekse natte vergisting kan uitgevoerd worden in een reactor die uitgerust is met roerwerken. Het gebruik van deze roerwerken kan problemen geven zoals slijtage of verstoppingen. Ook kunnen in dergelijke reactoren sedimentatieproblemen optreden. Een andere mogelijkheid is de toepassing van een deel van het geproduceerde biogas om het natte substraat constant in beweging te houden. Door toepassing van deze alternatieve techniek zouden de klassieke problemen rond natte vergisting kunnen vermeden worden.

## 2.1 Systemen bestaande uit een combinatie van mechanische voorbehandeling en droge vergisting van de organische fractie

### 2.1.1 OWS<sup>20</sup>, 35

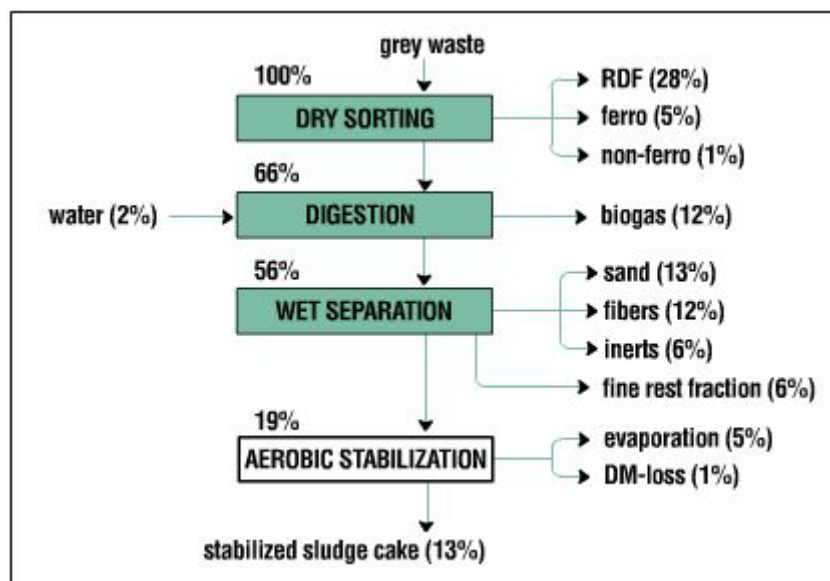
#### a) Procesbeschrijving

De voorbehandeling van huishoudelijk restafval volgens *OWS* is gebaseerd op de *DRANCO* vergistingsinstallatie voor organisch afval die werkt volgens het principe van de anaëroobe vergisting.

Oorspronkelijk is dit type van voorbehandeling ontwikkeld voor de vermindering van het te storten volume afval. Dergelijke voorbehandelingsinstallatie werd in 1997 geïnstalleerd te *Bassum* (*Niedersachsen*, Duitsland). De doelstelling bestaat er niet in om maximaal materialen te recupereren, doch om het organisch materiaal te vergisten, aëroob te stabiliseren en te storten. De brandbare fracties worden verbrand. De brandbare fracties werden en worden nog steeds verwerkt in de nabijgelegen roosteroven.

Voor de procesbeschrijving van de *BASSUM* voorbehandelingsinstallatie: zie restafvalstudie<sup>3</sup>. Het betreft een droge vergisting, met toevoeging van 2% water. De vergisting vindt plaats in een verticale reactor met conische uitgang. De biogasproductie bedraagt, op basis van een afvalsamenstelling voor Vlaanderen, ca. 130 Nm<sup>3</sup> per ton HHA. Het biogas bevat ca. 55% CH<sub>4</sub>.

Nadien is door *OWS* een nieuw concept uitgewerkt met de naam *SORDISEP* (*SOR*ting, *DI*gestion and *SE*paration van huishoudelijk en industrieel afval) met als doelstelling de recuperatie van recycleerbare fracties en de productie van energie door middel van het *DRANCO* vergistingsproces. Een extra stap die hierbij wordt uitgevoerd is een natte scheiding na de vergisting. Dit uitgebreide voorbehandelingsysteem werd door de afdeling *PRODEM* van Vito uitgetest in een pilootinstallatie<sup>21</sup>. *Full scale* toepassingen zijn nog niet gerealiseerd. Dit systeem werd beschreven en geëvalueerd in de Vito-studie rond verwerking van huishoudelijk restafval.<sup>3</sup>



Figuur 16: Algemene voorstelling van het SORDISEP voorbehandelingsysteem

Op het schema wordt een procentuele verdeling van het afval over de verschillende fracties weergegeven. Ook in de eerder vermelde Vito-studie wordt een dergelijke massabalans weergegeven.<sup>3</sup>



*Figuur 17: Outputs van het SORDISEP voorbehandelingssysteem*

De toepasbaarheid van de natte nascheiding lijkt op dit moment onduidelijk. Het zou in de toekomst één van de sterke punten zijn van het voorbehandelingsconcept, omdat materiaalrecuperatie gemaximaliseerd wordt. Momenteel geeft de markt hieraan echter weinig prioriteit. Bovendien blijven twijfels rond de afzetbaarheid van restfracties bestaan zolang deze niet gedemonstreerd kan worden.

In deze context stelt OWS eerder een systeem voor waarbij de energierecuperatie wordt gemaximaliseerd door een alternatieve verwerking van het digestaat (de fracties die uit de vergistingsstap komen). Een mogelijk processchema dat in deze context werd voorgesteld, bestaat er in om het digestaat mechanisch te ontwateren om een DS-gehalte van 50% te bereiken en een calorische waarde van 6.5-8 MJ/kg en verder thermisch te drogen met de restwarmte van de biogasmotoren tot een hoogcalorisch RDF. Inerten worden afgescheiden, maar niet via een natte nascheiding<sup>3</sup>.

#### **b) Stand van de techniek**

Zoals reeds vermeld in de inleiding, zijn er enkel praktijkvoorbeelden waarbij de mechanisch-biologische voorbehandeling op basis van het *DRANCO* vergistingsproces wordt toegepast om het restafval voor te bereiden alvorens het gestort wordt. Van de *SORDISEP* technologie zijn momenteel geen voorbehandelingsinstallaties operationeel binnen Europa.

Een voorbeeld van een scheidings- en vergistingsinstallatie bevindt zich in het Duitse *Bassum* (*Niedersachsen*). Deze installatie verwerkt restafval (en slib) via een

gecombineerde anaërobe-aërobe behandeling. De installatie werd in juni 1997 opgestart. Scheiding van 60 000 ton restafval per jaar levert een RDF fractie, een < 80 mm fractie die verder aëroob wordt gestabiliseerd en een < 40 mm organische fractie van 11 000 ton per jaar die samen met slib (2 500 ton/jaar) wordt vergist. Deze verwerking heeft tot doel een maximale biologische verwerking en een minimaal storten. Verder is er een energierecuperatie op twee vlakken, enerzijds uit de organische fractie na vergisting en anderzijds uit de brandbare fractie die in een nabijgelegen thermische installatie wordt behandeld. Deze thermische installatie was in het verleden een roosteroven. Recente informatie is niet beschikbaar.

In Tabel 19 wordt een overzicht gegeven van alle bestaande scheidings- en vergistingsinstallaties in Europa voor de voorbehandeling van huishoudelijk of gelijkgesteld afval.

*Tabel 19: Bestaande scheidings- en vergistingsinstallaties volgens OWS-technologie ter voorbehandeling van huishoudelijk afval in Europa*

<b>Locatie</b>	<b>Verwerkingscapaciteit (ton per jaar)</b>	<b>Type afval</b>	<b>Startjaar</b>
Bassum, Duitsland	11 000	huishoudelijk restafval	1997
Kaiserslautern, Duitsland	20 000	huishoudelijk restafval	1999
Alicante, Spanje	30 000	gemengd afval	2002
Rome, Italië	40 000	gemengd afval	2003

Voor 2005 worden twee installaties gepland in Duitsland voor de verwerking van huishoudelijk restafval. Een installatie, in Hille, zal een mengeling van restafval en slib verwerken. De geplande capaciteit van de installatie is 38.000 ton/jaar. De tweede installatie, in Münster, heeft een geplande capaciteit van 24.000 ton/jaar voor de verwerking van 24.000 ton restafval<sup>20</sup>.

Naast deze full scale installaties zijn er ook enkele demonstratie installaties voor de verwerking van huishoudelijk restafval of gemengd afval. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van deze demonstratie installaties<sup>20</sup>.

<b>Locatie</b>	<b>Type afval</b>	<b>Startjaar</b>
Gent, België	gemengd afval/biologisch afval	1984
Florida, USA	gemengd afval	1989
Graz, Oostenrijk	gemengd afval	1990
Graincourt les Havrincourt, Frankrijk	huishoudelijk restafval	2004

### 2.1.2 Valorga International<sup>22, 23</sup>

*Valorga* is oorspronkelijk opgericht in 1981. *VALORGA INTERNATIONAL SAS* is in december 2002 opgericht. Het bedrijf is ontstaan uit het voormalige *Steinmüller Valorga Sarl* als gevolg van de overname van de aandelen door de bedrijven *TECMED* en *HESE*. Deze verandering heeft geen gevolgen voor de activiteiten van de groep.

*TECMED* is één van de belangrijkste spelers op gebied van dienstverlening met betrekking tot de verwerking van huishoudelijk afval in Spanje.

*HESE* is een Duits bedrijf dat gespecialiseerd is in de productie van voorbehandelingsinstallaties voor afval en in de levering van voorbehandelings technologieën op basis van vergisting.

Het *Valorga* proces is oorspronkelijk ontwikkeld voor de behandeling van organisch afval. Het is nadien aangepast voor de behandeling van gemengd huishoudelijk afval, de selectief ingezamelde fractie organisch afval en huishoudelijk restafval (na selectieve inzameling).

In geval van gemengd huishoudelijk afval, wordt de organische fractie (makkelijk afbreekbaar materiaal, papier en karton) eerst afgescheiden van het niet vergistbare materiaal. Deze restfractie kan apart behandeld worden, bijvoorbeeld door verbranding.

In onderstaande figuur (Figuur 18) worden de verschillende mogelijkheden van het *Valorga* proces weergegeven.



Figuur 18: mogelijke voorbehandelingsopties van het Valorga voorbehandelingsstelsel

De eerste optie komt overeen met de situatie te *Amiens*. De situatie in Vlaanderen komt wellicht eerder overeen met de derde optie, maar de restfractie zou niet gestort kunnen worden. In *Tilburg* staat een vergistings- en composteringsinstallatie volgens het *Valorga* procédé, waarbij op basis van selectief ingezameld GFT-afval hoogwaardige compost wordt geproduceerd.

#### a) Voorgeschiedenis van het Valorga proces

- 1982: een eerste pilootinstallatie met een vergister van 5 m<sup>3</sup> werd in Montpellier (Frankrijk) opgesteld voor de anaërobe vergisting van de organische fractie van huishoudelijk afval en een mengsel van substraten (vloeibare mest gemengd met huishoudelijk afval);
- 1986-1987: een pilootinstallatie met een vergister van 50 m<sup>3</sup> werd uitgetest in Vannes (Frankrijk) voor de anaërobe vergisting van een mengsel van substraten (organische fractie van huishoudelijk afval, vloeibare mest, waterzuiveringsslib);

- 1984-1990: een pilootinstallatie met een vergister van 500 m<sup>3</sup> werd uitgetest in *La Buisse* (nabij *Grenoble*, Frankrijk) voor de behandeling van 8 000 ton huishoudelijk afval;
- 1988: een pilootinstallatie met een vergister van 250 m<sup>3</sup> werd uitgetest door de universiteit van Luik voor de anaërobe vergisting van een mengsel van gecomposteerde stro en vloeibare mest.

Vanaf 1987 werden de eerste *full scale* behandelingsinstallaties gebouwd. De eerste industriële referentie is de voorbehandelingsinstallatie te *Amiens* (Frankrijk), die instaat voor de behandeling van 55 000 ton huishoudelijk afval per jaar.

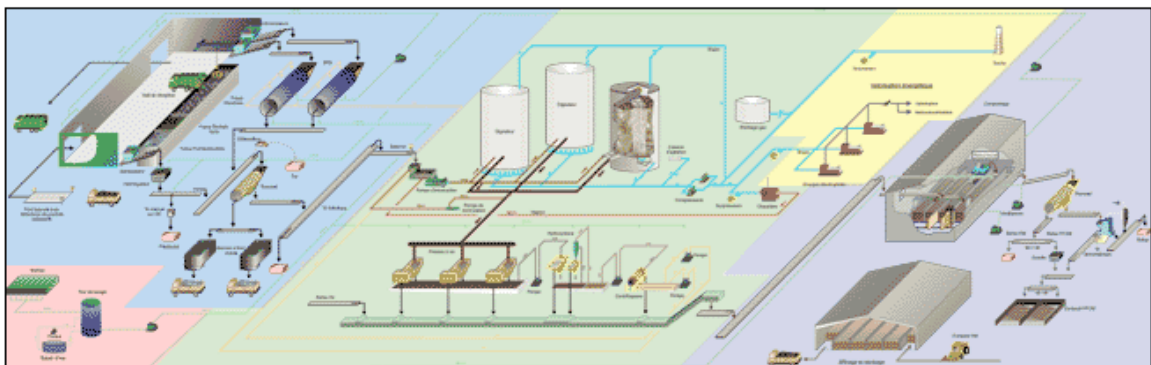
## b) Algemene procesbeschrijving

Een algemeen overzicht van het *Valorga* concept is weergegeven in Figuur 19.

Het *Valorga* proces laat toe om ca. 60% van het organisch materiaal af te breken en er biogas mee te produceren met een methaangehalte van ca. 55%. Wanneer ruw huisvuil wordt behandeld, is het volgens de technologieleverancier mogelijk om een deel van het digestaat als bodemverbeteraar te gebruiken. Volgens OVAM<sup>24</sup> echter zal dit digestaat niet voldoen aan VLAREA. In geval van restafval (waarbij ook het GFT-afval selectief is ingezameld) wordt ervan uitgegaan dat een deel van het digestaat, na stabilisatie, gestort wordt.

Volgende units kunnen onderscheiden worden:

- Ontvangsthal en mechanische voorbehandeling van het afval
- Anaërobe vergistingsunit
- Valorisatie van het biogas
- Aërobe nabehandeling van het digestaat en (zuivering van de compost)
- Luchtzuiveringsinstallaties



Figuur 19: Voorstelling van het *Valorga* voorbehandelingsstelsel

## c) Beschrijving van de deelprocessen

### *Ontvangst en mechanische voorbehandeling van het afval*

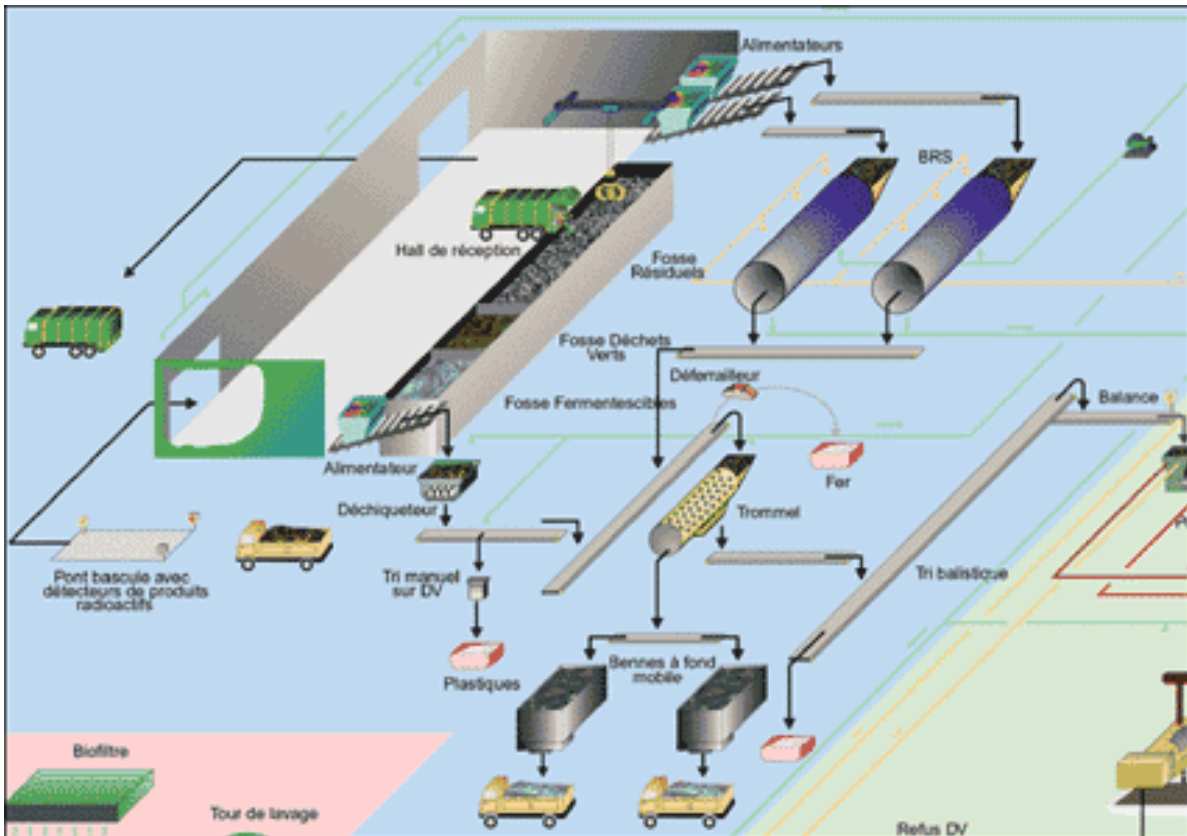
Volgende elementen zijn terug te vinden ter hoogte van de ontvangsthal en de voorbereidingsunit:

- Een weegbrug om de afvalwagens bij aankomst te wegen;



- Een gesloten onder- of bovengrondse ontvangsthal, van waaruit de vervuilde lucht wordt afgezogen;
- Een voorbereidingsysteem waarin het afval ondermeer op grootte gesorteerd wordt, waarbij de vuilniszakken geopend worden en waarbij het afval verkleind wordt;
- Transportsysteem om het gesorteerde product naar de vergistingsunit te brengen

In geval van ruw huishoudelijk afval of restafval wordt de mechanische voorbehandeling aangepast aan de samenstelling van het afval. Deze aanpassing gebeurt via een samenwerking met gespecialiseerde bedrijven.



*Figuur 20: Weergave van de ontvangst en de mechanische voorbehandeling volgens het Valorga voorbehandelingssysteem*

### *Anaërobe vergistingsunit*

In deze unit wordt de toegevoerde afvalfractie gemengd en gekneed tot een dikke brij met een hoog gehalte aan droge stof (20 tot 35% in functie van de soort van afval). De bedoeling is om het volume van het te vergisten materiaal te verkleinen. De nodige warmte wordt voorzien door stoominjectie. Het mengsel wordt in de vergisters gebracht met behulp van een zuigerpomp.

De vergisting zelf vindt plaats in vergisters onder anaërobe omstandigheden. De temperatuur waarbij de vergisting plaatsvindt, situeert zich ofwel in de mesofiele range (ca. 40°C) of in de thermofiele range (ca. 55°C).

De Valorga vergister is een verticale cilindrische vergister en het materiaal beweegt zich erin voort via een schroefbeweging. De vergister heeft een verticale binnenmantel op ca. 2/3de van zijn diameter. De openingen waardoor het materiaal wordt aangevoerd of

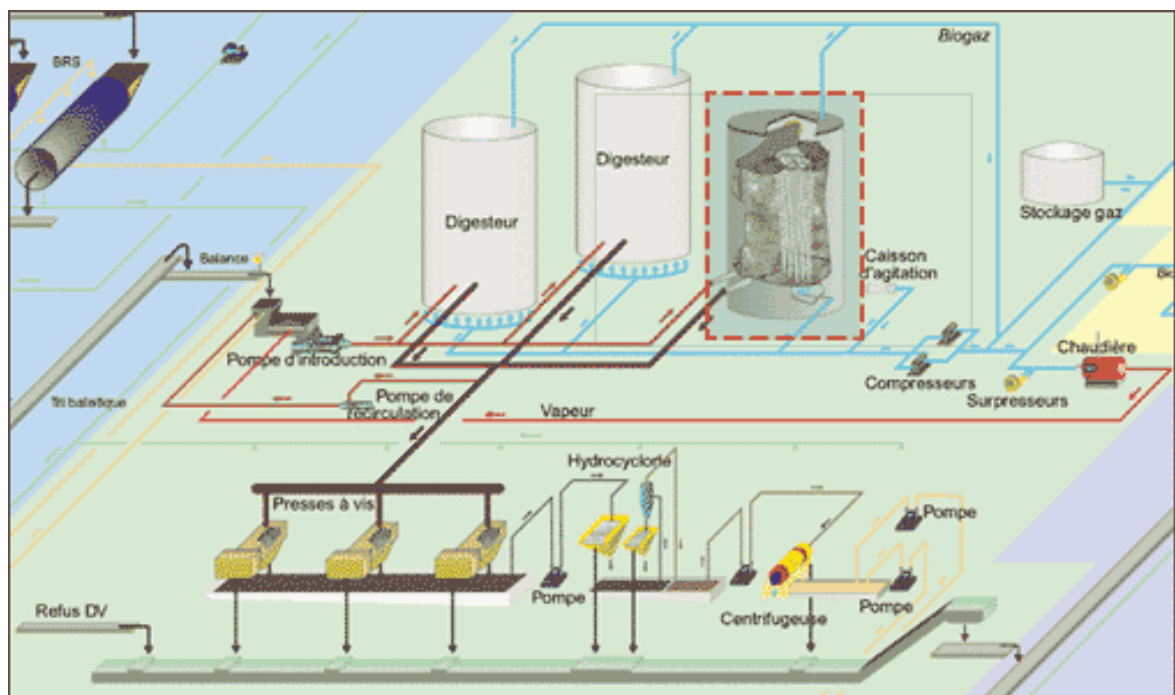


afgevoerd zijn gesitueerd aan beide uiteinden van deze binnenmantel (tussen de buitenste en de binnenste wand). Door de aanwezigheid van de binnenste mantel, moet het materiaal cirkelvormige bewegingen maken rond de binnenste mantel en zal het pas aan de andere kant de uitgang bereiken nadat het de ganse oppervlakte van de binnenste mantel bedekt heeft. Door deze werkwijze zal het materiaal minstens 3 weken in de vergister doorbrengen. Dergelijk lange verblijftijd zou noodzakelijk zijn om een perfecte hygiëniserende compost te verkrijgen (in het geval dat er compost wordt geproduceerd).

Om een optimale vergisting te kunnen verkrijgen, moet het materiaal in de vergisters gehomogeniseerd worden. Eén van de eigenschappen van het te vergisten materiaal is dat het schurend werkt tengevolge van de aanwezigheid van fijn inert materiaal. Om het evenwel mechanisch mengsysteem zou sterke slijtage ondergaan. *Valorga International* heeft een gepatenteerd pneumatisch mengsysteem om deze problemen te kunnen vermijden: biogas wordt onder druk in de vergisters geïnjecteerd ter hoogte van de basis van de reactor. Een ander voordeel van dergelijk mengsysteem is dat het onderhoudsvrij is. De reactoren moeten niet stilgelegd worden voor reinigings- en onderhoudswerken.

Het biogas, gebruikt voor het homogeniseren van het materiaal, wordt in een gesloten circuit onder druk gehouden.

Het vergiste materiaal verlaat de vergister onder invloed van de zwaartekracht. Daarna wordt het via een persing gescheiden in een vaste en een vloeibare fractie. De vloeibare slibfase wordt behandeld om de opgeloste partikels te verwijderen. Een deel van het opgeklaarde proceswater wordt gebruikt om het te vergisten materiaal te verdunnen. De rest wordt geloosd naar het afvalwatercircuit voor verdere behandeling. De vaste fractie heeft een droge stofgehalte van ca. 55% en gaat naar de aërobe nabehandelingseenheid. Ook de vaste partikels die uit het proceswater werden verwijderd, worden naar deze nabehandelingseenheid gestuurd.

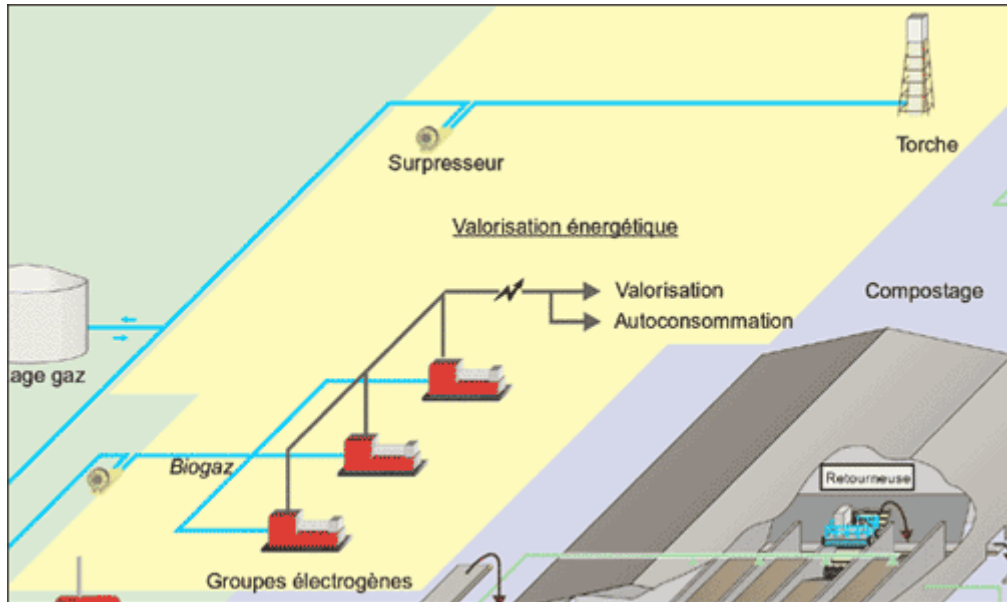


Figuur 21: Weergave van de anaërobie vergistingsstap volgens het Valorga voorbehandelingssysteem

### Valorisatie van het biogas

Het geproduceerde biogas kan voor volgende toepassingen gebruikt worden:

- De productie van stoom;
- De productie van elektriciteit en warmte;
- Alle toepassingen van aardgas, op voorwaarde dat het biogas eerst gezuiverd wordt.



*Figuur 22: Weergave van de valorisatie van het biogas volgens het Valorga voorbehandelingssysteem*

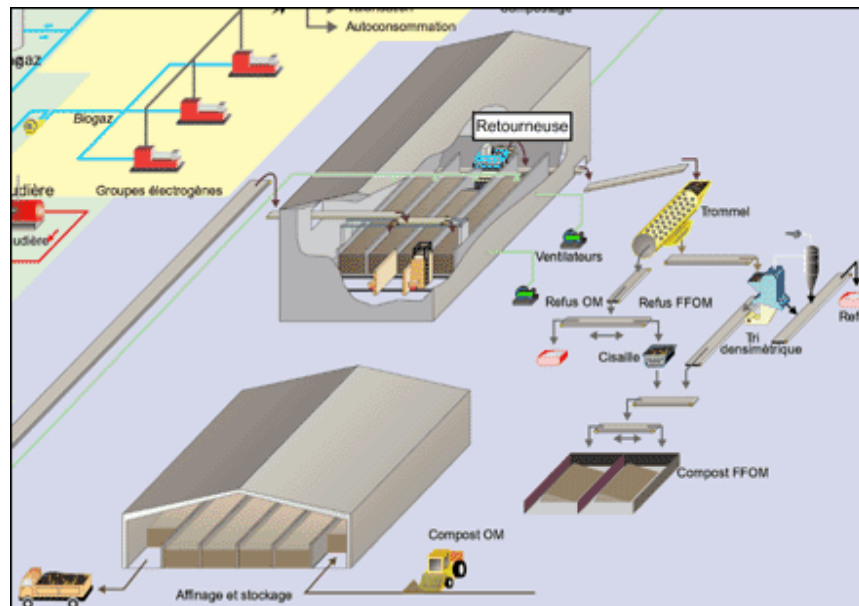
### *Aërobe nabehandeling van het digestaat en (zuivering van de compost) en luchtzuiveringsinstallatie*

In een gesloten gebouw met luchtafzuiging wordt het digestaat enkele weken opgeslagen. Het product kan eventueel automatisch gemengd worden of kan onderworpen worden aan een geforceerde beluchting. De nabehandeling is afhankelijk van de eisen die aan het eindproduct worden gesteld (voorbeeld compost).

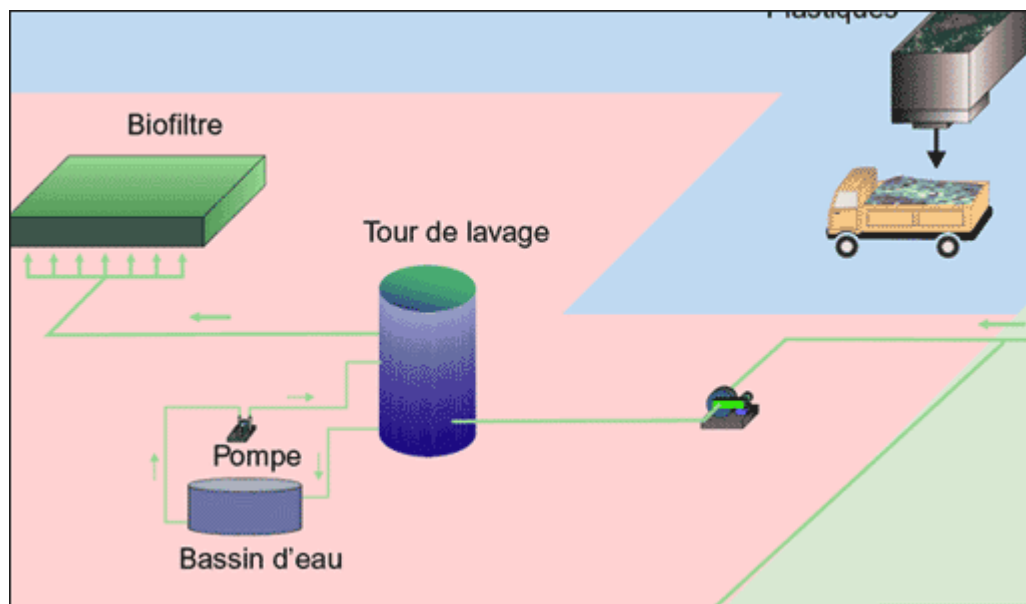
Het product kan een mechanische nascheiding (trommel en/of steenzeef) ondergaan om eventueel ongewenste componenten te verwijderen.

Wanneer het product als bodemverbeteraar wordt gecommercialiseerd, wordt het gestockeerd en geconditioneerd.

In deze unit is een biofilter geïmplementeerd voor de behandeling van de afgezogen lucht van de unit zelf, maar ook van de ontvangsthal, de mechanische voorbehandeling en de vergistingseenheid.



Figuur 23: Weergave van de aërobe nabehandelingsstap van het digestaat volgens het Valorga voorbehandelingsysteem



Figuur 24: Weergave van de luchtzuiveringsinstallatie van het Valorga voorbehandelingsysteem

#### a) Stand van zaken

VALORGA beweert wereldwijd marktleider te zijn op het gebied van de behandeling van huishoudelijk afval (in de brede zin van het woord) via vergisting. In 2003 werd meer dan 2 000 kton huishoudelijk afval behandeld met het Valorga proces. Volgens de studie van RW Beck, 2004 is Valorga de nummer twee van de wereld wat betreft de hoeveelheid vaste organische fractie die wordt verwerkt. De totale hoeveelheid die jaarlijks wordt verwerkt in de 10 Valorga installaties is 833.250 ton<sup>25</sup>.

In Tabel 20 worden enkel de referenties opgenomen waarbij ruw of geselecteerd huishoudelijk afval wordt behandeld. Installaties die enkel de selectief ingezamelde organische fractie van huishoudelijk afval of andere organische afvalstromen behandelen, worden niet beschreven. Dergelijke referenties zijn niet relevant in het kader van deze studie. Er zijn geen *full scale* installaties operationeel in omstandigheden die volledig vergelijkbaar zijn met Vlaanderen.

De eerste *full scale* installatie volgens het *Valorga*-systeem ging in 1987 in werking te *Amiens* (Frankrijk). Het gaat om de behandeling van de restfractie van selectief ingezameld afval, inclusief keukenafval (zie Figuur 25). Jaarlijks wordt 55 000 ton afval behandeld. Vanaf 1994 wordt het huishoudelijk afval van het naburige *Abbeville* eveneens behandeld, waardoor jaarlijks 70 000 ton huishoudelijk afval werd behandeld. In 1996 werd de installatie uitgebreid met een 4de vergister, waardoor de verwerkingscapaciteit toenam tot 85 000 ton per jaar.

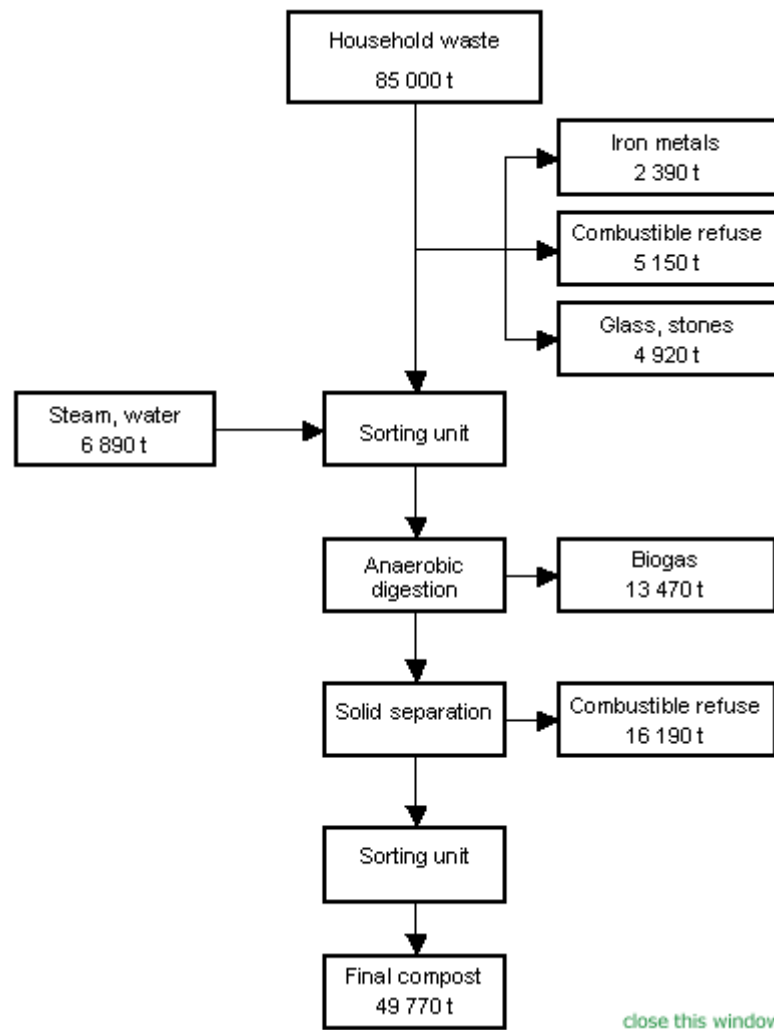
*Amiens* voorziet een selectieve inzameling van het huishoudelijk afval, maar niet van GFT-afval. In de containerparken wordt wel tuinafval aanvaardt, maar niet keukenafval. Hierdoor is de kans groot dat de afvalsamenstelling met betrekking tot de organische fractie afwijkt van deze in Vlaanderen;

Het huishoudelijk afval wordt mechanisch voorgesorteerd. Een ijzerfractie, een hoogcalorische fractie en een fractie inerten (glas en stenen) worden mechanisch afgescheiden vooraleer het afval naar de anaërobe vergisters gaat;

De verblijftijd in de vergister bedraagt 18-22 dagen. De biogasopbrengst bedraagt 140-160 Nm<sup>3</sup>/ton vergiste afvalfractie en 220-250 Nm<sup>3</sup>/ton TVS (*Total Volatile Solids*). Het geproduceerde biogas bevat 55% methaan. Het wordt gevaloriseerd via de productie van hoge druk stoom voor industrieel gebruik (5 500 kW).

Er staat eveneens een proefinstallatie voor de aërobe stabilisatie van het digestaat. Na deze stabilisatie wordt de brandbare fractie nog afgescheiden, zodat een ruwe compost overblijft. Na zuivering kan deze compost gebruikt worden als bodemverbeteraar in de landbouw.

De massabalans voor de installatie van *Amiens* is weergegeven in Figuur 25.



*Figuur 25: massabalans voor de Valorga voorbehandelingsinstallatie te Amiens (Frankrijk)*

Voor de overige installaties is de beschikbare informatie minder uitgebreid. Alle beschikbare gegevens zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 20: Overzicht van de bestaande en geplande installatie binnen Europa volgens het Valorga voorbehandelingssysteem

	Startdatum	Verwerkingscapaciteit	Droge stofgehalte afval	Verblijfsduur vergisting	Biogas opbrengst	Toepassing biogas
		ton/jaar	%	Dagen	Nm <sup>3</sup> /ton ingebracht materiaal	
Amiens (Frankrijk)	1987 (extra vergister in 1996)	85 000 restafval, inclusief GF-fractie	60%	18-22	140-160	Hoge druk stoom voor industrieel gebruik
Bergen (België)	eind 2000	60 000 selectief ingezameld huishoudelijk afval (36 000 GFT)	onbekend	25 (minimum)	110-120	Electriciteits- en warmteproductie
La Curuña (Spanje)	eind 2001	185 000 ruw huishoudelijk afval (na mechanische behandeling nog 142 000)	onbekend	16-20	130-150	Elektriciteits- en warmteproductie
Cadiz (Spanje)	eind 2000 was de verwachte opstart nu nog steeds niet duidelijk wanneer de installatie wordt/werd op(ge)start 2003/4	210 000 ruw huishoudelijk afval (na mechanische behandeling nog 115 000)	onbekend	25	145	Elektriciteits- en warmteproductie
Varenes-Jarcy (Frankrijk)	eind 2002	100 000 ruw huishoudelijk afval (30 000 GFT)	onbekend	25 (minimum)	154	Elektriciteitsproductie
Bassano (Italië)	2004	44 200 ruw huishoudelijk afval, 8 200 GFT-afval en 3 000 zuiveringsslib	50.8%	33	129	Elektriciteitsproductie
Barcelona-Ecopark II (Spanje)	2003 (verwachte start)	300 000 ruw huishoudelijk afval (na mechanische scheiding nog 120 000)	42%	25	114	Elektriciteitsproductie

In La Curuña werd de mechanische voorbehandelingstechnologie voorzien door *Innovative Umwelttechnik*. Deze mechanische voorbehandeling bestaat uit een *BASEP-2000* (zie 5.2.2. BASEP 2000, pagina 133).

### 2.1.3 Linde-KCA-Dresden GmbH: droge vergisting<sup>26</sup>

*Linde-KCA-Dresden GmbH* is een dochteronderneming van *Linde AG, Wiesbaden*. Deze onderneming heeft in het verleden de technologieën en de ervaring van *Austrian Energy & Environment* met betrekking tot mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen overgenomen. Ze noemen zichzelf een marktleider op dit gebied. Het bedrijf ontwikkelt en bouwt behandelingsinstallaties voor verschillende soorten afvalstromen. Hierbij is er keuze tussen verschillende vergistingsprocessen en composteringsprocessen.

Voor volgende soorten afval kan *Linde-KCA-Dresden* een voorbehandelingssysteem ontwikkelen en bouwen:

- Biowaste van selectieve inzameling
- Restafval
- Gemengd afval/huishoudelijk afval
- Met huishoudelijk afval gelijkgesteld industrieel afval
- Keukenafval
- Marktafval
- GFT-afval
- Dierlijke mest
- Afvalwaterzuiveringsslib

Op gebied van vergisting, kan er een onderscheid gemaakt worden tussen droge en natte vergisting.

#### a) Procesbeschrijving en stand van zaken voor de droge vergisting

Droge vergisting is een thermofiel of mesofiel proces waarbij gebruik gemaakt wordt van horizontale propstroomreactoren met rechthoekige doorsnee.

De vergister is normaal gezien voorzien van een aërobe voorbehandeling voor hydrolyse en een systematische aanzuring. De vergister is ontworpen voor de behandeling van afval met een totaal droge stofgehalte van 15-45% ter hoogte van het vergistingssubstraat. Met dit proces kunnen ook organische afvalstromen behandeld worden, zoals GFT-afval, maar het vooral zeer geschikt voor de behandeling van afvalstromen met een hoog gehalte aan droge stof, zoals huishoudelijk restafval of gemengd huishoudelijk afval. Voor deze techniek wordt enkel een voorbeeld gegeven van de verwerking van organische afvalstromen + industrieel afval in *Lemgo* (Duitsland). Er is geen praktijkvoorbeeld beschikbaar met betrekking tot de behandeling van huishoudelijk (rest)afval.

## 2.2 Systemen bestaande uit een combinatie van een mechanische voorbehandeling en een natte vergisting van de organische fractie

### 2.2.1 U-Plus Umweltservice AG<sup>27,28,29</sup>

Deze voorbehandelingstechniek is gebaseerd op een natte vergisting die voorafgegaan wordt door een hydrolysestap.

#### a) Omkadering

*U-Plus Umweltservice AG*, kortweg de *U-Plus* groep, groepeert alle afvalgerelateerde activiteiten binnen *Energie Baden-Württemberg AG (EnBW)*, dat eveneens het *Thermoselect* proces heeft ontwikkeld (waarvan de eerste commerciële installatie in *Karlsruhe* is opgestart).

De *U-Plus* groep biedt een volledig dienstenpakket aan voor lokale overheden die bevoegd zijn voor de afvalverwerking:

- Zoeken naar een geschikte locatie
- Vergunningsprocedure succesvol doorlopen
- Planning en financiering
- Bouw van de installaties
- Uitbaten van de installaties

Met betrekking tot de mechanisch-biologische voorbehandeling bieden ze het *ISKA*<sup>®</sup>-concept aan. De afkorting *ISKA* staat hier voor *Integrierte Stoff- und Kunden-orientierten Abfallwirtschafts-Konzept* ofte Geïntegreerd materiaal- en klantgericht afvalmanagementconcept.

Toepassing van het concept zorgt ervoor dat het volume van het huishoudelijk restafval tot ca. de helft teruggebracht wordt met behulp van een mechanisch biologische voorbehandeling die gebruik maakt van percolatie.

De volumereductie wordt bereikt door afscheiding van hergebruikbare componenten (metalen en inertien), door aërobe (percolatie) en anaërobe (vergisting) afbraakprocessen en door intensieve mechanische ontwatering.

Een belangrijk deel van het afval kan gerecupereerd worden als RDF.

Wanneer een extra nabehandeling wordt uitgevoerd op de hoogcalorische fractie, kan het volume hiervan verder gereduceerd worden. Deze nabehandeling bestaat in het drogen en stabiliseren van de afgescheiden fracties voor RDF-productie.

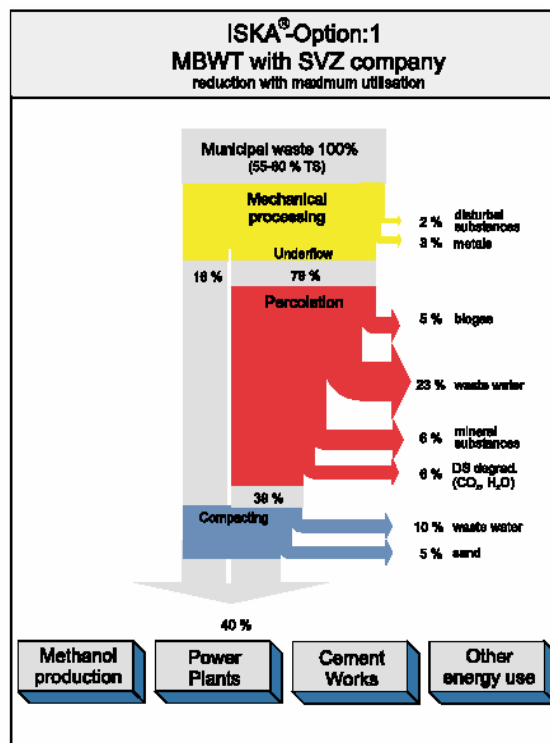
Toepassing van het *ISKA*<sup>®</sup>-concept heeft volgens de *U-plus* groep een belangrijk voordeel omdat toepassing van het concept zeer weinig ruimte in beslag neemt. Het afval wordt immers gedurende een relatief korte periode voorbehandeld in vergelijking met andere mechanisch-biologische voorbehandelingstechnieken op basis van een biogasproductie via vergistingsprocessen. De biologische behandeling gebeurt daarenboven in zeer compacte installaties.



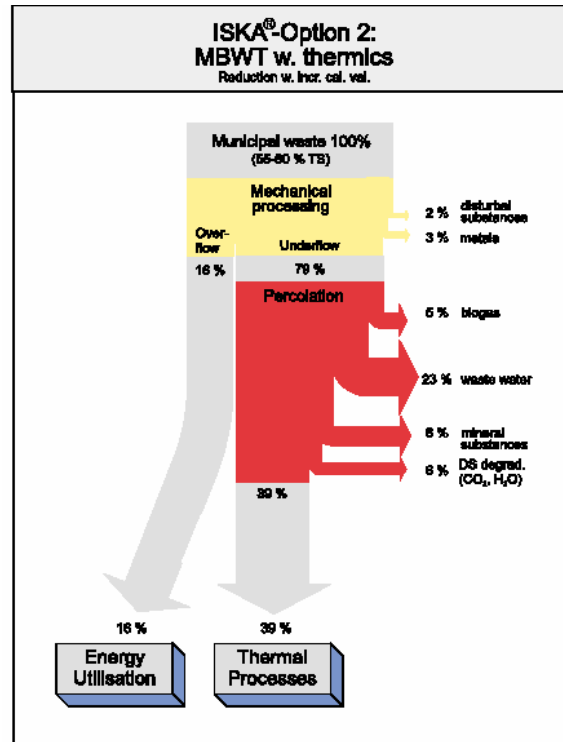
ISKA<sup>®</sup>-concept is uitgerust met een zeer innovatief luchtreinigingssysteem waardoor de luchtemissies zeer laag zijn.

Het ISKA<sup>®</sup>-concept bestaat in verschillende varianten. Er zijn 3 zogenaamde basisopties (zie Figuur 26 en Figuur 27):

- Optie 1: Maximalisatie van het hergebruik van het afval voor materiaal- of energierecuperatie
- Optie 2: Maximale reductie van het afval vóór verbranding in een afvalverbrandingsoven
- Optie 3: Maximale reductie + hygiënisatie van het afval vóór storten.



*Figuur 26: optie 1 van het ISKA-concept: maximalisatie van het hergebruik van het afval voor materiaal- of energierecuperatie*



*Figuur 27: optie2 van het ISKA-concept: maximale reductie van het afval alvorens verwerking in een afvalverbrandingsoven*

Enkel de eerste twee opties zijn relevant in het kader van het Vlaams Afvalstoffenbeleid.

In de eerste optie wordt ernaar gestreefd om een zo klein mogelijk deel van het afval te verwijderen via één van de conventionele wegen. Afvalverbranding wordt bij deze conventionele verwijderingstechnieken gerekend. Storten uiteraard ook. Hierbij worden beide hoofdstromen van de voorbehandeling verder behandeld tot *Refuse Derived Fuel* (RDF). De twee hoofdstromen zijn de hoogcalorische stroom die ter hoogte van de mechanische voorbehandeling wordt afgescheiden en de reststroom die uit het percolatieproces komt. De resulterende RDF kan in Duitsland ondermeer ingezet worden in *SVZ Schwarze Pumpe* waar het vergast wordt voor de productie van methanol. Andere toepassingsmogelijkheden zijn elektriciteitscentrales en klinkerovens. De nabehandeling van de twee hoofdstromen is afhankelijk van de toepassing van de RDF.

In de tweede optie wordt gestreefd naar een optimale benutting van het afval via thermische behandelingstechnieken. Streefdoelen zijn een massareductie en het homogeniseren van het restmateriaal zodat het geschikt is voor thermische verwerking. De hoogcalorische fractie die ter hoogte van de mechanische scheiding wordt afgescheiden, kan ingezet worden voor coverbranding ter hoogte van industriële processen of ter hoogte van elektriciteitscentrales. Deze voorbehandeling leidt tot lagere verwerkings/verwijderingskosten.

Het verschil tussen optie 1 en optie 2 bestaat erin dat de twee brandbare fracties binnen de eerste optie behandeld worden tot één homogene RDF fractie. Hierbij wordt voor een deel ontwaterd en wordt een zandfractie afgescheiden. In optie 2 worden beide brandbare fracties apart ingezet. De hoogcalorische fractie kan ingezet worden voor coverbranding, terwijl de restfractie van de percolatie enkel in verbrandingsovens kan verwerkt worden.

## b) Voorgeschiedenis van het ISKA®-concept

Het voorbehandelingsconcept op basis van percolatie vindt zijn oorsprong in 1978 (Gosch) wanneer een behandelingsinstallatie ontwikkeld was die streefde naar een versnelde afbraak van organische stoffen in een *Reaktordeponie*. In een eerste stap werd het vaste afval aan een hydrolyse onderworpen. De ontstane oplosbare afvalproducten werden opgenomen in de toegevoegde waterfase, waaruit in een aansluitende anaërobe reactor biogas en bacteriemassa werd geproduceerd.

Dit concept werd in de jaren '80 door *Rijkens* (1981) en *Hofenk et al.* (1985) verder ontwikkeld en geoptimaliseerd voor de behandeling van organisch afval (GFT-afval, slachtafval, mest, ...). Het resultaat hiervan is de bouw van twee *full scale* installaties: de zogenaamde *ANM-installatie* in Genderkesee, Duitsland (3 000 ton biologische afval per jaar) en de *Prethane-Rudad-installatie* in Breda, waarin afval van groenten behandeld wordt.

*Weilinger* en *Suter* (1986) en *Widmer et al.* (1985) hebben verder onderzoek uitgevoerd naar de afbraak van organisch afval in 2 stappen en 2 fasen (vaste mest, markt- en slachtafval). Dit onderzoek heeft uitgewezen dat de extractie van vergistbare organische stoffen -en dus ook de biogasproductie- verbeterd kon worden door een beluchting van de percolatiereactor en door de implementatie van een roerwerk in de reactor.

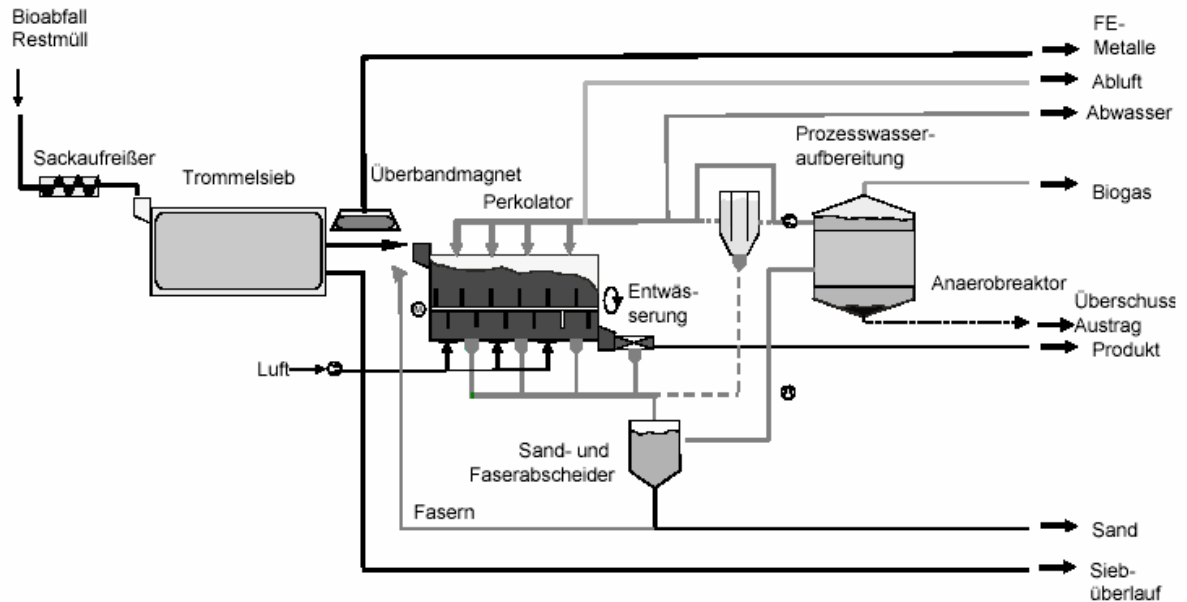
In 1998 hebben *Weilinger* en *Widmer* via een laboratoriumopstelling en pilootinstallatie aangetoond dat het behandelingsconcept op basis van percolatie toepasbaar is op restafval. In 1997 werd een eerste mobiele pilootinstallatie geïnstalleerd te Ravensburg. Deze had een capaciteit van 500 ton/jaar. Tengevolge van de positieve ervaringen met deze pilootinstallatie werden in 2000 en 2001 demonstratieprojecten opgestart, respectievelijk in *Buchen* en *Ringsheim* (Duitsland). Beide installaties hebben een capaciteit van ca. 25 000 ton/jaar afval. In het geval van *Buchen* gaat het om de behandeling van *gesamtmüll*, van ruw huishoudelijk afval. In deze regio wordt niet aan selectieve inzameling van organisch afval gedaan. Nochtans wijkt de huisvuilsamenstelling weinig af van de gemiddelde samenstelling van restafval in Duitsland bij selectieve inzameling van de organische fractie. Daarom wordt ervan uitgegaan dat de resultaten van deze demonstratie-installatie in grote lijnen representatief zijn voor de verwerking van restafval in Duitsland.

## c) Algemene beschrijving van het proces

Over de twee relevante opties heen zijn volgende processtappen te onderscheiden:

- Mechanische voorbehandeling;
- Biologische voorbehandeling:
  - Percolatie = aërobe behandeling;
  - Ontwatering van de vaste fase;
  - Vergisting van de vloeibare fase = anaërobe behandeling;
  - Behandeling van het proceswater;
- Afvalwaterzuivering;
- Luchtreinigingssysteem;
- Omzetting van het biogas;
- Nabehandeling van de brandbare fracties:
  - Conditionering/compressie;

Deze verschillende processtappen, exclusief de nabehandeling van de brandbare fracties (uit optie 1) zijn terug te vinden in het processchema van de demonstratie-installatie te *Buchen* (Duitsland) (Figuur 28).



Figuur 28: Algemene voorstelling van het ISKA voorbehandelingsysteem

#### d) Bespreking van de deelprocessen

##### *Mechanische voorbehandeling*

Huishoudelijk restafval + gelijkgesteld bedrijfsafval wordt afgezet in de gesloten ontvangsthal van het percolatiegebouw. Grote ongewenste objecten (zoals matrassen en tapijten) worden verwijderd met mobiele machines. Daarna wordt het afval gemengd en worden de vuilniszakken geopend. Een trommelzeef verdeelt het afval in twee stromen:

- Een onderste stroom die aangerijkt is aan organisch materiaal en die naar de biologische behandelingseenheid wordt gestuurd;
- Een bovenste stroom die bestaat uit hoogcalorisch materiaal. Afhankelijk van de gekozen optie wordt deze stroom direct gebruikt als RDF-fractie of wordt deze verderop - samen met de reststroom van de percolatie- verder verwerkt als secundaire brandstof *C-Plus*<sup>®</sup>.

Via magnetische scheiding worden ferro-metalen uit beide fracties verwijderd.

Optioneel kan uit de onderste stroom de minder snel afbreekbare fractie organisch materiaal worden verwijderd via *shredding*. Het gaat om de fractie die via het percolatieproces niet voldoende kan worden afgebroken. Deze stroom kan rechtstreeks naar de nabehandeling van de RDF-fractie worden gestuurd.

### *Biologische behandeling*

- Percolatie:

De percolatiestap van de biologische voorbehandeling bestaat in een aërobe behandeling van de fractie rijk aan organisch materiaal. Door een combinatie van aërobe afbraakprocessen en fysische afbraakprocessen wordt het vergistingspotentieel van de organische fractie verhoogd.

De percolator is een horizontale, cilindrische reactor met een hydraulisch aangedreven centrale as en een hydraulisch aangedreven schraper die over een rooster is aangebracht. Oplosbare stoffen worden in de vloeibare fase opgenomen binnen de twee dagen. Dit wordt bewerkstelligd door toevoeging van circulerend proceswater en continu mechanisch schudden. De input van perslucht en de bacteriële afbraakprocessen zorgen voor een hydrolyse van het afbreekbare organisch materiaal. Dit zorgt ervoor dat meer en meer organisch materiaal in oplossing wordt gebracht.

Het proceswater met een hoog gehalte aan organisch materiaal verlaat de percolator via een rooster. De vaste materialen worden aan een schroefpers gevoed die instaat voor de ontwatering van deze fractie.

- Ontwatering van de vaste fase

De schroefpers brengt het vaste stofgehalte van de vaste fase op zo'n 60%. Het gerecupereerde water wordt toegevoegd aan het proceswater van de percolator. De ontwaterde vaste fractie kan rechtstreeks verbrand worden in een klassieke verbrandingsinstallatie of kan -samen met de bovenste hoogcalorische stroom- verder verwerkt worden tot de secundaire brandstof *C-Plus*<sup>®</sup>.

- Vergisting van de vloeibare fase

Voordat de vloeibare fase wordt vergist, worden minerale componenten (zand, grint, glas) en vezels verwijderd uit het proceswater met behulp van sedimentatie en een vezelzeef. De minerale fracties worden gewassen en uit het proces genomen en de vezels worden opnieuw in de percolator gebracht voor verdere afbraak. Het proceswater wordt anaëroob vergist in een hoge snelheid vergister. Deze bestaat uit een combinatie van een vast bed reactor en een wervelreactor. Het vergistingsproces vormt ca. 40-50 Nm<sup>3</sup> biogas per ton huishoudelijk restafval. Omdat het biogas een hoog methaangehalte heeft, kan het rechtstreeks gebruikt worden in een gasmotor voor de productie van elektriciteit en warmte. Het vergiste proceswater wordt terug naar de percolator gebracht als proceswater.

De *Technische Universität Braunschweig* heeft meegewerkt aan de ontwikkeling van het *ISKA*<sup>®</sup>-concept. Ze hebben ondermeer onderzoek gedaan naar de optimalisatie van de vergistingsstap van het proceswater. Deze optimalisatie wordt aan de ene kant bepaald door het vergistingspotentieel van de organische fractie van het huishoudelijk afval en aan de andere kant door het energieverbruik van de ganse installatie. Een hogere vergistbare fractie zou bijvoorbeeld kunnen behaald worden door verder doorgedreven voorbehandeling van de onderste stroom uit de mechanische voorbehandeling. De beschikbare technieken om deze stroom verder te verkleinen en verder te scheiden vragen echter een belangrijke energie-input.

### *Behandeling van proceswater*

Een deel van het proceswater, dat circuleert in het ganse systeem, wordt afgeleid naar een biologische waterzuiveringsunit (nitrificatie en denitrificatie). Dit is nodig om het stikstofgehalte in het proceswater binnen de juiste range te kunnen houden. Het actief slib, dat door deze biologische zuivering wordt geproduceerd, wordt gedeeltelijk hergebruikt en wordt uiteindelijk afgebroken in de vergistingsinstallatie.

### *Afvalwaterzuivering*

Na initiatie is het ganse percolatieproces praktisch volledig zelfvoorzienend in water. Het water van de ontwatering van de vaste fase en de condensatie van water uit de afvallucht zijn voldoende om de percolator te kunnen voeden. Surplus water wordt geloosd na nitrificatie en denitrificatie. Vooraleer het geloosd wordt, wordt het ontdaan van vaste partikels en organische pollutanten door toepassing van ultrafiltratie en actief koolfilters.

### *Luchtzuivering*

De gebouwen zijn gesloten en er heerst een onderdruk. Alle procesdelen met een belangrijke geuroverlast worden gesloten gehouden en zijn uitgerust met een luchtafzuiging ter hoogte van de geurbron. Tengevolge van de compactheid van de installaties en omdat de ganse biologische behandeling in gesloten omstandigheden functioneert, moet slechts een zeer beperkt debiet afvallucht behandeld worden. Daarenboven wordt een selectieve luchtzuivering toegepast. Dit is mogelijk omdat de afgassen met een lage geurbelasting gescheiden zijn van de afgassen met een hoge geurbelasting.

- Afgassen met een lage geurbelasting kunnen gezuiverd worden in een zure natte wasser en hierop aangesloten een biofilter met hoge efficiëntie.
- Afgassen met een hoge geurbelasting kunnen gezuiverd worden in een zure natte wasser en hierop aangesloten een thermische behandelingsinstallatie in overeenstemming met de lokale emissiegrenswaarden.

### *Nabehandeling van de brandbare fracties*

De bovenste hoogcalorische fractie van de mechanische voorbehandeling kan samen met de ontwaterde vaste stroom van de percolatie geconditioneerd en samengeperst worden tot de secundaire brandstof *C-Plus*<sup>®</sup>, om te kunnen gebruikt worden voor welbepaalde toepassingen. Deze nabehandeling bestaat voornamelijk uit *shredding*, drogen, sorteren en comprimeren.

#### **e) Bespreking van de procesoutputs**

*De hoogcalorische fractie uit de mechanische voorscheiding en de ontwaterde vaste fractie uit de percolatie*

*C-Plus*<sup>®</sup> is een beschermde merknaam voor het RDF dat geproduceerd wordt via het *ISKA*<sup>®</sup>-proces volgens optie 1. Hierbij worden beide brandbare stromen nabehandeld. De chemische en fysische eigenschappen van het RDF kunnen tot op zekere hoogte aangepast

worden aan de verschillende kwaliteitseisen die gesteld worden aan de toepassing van secundaire brandstoffen voor industriële coverbranding. Dankzij de compressie van het RDF kan *C-Plus*<sup>®</sup> gebruikt worden in vergassingsinstallaties zoals *SVZ Schwarze Pumpe* voor de productie van methanol.

Zonder de nabehandeling kan de RDF-fractie in verbrandingsovens verwerkt worden.

### *Inerten*

De inerte materialen (zand, stenen, glas en dergelijke) worden afgescheiden uit het proceswater na percolatie en worden vervolgens gewassen. De eigenschappen van deze inerten voldoen aan de grenswaarden voorgeschreven door het Duitse Z2 criterium van de Duitse *LAGA* voorschriften. Dit betekent dat ze in Duitsland gebruikt kunnen worden in de wegenbouw of gestort kunnen worden op een stortplaats voor bouwafval.

### *Biogas*

Het geproduceerde biogas is van zeer goede kwaliteit en heeft een hoog methaangehalte (>65%) en kan ingezet worden in een biogasmotor zonder voorgaande zuivering.

### *Metalen*

De ferro-metalen die gerecupereerd worden tijdens de mechanische voorbehandeling, zijn in zeker mate vervuild. Normaal gezien wordt deze fractie aanvaard als schroot voor recyclage.

De metalen die gerecupereerd worden tijdens de nabehandeling van de brandbare fracties zijn niet vervuild en zijn geschikt voor recyclage.

## **f) Emissies**

### *Lucht*

De toegepaste luchtzuiveringstechnieken zijn aangehaald ter hoogte van de procesbeschrijving. Hierdoor kan aan alle voorschriften van de Duitse *30.BimSchV* voldaan worden.

### *Geluidsoverlast*

De geluidsemissies liggen een stuk onder de grenswaarden van de Duitse *TA Lärm* voorschriften. Alle eenheden die voor geluidsoverlast kunnen zorgen, zijn geïnstalleerd in gesloten cabines. De geluidsniveaus liggen eveneens binnen de Duitse *MAK* grenswaarden.

### *Afvalwater*

De besproken afvalwaterzuivering (ultrafiltratie, actief kooladsorptie) is noodzakelijk om aan de Duitse lozingsgrenswaarden te kunnen voldoen.

### **g) Energiebalans**

Er zijn geen gegevens beschikbaar met betrekking tot de energiebalans van het ganse voorbehandelingsconcept. Er wordt wel aangehaald dat de optimalisatie van de vergisting en dus de biogasproductie niet alleen rekening houdt met het vergistingspotentieel van het te behandelen afval, maar ook met de energie-input nodig om een hogere biogasproductie te kunnen bekomen.

### **h) Kosten**

Er is geen informatie beschikbaar met betrekking tot de kosten van deze voorbehandelingstechniek. Er wordt enkel kort aangehaald dat het gaat om een competitieve kostprijs voor een voorbehandelingstechniek.

### **i) Stand van zaken**

In 2000 is een pilootinstallatie te Buchen (Baden-Württemberg) van start gegaan. De daaropvolgende jaren werd deze installatie verder verfijnd. Vanaf 2003 wordt de technologie commercieel aangeboden.

In februari 2003 heeft de *U-Plus gruppe* een contract gesloten met de Duitse districten *Ludwigsburg*, *Enzkreis* en *Rottweil* voor een periode van 15 jaar. De bestaande pilootinstallatie te *Buchen* wordt uitgebreid tot een capaciteit van 150 000 ton/jaar. Het gaat om een totale investering van 200 mio € en er worden hierbij 20 jobs gecreëerd.



### 2.2.2 Vagron<sup>30, 31</sup>

In 1987 is in Nederland besloten dat onbehandeld afval niet langer provinciegrenzen mag overschrijden. Omdat deze beslissing verschillende gemeenten in Groningen in de problemen bracht, werd een samenwerkingsverband opgericht tussen 8 gemeenten in centraal Groningen om voor dit probleem een oplossing te zoeken. Het samenwerkingsverband draagt de naam *Afvalverwijdering Regio Centraal Groningen* (ARCG) en één van de doelstellingen die voor ogen werd gehouden bij het zoeken naar een oplossing was het maximaliseren van het hergebruik van de verschillende deelstromen van het afval.

In het kader van deze problematiek werd in 1987 een contract afgesloten met *VAGRON-INDUSTRIAL*. *VAGRON* is de gezamenlijke dochteronderneming van *nv VAM* (nu deel van *Essent Milieu BV*) en *Grontmij nv*. In het kader van het contract tussen *ACRG* en *VAGRON-INDUSTRIAL* werd het *VAGRON* vergistingsprocédé ontwikkeld en werd de *VAGRON* voorbehandelingsinstallatie gebouwd.

In 1996 werden contracten gelegd met gelijkaardige samenwerkingsverbanden van Zuid-Oost Groningen en Noord-Oost Groningen. Ook het afval van deze gemeenten wordt ondertussen behandeld in de *VAGRON* installatie.

In de beginfase van de exploitatie kende de *VAGRON* installatie verschillende technische problemen. De installatie heeft tijdelijk stilgelegen en aan een lagere capaciteit gewerkt tengevolge van deze problemen en de daaropvolgende aanpassingen die gemaakt zijn aan de installatie. Ondertussen zouden de kinderziekten verleden tijd zijn en zou de voorbehandelingsinstallatie opnieuw op volle capaciteit werken.

Dor deze technische problemen kreeg *VAGRON* eveneens te maken met financiële problemen. Hierdoor bleek het nodig om tariefsverhogingen door te voeren en leningen aan te gaan. Daarenboven bleek in 2003 dat één van de moedermaatschappijen, *Essent Milieu BV*, gesaneerd moet worden. *Essent* zou te kampen hebben met een onderbezetting van de afvalverwerkingsinstallaties tengevolge van de export van afval naar Duitsland omdat daar geen heffingen bestaan op het storten van afval. *Essent* zou zich in de toekomst vooral richten op de verbranding van afval, omdat daarbij elektriciteit wordt opgewekt. Een beslissing over de verdere deelname van *Essent* in *Vagron* te Groningen zou tegen 1 januari 2004 genomen worden. Voorlopig ziet het ernaar uit dat de *Vagron*-installaties in de toekomst operationeel zal blijven.

#### a) Procesbeschrijving

##### *Droge mechanische voorscheiding*

De basis van de scheidingsinstallatie wordt gevormd door twee in serie opgestelde trommelzeven, waarbij de eerst zeef grotere gaten heeft dan de tweede trommelzeef. Met de scheidingsinstallatie worden uit het bij *VAGRON* aangeboden huisvuil (grijs afval) en daarmee vergelijkbaar bedrijfsafval, grotendeels kantoor-, winkel- en dienstenafval (KWD-afval), de volgende deelstromen geproduceerd:

- Een relatief hoogcalorische RDF-stroom (*Refuse Derived Fuel*)
- een relatief laagcalorische organische natte fractie (ONF)
- een drietal ferro-fracties (grof ijzer, blik en fijn ijzer)
- een non-ferro fractie

- een papier/kunststof fractie.

In de overloopfractie van de trommelzeven is nog een groot aandeel goed brandbare componenten, zoals papier, karton, hout en kunststof aanwezig. Deze fractie heeft een te hoge verbrandingswaarde voor de bestaande afvalverbrandingsinstallaties (AVI). Daarom moet deze fractie eerst nog bewerkt worden. Er is gekozen voor het afscheiden van het papier/kunststof dat aanwezig is in de fractie. Door dit te verwijderen daalt de verbrandingswaarde. Hierdoor kan het restant (RDF) wel worden verbrand in een AVI. Het papier en kunststof wordt afgescheiden met behulp van windzifters.

Voor de verwerking van dit mengsel zijn in hoofdlijnen twee opties: opwerking tot secundaire grondstoffen in de vorm van papierpulp en kunststofgranulaat of hergebruik als secundaire brandstof.

Op dit moment wordt het papier kunststofmengsel afgezet als secundaire brandstof. De voorbereidingen voor het opwerken van het mengsel tot papierpulp en kunststofgranulaat zijn in volle gang. Zodra de opwerkingsfaciliteit aanwezig is, zal het mengsel niet meer worden afgezet als brandstof, maar worden opgewerkt tot de twee secundaire grondstoffen.

De doorval van de tweede trommelzeef is de ONF-fractie. Deze fractie bestaat voornamelijk uit organisch materiaal, verontreinigd met inerte componenten zoals zand, steen, glas en kunststof. Door het hoge gehalte aan organisch materiaal is de ONF-fractie goed te vergisten. Om verstoppingen en slijtage zoveel mogelijk te beperken moet eerst het inerte materiaal en het slecht vergistbare materiaal worden verwijderd. Dit gebeurt in de wasinstallatie.

#### *Alternatieve verwerking van het papier en kunststofmengsel*

In het Nederlandse Convenant Verpakkingen II heeft de drankenkartonketen een inspanningsverplichting op zich genomen van 15% hergebruik van drankenkartons. *Grontmij Water & Reststoffen* heeft in opdracht van de belangenorganisaties van de drankenkartonketen (drankenkartonproducenten en producenten/importeurs/retailers van producten in drankverpakkingen) en *VAGRON* een drankenkartonscheidingsinstallatie ontworpen en de bouw en inbedrijfstelling begeleid.

De installatie is operationeel sinds augustus 2002. De installatie is geïntegreerd in de bestaande huisvuilscheidingsinstallatie van *VAGRON* in Groningen. De drankenkarton installatie gebruikt de zogenaamde *autosort* methode, waarbij drankenkartons via infraroodstraling worden gedetecteerd en vervolgens met behulp van luchtstoten uit de afvalstroom worden geblazen. Uit 200 000 ton huishoudelijk afval wordt op deze wijze circa 2 000 ton drankenkartons afgescheiden.

In Finland worden de drankenkartons verder gescheiden, waarbij het papier en de folie als materiaal worden hergebruikt en het plastic als secundaire brandstof wordt ingezet.

De *autosort* technologie is in Scandinavië en Duitsland voor diverse reststromen op *full scale* operationeel. Voor de afscheiding van drankenkartons uit gemengd huishoudelijk afval is de *VAGRON* installatie de eerste in de wereld.

#### *Natte scheiding/wasinstallatie*

De wasinstallatie bestaat uit diverse was/trommelzeven, opstroomscheiders, een hydrocycloon en een ontwateringstafel voor ontwatering van de afgescheiden slibstroom. Onder toevoeging van water wordt de ONF in een aantal stappen gescheiden in vier deelstromen:

- zand
- grof inert materiaal (zoals stenen, keramiek en glasscherven)
- stoofstoffen (zoals kunststof, textiel, e.d.)
- het gewassen ONF

Het proceswater wordt op een fysisch/chemische wijze behandeld waardoor de zwevende stof wordt afgescheiden verwijderd. Hierna wordt het voor het grootste gedeelte hergebruikt binnen de wasinstallatie. Slechts een klein gedeelte van het proceswater wordt gespuid. Dit water wordt gemengd met het afvalwater uit de vergistingsinstallatie. In een afvalwaterzuiveringsinstallatie wordt dit afvalwater gezuiverd. Het effluent wordt geloosd op de riolering.

De gewassen ONF wordt vergist in de vergistingsinstallatie.

### *De vergisting*

Het gewassen ONF wordt naar één van de vier mengtanks verpompt. Hier wordt het gehomogeniseerd en op de juiste temperatuur en droge stofgehalte gebracht. Dit wordt gedaan door het injecteren van stoom en het toevoegen van proceswater. Dit proceswater is afkomstig van het ontwateren van het digestaat'.

Zodra het vergiste materiaal aan de juiste eisen voldoet wordt het naar één van de 4 vergistingstanks gepompt. Deze vergistingstanks hebben elk een volume van 2 750 m<sup>3</sup>. In deze reactoren treedt het eigenlijke vergistingsproces op.

Bij VAGRON is de temperatuur in de vergistingstanks circa 55 °C, dit wordt thermofiele vergisting genoemd. De gewassen ONF blijft circa 18 dagen in de tank. Gedurende deze periode wordt ongeveer 60 % van het organische materiaal omgezet tot biogas. In totaal wordt ongeveer 1 000 m<sup>3</sup> gas per uur geproduceerd. Dit gas wordt ontwaterd door het te koelen voordat het terecht komt in een gasopslag. Het volume van deze gasopslag is 2 100 m<sup>3</sup>, deze is geplaatst tussen de vergistinginstallatie en de warmtekrachtkoppeling. Dit volume is slechts voldoende om te bufferen, niet om het biogas voor langere tijd op te slaan.

Na ongeveer 18 dagen wordt het vergiste materiaal (digestaat) uit de reactoren gepompt en mechanisch ontwaterd. De waterstroom die bij de ontwatering van het digestaat vrijkomt wordt voor een groot gedeelte hergebruikt in de was- en vergistingsinstallatie.

### *Valorisatie van biogas*

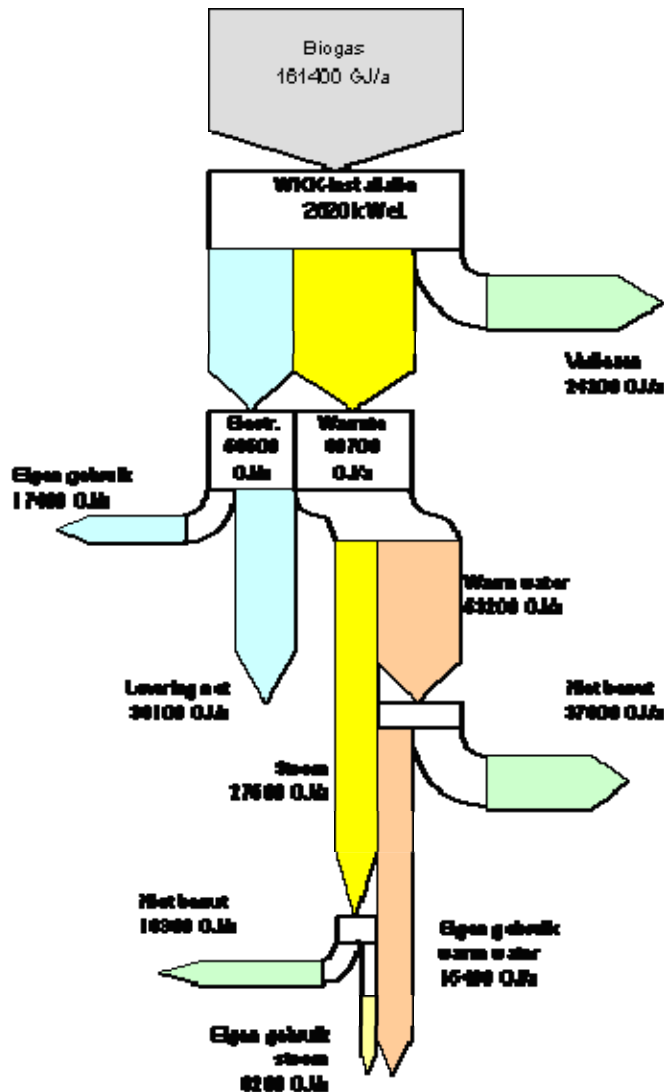
Het biogas wordt na behandeling verbrand in een gasmotor van de warmtekrachtkoppeling. Dit verbranden levert zowel thermische energie (warmte) als elektriciteit op.

### *Toepassing van het digestaat van de vergisting*

Momenteel wordt het digestaat van de vergisting te Groningen en te Friesland gestort. Dit is echter niet gewenst in het kader van het afvalbeleid. Daarom wordt gewerkt aan nieuwe behandelingsmethode, waarmee het digestaat kan verwerkt worden tot een bouwstof die geschikt is om stortplaatsen mee af te dichten. In 2003 waren reeds proeven lopende.

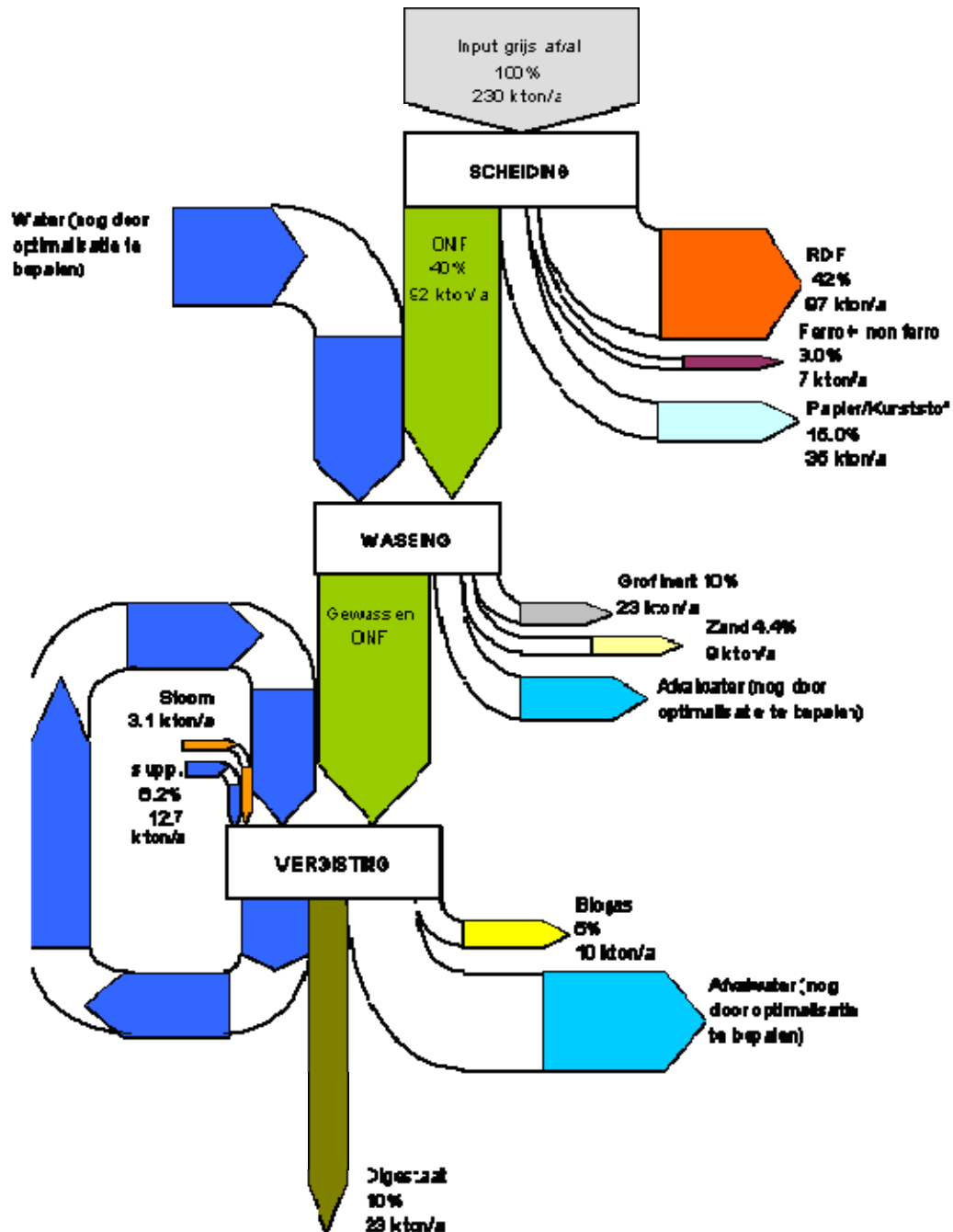
## **b) Energie- en massabalans**

In totaal wordt er 2,5 MWe aan elektrische energie opgewekt. Hiervan wordt ongeveer één derde voor eigen gebruik aangewend. De resterende hoeveelheid wordt aan het openbare elektriciteitsnet geleverd. Aan thermische energie wordt ongeveer 3,6 MWth geproduceerd. Dit wordt gebruikt voor het verwarmen van het proceswater en het opwekken van stoom. De omzetting van het biogas naar energie (elektriciteit + warmte) gebeurt met een energetisch rendement van 85%. Een belangrijk deel van de geproduceerde stoom en warm water wordt echter niet benut.



*Figuur 29: Energiebalans voor de Vagron installatie te Groningen*

Het scheiden van afval resulteert in hergebruik van meer dan 50 % van de ingaande stroom afval. Slechts circa 42 % van het afval wordt verbrand.



Figuur 30: Massabalans voor de Vagron installatie te Groningen

c) **Technische problemen te Groningen** <sup>32</sup>

De eerste *full scale* installatie volgens het *Vagron* procédé werd in 2000 in Groningen opgestart. Tot nu toe zijn er bijna continu technische problemen geweest, waardoor de installatie op regelmatige basis moest stilgelegd worden. Er wordt gehoopt dat in 2003, na doorvoering van een laatste reeks aanpassingen de opstartproblemen definitief opgelost zijn. De technische problemen volgen uit het feit dat de organische fractie, die naar de wasinstallatie en naar de vergistingsinstallatie gaat, niet zuiver genoeg is. Het opschalen van een pilotinstallatie naar *full scale* installatie heeft niet de voorspelde resultaten opgeleverd.

De problemen traden op ter hoogte van de wasinstallatie en de vergistingsreactoren. Een duidelijke beschrijving van de technische problemen is niet voorhanden. Het resultaat van deze problemen wordt als volgt beschreven: blokkeren van apparatuur, verstoppingen, lekkages, enorme watervervuiling en het afbreken van de roerwerken in de reactorvaten. Eén informatiebron vermeldt dat deze problemen veroorzaakt worden doordat bepaalde stukken afval (bijvoorbeeld panty's, touwtjes, uiennetjes en kabels) niet uit de organische fractie worden afgescheiden ter hoogte van de *full scale* installatie. Ter hoogte van de wasinstallatie zouden de problemen te maken hebben met de water- en energiebalans die nog verder moest afgesteld worden. Ter hoogte van de vergistingsreactoren konden de roerwerken de te verwerken hoeveelheden materiaal niet aan. Het vervangen van één roerwerk zou drie maanden in beslag hebben genomen. Eerst moest de tank leeggemaakt worden, dan volgde de aanpassing van het roerwerk en tenslotte moest het biologisch proces opnieuw langzaam op gang gebracht worden. In 2003 werden de vier reactoren één voor één aangepast.

Daarnaast werd onder meer door de *Technische Universiteit Delft* onderzoek uitgevoerd naar mogelijke verbeteringen van de installatie. De resultaten van dit onderzoek zullen eveneens op korte termijn geïmplementeerd worden. Meer informatie hieromtrent is niet beschikbaar. Er wordt van uitgegaan dat de installatie goed zal functioneren nadat alle aanpassingen uitgevoerd zullen zijn.

Een bijkomend probleem is dat een groot deel van de organische fractie tijdens de periode van aanpassingen niet kan verwerkt worden in de vergistingsinstallatie, maar gestort moet worden. Hiervoor moeten dan aanzienlijke heffingen betaald worden, hetgeen zorgt voor bijkomende financiële druk.

#### **d) Stand van zaken**

Naast de *full scale* installatie van Groningen, die in 2000 werd opgestart, is in juli 2003 een gelijkaardige installatie opgestart in het *Ecopark De Wierde* (Oudehakse, Friesland). Deze installatie wordt uitgebaut door *SBI Friesland* (Scheidings- en Bewerkingsinstallatie Friesland). *Afvalsturing Friesland* koos in 1997 voor het voorbehandelingsconcept scheiden, wassen en vergisten. De reden waarom het Vagron-systeem gekozen werd, is dat deze techniek reeds een heel leertraject had doorgemaakt. De oplossingen die doorgevoerd werden als antwoord op de opstartproblemen te Groningen, werden reeds verwerkt in de plannen voor Friesland. Ondertussen is het ook hier nodig gebleken om aanpassingen door te voeren tengevolge van opstartproblemen. Het betreft echter eerder het fijn-tunen van de installatie en niet het vervangen van grote onderdelen.

## 2.3 Het BTA-Proces<sup>33</sup>

Het BTA-proces is ontwikkeld om *biowaste* (*OFMSW Organic Fraction of Municipal Solid Waste*) van huishoudens, handel- en diensten en van landbouwactiviteiten om te vormen tot biogas met een hoog methaangehalte en compost.

Volgende inputs kunnen via het BTA-proces verwerkt worden:

- Ruw huishoudelijk afval
- GFT-afval
- Biologisch afval van restaurants, markten, ...
- Afval van de voedingsindustrie
- Afval van slachterijen
- Afval van landbouwactiviteiten (bvb dierlijke mest)
- Waterzuiveringsslib en dergelijke
- Restafval: in dit geval kan het proces gebruikt worden om de organische fractie van het afval te reduceren, zodat na storten geen chemische of biologische reacties meer plaatsvinden.

### 2.3.1 Procesbeschrijving

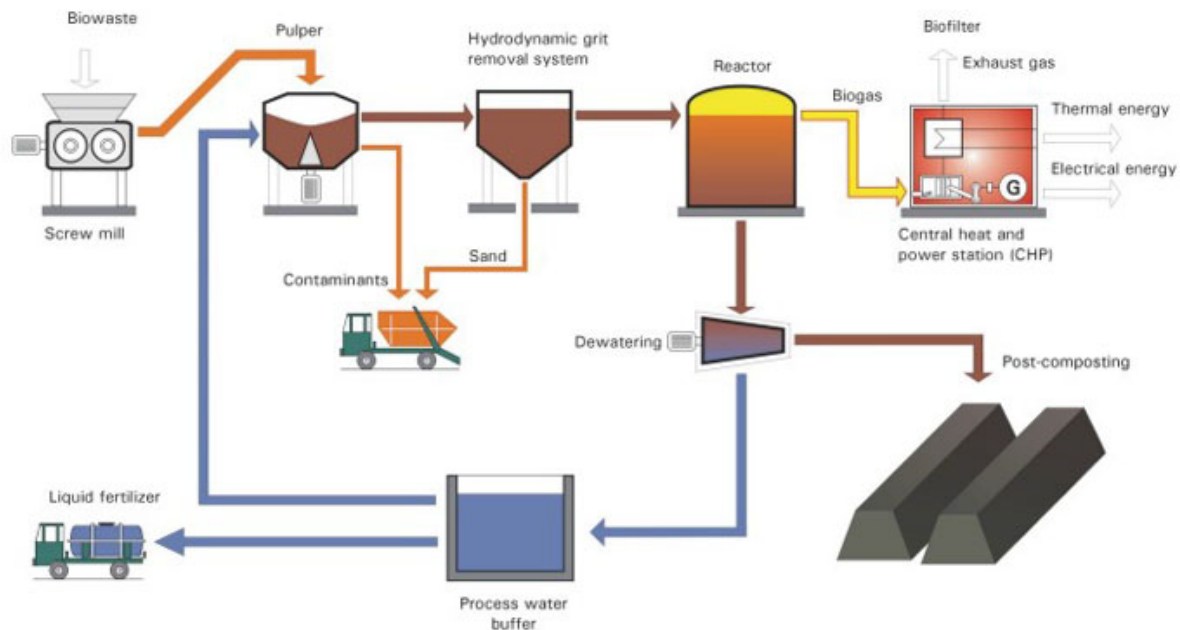
Het proces kan opgedeeld worden in een mechanische voorbehandeling en een biologisch proces.

Het afval wordt eerst vermengd met proceswater dat recirculeert. Storende fracties zoals plastics, textiel, stenen and metalen worden afgescheiden zonder manuele tussenkomst. Uit de organische fracties wordt een dikke suspensie (pulp) geproduceerd die in een volgende stap vergist wordt.

Optioneel kunnen fijnere fracties zoals zand, kleine stenen en glassplinters verwijderd worden door middel van een hydrocycloon. Deze bijkomende stap beschermt de installatie tegen slijtage tengevolge van afschuring.

In functie van de verwerkingscapaciteit en in functie van de toepassing van de geproduceerde energie en compost, zijn volgende biologische verwerkingsopties beschikbaar:

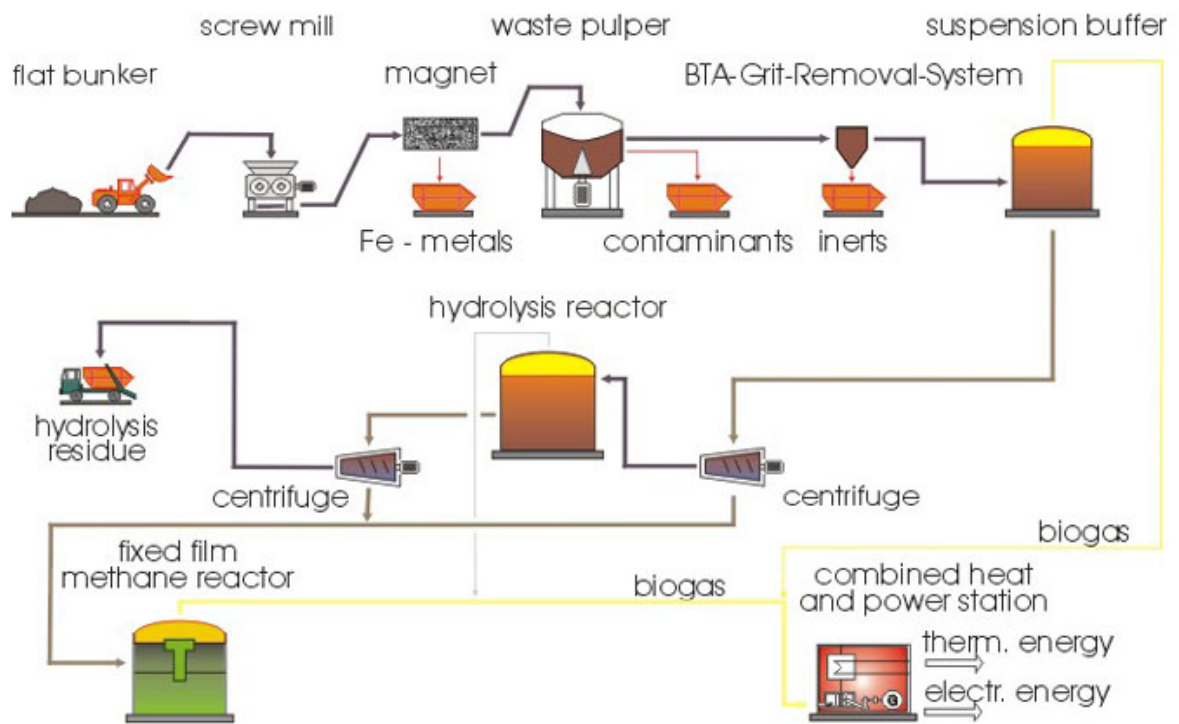
- De zogenaamde 1-stap vergisting, waarbij de pulp in een stap vergist wordt in één gemengde vergistingsreactor. Dit concept is geschikt voor relatief kleine gedecentraliseerde afvalverwerkingseenheden. Bestaande vergisters kunnen ingepast worden in het concept, hetgeen resulteert in lagere investeringskosten.



*Figuur 31: voorstelling van de 1-stapsvergisting volgens de BTA-technologie*

- Vanaf een verwerkingscapaciteit van meer dan 50 000 ton/jaar, wordt een multi-step vergisting voorgesteld, waarbij de pulp gescheiden wordt in een vaste en een vloeibare fractie door middel van een ontwateringsinstallatie. De vloeibare fase, die reeds opgeloste organische componenten bevat, wordt rechtstreeks naar een methaanreactor verpompt, waar gedurende 2 dagen een methanisatie plaatsvindt. De vaste fractie, die de niet-opgeloste organische componenten bevat, wordt opnieuw vermengd met water en gevoed aan een hydrolyse reactor. Na 4 dagen wordt deze massa opnieuw ontwaterd en de vloeibare fase wordt verpompt naar de methaanreactor. Door het afbreekproces te verdelen over verschillende reactoren (acidificatie, hydrolyse en methanisatie), kunnen voor verschillende groepen micro-organismen optimale groeiomstandigheden worden gecreëerd. Dit resulteert in een snelle en sterk doorgedreven afbraak van het organisch materiaal en een hoge biogasproductie. Binnen een aantal dagen kan 60-80% van het organisch materiaal omgevormd worden naar biogas.





*Figuur 32: voorstelling van de multi-stapsvergisting volgens de BTA-technologie*

- Optie3: Voor installaties met een gemiddelde verwerkingscapaciteit is een 2-stap vergisting beschikbaar. Deze is gebaseerd op de multi-stap optie, zonder de pulp te scheiden in een vaste en vloeibare fase. De pulp wordt aan een gemengde hydrolysereactor gevoed die verbonden is met een gemengde vergistingsreactor. Om een optimale hydrolyse te bekomen, wordt een deel van de inhoud van de vergistingsreactor teruggevoerd naar de hydrolysereactor.

De waterbehoefte van deze verschillende behandelingsopties wordt volledig voorzien door gebruik te maken van het water dat aanwezig is in het afval. Het water zit in een gesloten kringloop. Overmatig water wordt naar een waterzuiveringsinstallatie geleid.

De ontwikkeling van een BTA-voorbehandelingsinstallatie houdt rekening met de specifieke vereisten van de individuele klant. Bijkomende behandelingsstappen worden toegevoegd als dat nodig is.

### 2.3.2 Bespreking van de procesoutputs

Biogas en compost zijn twee van de procesoutputs. Het biogas bestaat voor 60-65% uit methaan. Dankzij het hoge methaangehalte zijn er verschillende toepassingsgebieden mogelijk. Naast de eigen energiebehoefte van de installatie, is er nog een belangrijk surplus over dat omgevormd kan worden naar elektriciteit en warmte.

In geval van de behandeling van huishoudelijk restafval, lijkt compost niet één van de procesoutputs te zijn. Hierover is weinig informatie beschikbaar.

### 2.3.3 Stand van zaken

Er zijn in Europa drie *full scale* voorbehandelingsinstallaties operatief:

- Villacidro (Sardinië): 45 000 ton/jaar gemengd afval. Meer gedetailleerde informatie is in onderstaande paragrafen te vinden.
- Verona (Italië): 70 000 ton/jaar gemengd afval. Het gaat om de ombouw van een bestaande verwerkingsinstallatie voor gemengd huishoudelijk afval met een capaciteit van 500 ton/jaar. De natte voorbehandeling werkt volgens het BTA-concept. BTA heeft de ontwerpwerken uitgevoerd, heeft de specifieke onderdelen geleverd en heeft de opstart van de installatie begeleid.
- Pulawy (Polen): 22 000 ton/jaar gemengd huishoudelijk afval. Eind maart 2001 werd de voorbehandelingsinstallatie afgeleverd. De voorbehandelingsprocédés zijn ontworpen volgens het BTA-concept. BTA heeft de ontwerpwerken uitgevoerd, heeft de specifieke onderdelen geleverd en heeft de opstart van de installatie begeleid.

Er zijn nog 5 andere *full scale* installaties operatief binnen Europa, maar het betreft hier de verwerking van organische afvalstromen.

Over de installatie in Sardinië is een meer gedetailleerde beschrijving beschikbaar. De voorbehandelingsinstallatie werd gebouwd op hetzelfde domein als een stortplaats en een afvalwaterzuiveringsinstallatie. Het was de eerste BTA-installatie ontworpen voor de verwerking van gemengd afval, inclusief afvalwaterzuiveringsslib. Dit slib wordt co-vergist tijdens de biologische voorbehandelingsstap. Het betreft 45 000 ton/jaar afval.

Na aanlevering van het afval, wordt het grotere materiaal afgescheiden via een trommelzeef. De fijnere fractie wordt in de menginstallatie omgevormd tot pulp met behulp van water. De grotere componenten worden uit het proces gehaald en zullen via het verbrandingssysteem van de stortplaats verwijderd worden.

De suspensie verlaat de menginstallatie via een geperforeerde zeefplaat. Alle componenten > 10 mm blijven achter in de menginstallatie, worden opgevangen en verwijderd met een hark (*rake*).

De pulp gaat verder doorheen een zeefstelsel dat de fijnste fractie (zand, fijne glassplinters) afscheidt. Hierdoor zijn de hierna volgende installatie-onderdelen beter beschermd tegen slijtage tengevolge van schurende effecten. Ook worden de installaties minder snel geblokkeerd en zijn minder problemen met sedimentatie. Dergelijke problemen zouden wel opgetreden zijn tijdens de opstartfase van de VAGRON-voorbehandelingsinstallatie.

De biologische voorbehandeling bestaat uit een twee-stapsvergisting. De gezuiverde pulp wordt gevoed aan een volledig gemengde opslagtank waar de hydrolyse van het organisch materiaal begint. Hierna volgt een hygiënisatiestap. Deze gebeurt buiten de opslagtank bij een temperatuur van 70°C gedurende 1 uur. Daarna wordt de suspensie gescheiden in een vaste massa en een vloeibare fractie door middel van een centrifuge.

De vloeibare fractie bevat de reeds opgeloste organische componenten en wordt rechtstreeks verpompt naar de methanisatiereactor. De vaste fractie, die nog onopgeloste organische componenten bevat, keert terug naar de hydrolyse reactor en wordt opnieuw vermengd met water. Na 4 dagen wordt deze massa opnieuw gecentrifugeerd en de vloeibare fractie wordt overgebracht naar de methaanreactor.

De ontwaterde vaste fractie wordt gecomposteerd in een *open windrow*<sup>3</sup> composteerinstallatie.

Uit de vloeibare fractie wordt biogas geproduceerd, dat omgezet wordt in warmte en elektrische energie in een WKK-installatie.

De inplanting van deze voorbehandelingsinstallatie nabij de waterzuiveringsinstallatie gaf de mogelijkheid om een bestaande vergistingsreactor te gebruiken voor de hydrolyse. Een bestaande gasometer en twee WKK-installaties konden eveneens geïntegreerd worden in het ontwerp. Tenslotte kon bespaard worden op investeringskosten en operationele kosten.

De installatie produceert 4 mio m<sup>3</sup> biogas. Rekening houdend met de energiebehoefte van de voorbehandelingsinstallatie zelf, kan 50% van de geproduceerde elektriciteit en 70% van de geproduceerde warmte aan het openbare net gevoed worden.

BTA heeft de ontwerpwerken uitgevoerd, heeft de specifieke onderdelen geleverd en heeft de opstart van de installatie begeleid.

---

<sup>3</sup> Het materiaal wordt in walvormige rijen gedeponerd in de open lucht.

### 2.3.4 Linde-KCA-Dresden GmbH: natte vergisting<sup>34</sup>

Linde-KCA-Dresden GmbH is een dochteronderneming van Linde AG, Wiesbaden. Deze onderneming heeft in het verleden de technologieën en de ervaring van Austrian Energy & Environment met betrekking tot mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen overgenomen. Ze noemen zichzelf een marktleider op dit gebied. Het bedrijf ontwikkeld en bouwt behandelingsinstallaties voor verschillende soorten afvalstromen. Hierbij is er keuze tussen verschillende vergistingsprocessen en composteringsprocessen.

Voor volgende soorten afval kan Linde-KCA-Dresden een voorbehandelingssysteem ontwikkelen en bouwen:

- Biowaste van selectieve inzameling
- Restafval
- Gemengd afval/huishoudelijk afval
- Met huishoudelijk afval gelijkgesteld industrieel afval
- Keukenafval
- Marktafval
- GFT-afval
- Dierlijke mest
- Afvalwaterzuiveringslib

Op gebied van vergisting, kan er een onderscheid gemaakt worden tussen droge en natte vergisting.

Eénstaps- en tweestaps natte vergistingsprocessen kunnen op thermofiele of mesofiele wijze toegepast worden, afhankelijk van de aard van het inputmateriaal. Deze vergistingsprocessen worden typisch toegepast om een hoge biogasproductie te verkrijgen. In de natte mechanische voorbehandeling wordt het afvalmateriaal vermengd met water, zodat een pulp bekomen wordt. Tijdens deze fase worden ongewenste componenten verwijderd via een trommelzeef. Deze eerste verwerkingsstap gebeurt volledig automatisch in een gesloten systeem. Het karakteristieke van deze vergisting is de recirculatie van gas in de vergistingsreactor door gebruik te maken van een centrale recirculatiebuis. Op deze wijze kan het substraat constant in beweging gehouden worden zonder gebruik te maken van roerwerken. Deze werkwijze laat toe om de klassieke nadelen van een natte vergisting te vermijden. Er kan geen slijtage of verstopping optreden van de roerwerken. Volgens de leverancier zorgt deze methode er ook voor dat er geen problemen optreden met sedimentatie.

Vergistingsresidues van dergelijke vergistingsinstallaties bevatten zeer weinig contaminatie en kunnen gebruikt worden als compost van hoge kwaliteit. Deze techniek wordt bij voorkeur toegepast voor de co-vergisting van *biowaste* en afvalwaterzuiveringslib en/of dierlijke mest.

Er bestaat een praktijkvoorbeeld van deze natte vergisting in Spanje, waarbij huishoudelijk afval en selectief ingezameld *biowaste* wordt voorbehandeld. Het betreft het *UTE Ecoparc* te *Barcelona* (Spanje). De toegepaste biologische processen zijn mesofiele natte vergisting en tunnel compostering (zie technieken zonder productie van biogas). De totale verwerkingscapaciteit van deze installatie is 300 000 ton/jaar. Uit de mechanische voorbehandeling van het huisvuil wordt 150 000 ton materiaal afgescheiden dat de natte

vergisting ondergaat met een aërobe nabehandeling van het digestaat. 50 000 ton selectief ingezameld *biowaste* wordt rechtstreeks verwerkt in de composteerinstallatie.

Deze installatie werd ontworpen en gebouwd door Linde-KCA-Dresden-GmbH en de werking ervan wordt reeds vanaf de start mee door hun opgevolgd. De installatie is in werking vanaf 2001.

In Madrid, Spanje werd een tweede installatie gebouwd voor huishoudelijk afval. De installatie bestaat uit een natte voorbehandeling, anaërobe vergisting en compostering. Het is niet duidelijk wanneer werd gestart met de bouw van deze installatie. Waarschijnlijk begin 2002. In 2003 was de bouw van de installatie blijkbaar voltooid. Het is niet duidelijk wanneer/of de installatie werd opgestart.

### **3 COMBINATIES VAN MECHANISCHE VOORBEHANDELING EN AËROBE AFBRAAK VAN DE ORGANISCHE FRACTIE**

Deze mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen bestaan uit een combinatie van een mechanische voorbehandeling en een aërobe afbraak van de biologisch afbreekbare fractie, ook wel compostering genoemd. In de meeste gevallen wordt gestreefd naar de afbraak van een gedeelte van de organische fractie. Er is slechts één systeem gekend waarbij gestreefd wordt naar de afbraak van al het organische materiaal, zodat een volledig minerale materie overblijft.

Een deel van deze mechanisch-biologische voorbehandelingstechnieken worden toegepast als voorbereiding op het storten. In deze gevallen zijn de voorbehandelingssystemen gebaseerd op een "eenvoudige" compostering van het organische materiaal.

Een aantal voorbehandelingstechnieken zorgen voor een meer doorgedreven stabilisatie van het organische materiaal door toepassing van een geforceerde beluchting tijdens het composteren. Hierdoor kan de composteringwarmte gebruikt worden om de minder afbreekbare organische fractie te drogen. Dergelijke behandeling wordt biologisch drogen genoemd. Het resulterende gestabiliseerde residu kan vervolgens verder verwerkt worden tot *RDF* en kan op een milieuvriendelijke en veilige wijze getransporteerd en tijdelijk gestockeerd worden.

Tenslotte is er één mechanisch-biologische voorbehandelingstechniek waarbij een ver doorgedreven compostering wordt toegepast. Het is de bedoeling om de volledige organische fractie van het afval af te breken, zodat het overblijvende residu niet biologisch actief meer is.

### 3.1 Systemen bestaande uit een mechanische voorbehandeling en biologisch drogen van de organische fractie

#### 3.1.1 Herhof-Umwelttechnik GmbH

In de mechanisch-biologische voorbehandelingstechniek die door *Herhof-Umwelttechnik GmbH* is ontwikkeld, wordt het restafval, na een voorafscheiding van een ferro-fractie, biologisch gedroogd. Na deze droging worden een tweede ferro-fractie, een non ferro-fractie, een RDF (*Trockenstabilat*<sup>®</sup>) en inerten afgescheiden. Het RDF wordt energetisch gevaloriseerd en de ferro- en non ferrofracties worden afgevoerd voor hergebruik. De inerten worden verondersteld te worden hergebruikt als secundaire bouwstof.

##### a) Procesbeschrijving<sup>3,35</sup>

Voor de procesbeschrijving wordt verwezen naar de restafvalstudie<sup>3</sup>. Enkele noemenswaardige karakteristieken van het proces:

- Naast de ferro- fractie wordt eveneens een non-ferro fractie gerecupereerd;
- Het condensaat moet gezuiverd worden in een vrij complexe waterzuiveringsinstallatie;
- De LARA-installatie is een thermisch naverbrandingssysteem dat door *Herhof* zelf ontworpen is op maat van het voorbehandelingssysteem;
- Het *Trockenstabilat* is de hoogcalorische fractie die wordt afgescheiden op basis van de dichtheid van het materiaal;
- Het proces verloopt in batchprocessen die 6 à 7 dagen duren.

Sindsdien zijn geen significante aanpassingen gebeurt aan het concept. *Herhof* onderzoekt momenteel wel of het *Trockenstabilat* verder gescheiden kan worden in verschillende fracties. Ongeveer 20% van het *Trockenstabilat* zou kunnen worden afgescheiden als een biomassafractie met een zuiveringsgraad van ongeveer 97%.

In Nederland wordt elektriciteit, opgewekt uit een 97% schone biomassa-fractie beschouwd als Groene Stroom.

In Vlaanderen is op 5 maart een Besluit van de Vlaamse regering goedgekeurd inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen. In het kader van de certificatenverplichting worden groene stroomcertificaten aanvaard, die worden toegekend voor elektriciteit opgewekt door middel van onder meer:

- Organisch-biologische afvalstoffen die gesorteerd worden uit restafval en niet in aanmerking komen voor materiaalrecyclage of worden verwerkt conform de bepalingen van het van toepassing zijnde sectorale uitvoeringsplan;
- Organisch-biologisch deel van restafval, op voorwaarde dat de betrokken verwerkingsinstallatie door energierecuperatie een primaire energierecuperatie realiseert van minstens 35% van de energie-inhoud van de afvalstoffen verwerkt in de installatie.<sup>36</sup>

Daarnaast kan ook een hoogcalorische *fluff*-fractie geproduceerd worden (10-20% van het *Trockenstabilat*). Deze fractie zou aan gunstigere prijzen kunnen worden afgezet.

De resterende fractie (60-70%) kent dezelfde toepassingsmogelijkheden als het oorspronkelijke *Trockenstabilat*.

Naast deze brandbare fracties wordt nog een inertfractie afgescheiden.

## b) Stand van zaken <sup>37</sup>

Het eerste *Trockenstabilat*<sup>®</sup> systeem is operationeel sinds 1997. In totaal wordt meer dan 400 000 ton afval per jaar verwerkt via dit voorbehandelingssysteem. Verder contracten zijn lopende voor meer dan 600 000 ton huishoudelijk afval. In Tabel 21 wordt een overzicht gegeven van bestaande en geplande installaties binnen Europa.

Tabel 21<sup>38</sup>: overzicht van bestaande en geplande *Trockenstabilat*installaties binnen Europa

Site	Jaar waarin installatie operationeel is	Capaciteit	Type huishoudelijk afval
	Jaar	Ton/jaar	
Asslar	1997	140 000	
Rennerod	2000	100 000	Restafval
Dresden City	2001 (proefdraaien tot februari 2002)	85 000	Restafval
Venice	2001	125 000	
Trier	2004	180 000	Rest- en gelijkgesteld bedrijfsafval
Geel	2004	150 000	
Osnabruck	2004 (bouw van start in november 2003)	85 000	Restafval
Nordhessen	2005	180 000	
Berlin Region	2005	135 000	
Dresden Region	2005	120 000	

In *Dresden* wordt momenteel gediscussieerd over de afschaffing van de selectieve inzameling van de lichte kunststofverpakkingen<sup>4</sup>. Zowel de RDF-fractie als de selectief ingezamelde fractie worden vergast in de slakkenbadvergasser van *SVZ Schwarze Pumpe*. Ook in het geval van *Osnabruck* wordt deze discussie gevoerd.

Het restafval van de regio *Dresden* zal eveneens in een *Herhof*-installatie worden voorbehandeld. De RDF-fractie zal in dit geval verwerkt worden in een *VEAG kolencentrale*. Ook in de RDF-fractie van de voorbehandelingsinstallatie te *Fusina*, nabij Venetië, wordt gebruikt als secundaire brandstof in een kolencentrale (van ENEL). De composteringsinstallatie te *Fusina* is eveneens door *Herhof* gebouwd.

Alles samen zijn in mei 2002 in Duitsland volgende bestemmingen van het *Trockenstabilat* bekend:

- 45 000 ton/jaar naar *SVZ Schwarze Pumpe*
- 60 000 ton/jaar naar de kolenvergasser van *Rüdersdorfer Zement*
- 15 000 ton/jaar naar de roosteroven te *Asslar* die werd gebouwd voor de verwerking van het *Trockenstabilat*.

<sup>4</sup> Leichtverpackungen



De resterende 25 000 ton worden naar behoefte verwerkt door *SVZ Schwarze Pumpe*, in een kolencentrale of door andere verwerkers.

### 3.1.2 Nehlsen AG<sup>39</sup>

Al meer dan 75 jaar is Nehlsen AG gespecialiseerd in afvalverwijdering. Het bedrijf is gesitueerd in Bremen. In 1991 heeft het bedrijf activiteiten opgestart op het Duitse eiland Rügen dat gelegen is aan de Oostzee en een Landkreis op zich is. Nehlsen heeft samen met de Abfallwirtschaft für Rügen een geïntegreerd afvalverwerkingsconcept ontwikkeld en geïmplementeerd. Voor de sluiting van de laatste stortplaats in 1997 werd gezocht naar een methode om de hoeveelheid definitief te verwijderen restafval te verminderen. *Nehlsen* heeft daarvoor een procedure ontworpen voor de mechanisch-biologische stabilisatie van het restafval en deze methode werd geïmplementeerd te *Samsten (Rügen)*. Het betreft de eerste mechanisch-biologische voorbehandelingsinstallatie in de regio *Mecklenburg-Western Pomerania*. De installatie verwerkt huishoudelijk restafval en industriële afvalstromen voor de productie van secundaire brandstoffen.

#### a) Procesbeschrijving<sup>40</sup>

De mechanisch-biologische voorbehandelingsinstallatie *MBS Rügen* bestaat uit een biologische voorbehandelingsinstallatie om het huisvuil te drogen en daarop aansluitend een mechanische behandeling voor de productie van de secundaire brandstof *Calobren®*.

##### *Het Biologisch stabiliseren*

De input van de voorbehandelingsinstallatie bestaat uit huishoudelijk afval en daaraan gelijkgesteld industrieel afval. De doorzet van de installatie is ca. 13 000 ton / jaar. Het materiaal wordt ter hoogte van de ontvangsthal aangeleverd. Grote elementen, zoals metalen onderdelen en tapijten, worden met behulp van een graafmachine verwijderd. Daaropvolgend wordt het materiaal verkleind tot een afmeting < 300 mm. Vervolgens wordt het naar de stabilisatiecontainers gebracht. Boven de containerbodem is een rooster aangebracht waardoor lucht wordt gestuurd dat gelijkmatig het materiaal kan beluchten. Eén container kan 11 ton verkleind materiaal stabiliseren. Dagelijks worden 4 containers belucht. Voor het aërobe stabilisatieproces worden telkens twee containers op elkaar geplaatst en via flexibele darmen aangesloten op het beluchtingssysteem (toevoer en afzuiging van de lucht). De lucht wordt verwarmd. De afgezogen lucht wordt naar een biofilter geleid.

##### *Mechanische voorbehandeling van de secundaire brandstof*

Het *stabilat* wordt vervoerd naar de plaats waar de secundaire brandstof voorbereid wordt. Het materiaal wordt voor korte tijd opgeslagen. In de daartoe voorziene bunkers kunnen tot 8 containers opgeslagen worden. Het materiaal wordt gezeefd en opgedeeld in drie stromen op basis van grootte.

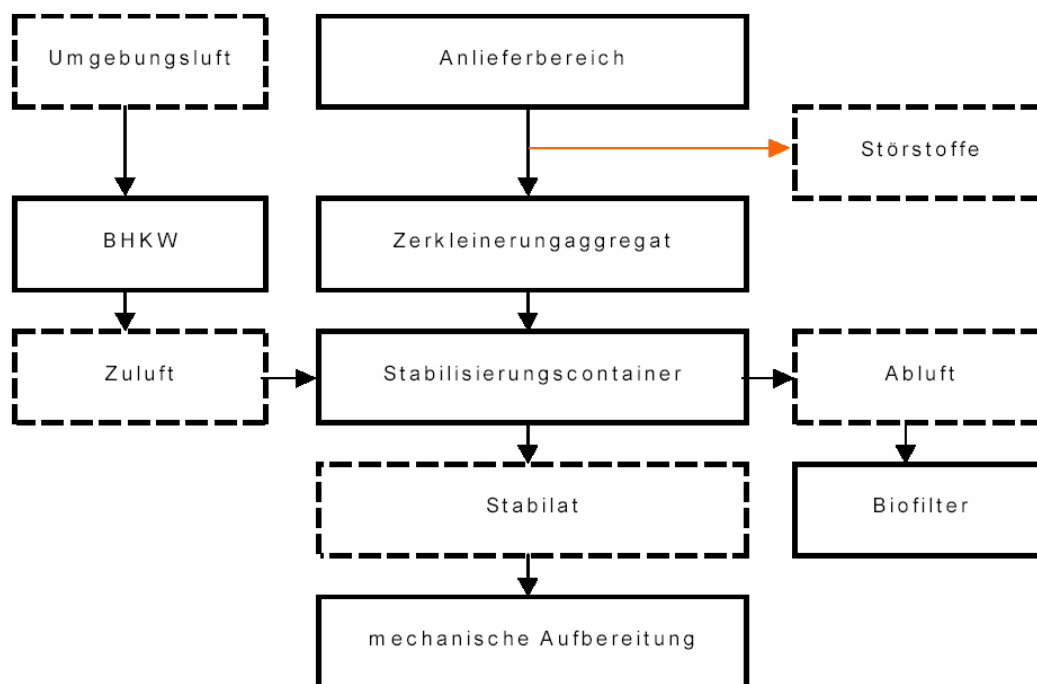
Uit de stroom met de grootste materiaaldeeltes wordt de ferro afgescheiden. Vervolgens wordt het materiaal verkleind en wordt het opnieuw naar de trommelzeef gebracht.

Uit de stroom met de kleinste deeltjes worden de ferro en non ferro fracties afgescheiden. De allerfijnste minerale fractie en de zwaarste glasfractie worden verwijderd.

De middelste stroom wordt mechanisch gesorteerd. De zwaarste fractie wordt verwijderd. De fijne fractie wordt afgezeefd en toegevoegd aan de stroom met de kleinste deeltjes. Uit de hoogcalorische lichte fractie worden de ferro en de non ferro fracties afgescheiden.

Vervolgens wordt het resterend materiaal verkleind en worden nogmaals de ferro en de non ferro fracties afgescheiden.

De hoogcalorische lichte fractie, die vrij is van glas en metalen, wordt onder de naam CALOBREN<sup>®</sup> verwerkt als secundaire brandstof. Het betreft een deel van het kleinste materiaal en een deel van het middelste materiaal. Het processchema van deze mechanische nabehandeling is weergegeven in Figuur 34.



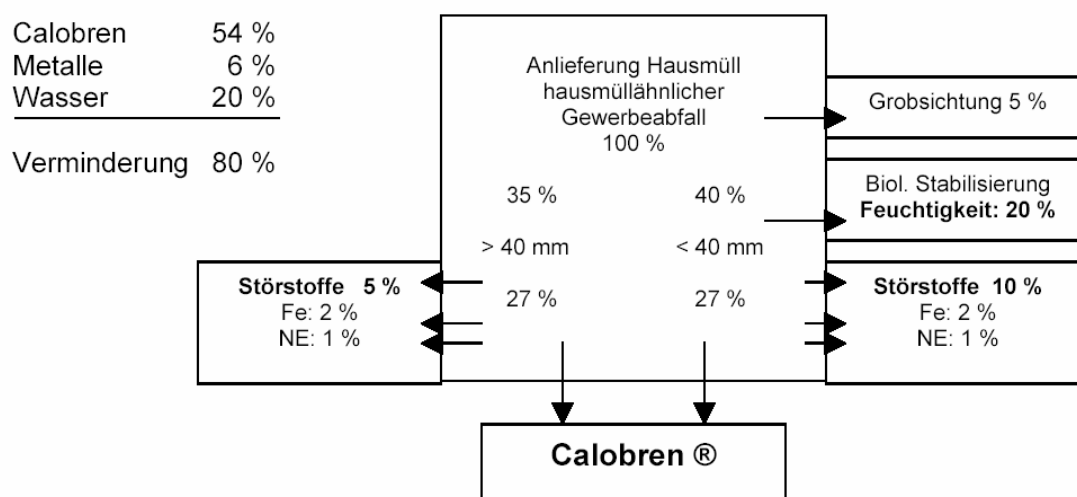
*Figuur 33: Algemeen overzicht van de mechanisch-biologische voorbehandeling volgens het Nehlsen-concept*



*Figuur 34: Mechanische nabehandeling van de gestabiliseerde hoogcalorische fractie tot de secundaire brandstof Calobren<sup>®</sup>, volgens het Nehlsen-concept*

*Massabalans van de mechanisch-biologische voorbehandeling volgens het Nehlsen concept*

Uit de massabalans die weergegeven is in Figuur 35 blijkt dat de massa van het afval verminderd wordt met 80%. De overblijvende 20% wordt in dit concrete geval nog steeds gestort. 60% van het materiaal wordt gerecupereerd voor hergebruik (metaalfracties) of voor energetische valorisatie (Calobren).



Figuur 35: massabalans volgens het Nehlsen-concept

## b) Stand van zaken

Zoals reeds vermeld is één MBS-installatie operationeel in Duitsland, meer bepaald op het eiland *Rügen*. Daarnaast heeft *Nehlsen* nog verschillende projecten lopende in Duitsland en het bedrijf hoopt eveneens om in Polen voet aan grond te krijgen op de afvalverwerkingsmarkt. Hieronder wordt kort het meest concrete project kort beschreven.

In november 2003 heeft het *Ostmecklenburgisch Vorpommersche Verwertungs- und Deponie GmbH* (OVVD) het Afvalverwerkingsbedrijf ABG opgericht samen met *Nehlsen* en *Rehtman*. *Nehlsen* heeft 24.5% van de aandelen. Het afvalverwerkingsbedrijf moet ervoor zorgen dat de verwijdering van het restafval gebeurt in overeenstemming met de wettelijke voorschriften. Hiervoor moet een mechanisch-biologische voorbehandelingsinstallatie gebouwd worden. De bouw van deze installatie zal beginnen midden 2004 ter hoogte van de afvalstortplaats van *Rosenow* en de installatie zal uitgetest worden vanaf juni 2005. De geplande verwerkingscapaciteit is 125 000 ton/jaar restafval.

### 3.1.3 Biocubi®/Intelligent Transfer Station (ITS)<sup>41,42,43</sup>

Voor het mechanisch-biologische voorbehandelingsconcept Biocubi/*Intelligent Transfer Station* van de firma EcoDeco (Italië) is zeer weinig informatie voorhanden in een andere taal dan het Italiaans. Er is één beschrijving van het systeem beschikbaar van de firma Shanks (U.K.) in het Engels uit 2002. Recentere informatie over veranderingen in de processen of de realisatie van geplande *full scale* installaties is niet beschikbaar. De firma *Shanks* vertegenwoordigt het systeem buiten Italië.

De technologie is ontworpen om huishoudelijk afval te verwerken op een manier die nu voldoet aan de vereisten van de lokale overheden en die in de toekomst aangepast kan worden.

Het voorbehandelingssysteem produceert aan de ene kant materialen die hergebruikt kunnen worden en stabiliseert aan de andere kant de fractie die overblijft.

De biologisch afbreekbare fractie van het afval wordt gebruikt als een energiebron via toepassing van een biologisch drogingsproces waarvoor geen externe energie-input nodig is. De gestabiliseerde fractie kan ofwel gestort worden ofwel gebruikt worden als RDF. De modulaire opbouw van het *Intelligent Transfer System* laat toe om in de toekomst nieuwe bestemmingen te geven aan de restfractie van het afval en om een antwoord te bieden op eventuele veranderingen in de samenstelling van het huishoudelijk afval.

Het proces kan toegepast worden op alle types van huisvuil, wat ook de vorm van ophaling is die eraan vooraf gaat. Het systeem werkt ook wanneer de GFT-fractie selectief wordt ingezameld. De praktijkervaring uit Italië heeft dit aangetoond.

#### a) Procesbeschrijving

##### *Ontvangst van het afval*

Vooraan het gebouw wordt het afval ontladen in een ontvangsthal. Er wordt gebruik gemaakt van waterverstuiving en interne luchtcirculatie om de kans op geuroverlast in de omgeving te minimaliseren. De put waarin het afval wordt uitgeladen heeft een verhoogde en geperforeerde vloer waardoor lucht wordt gepompt. Deze lucht wordt doorheen het afval gezogen naar een biologische filter. Zo wordt ervoor gezorgd dat het afval niet kan stagneren en wordt geuroverlast vermeden. Daarnaast wordt het gebouw op onderdruk gehouden om storende emissies naar de atmosfeer te minimaliseren.

Een kraan zorgt voor het afvaltransport van de ontvangstput naar de *shredder*. Na de *schredding* heeft het materiaal een grootte van 20-30 cm en wordt het getransporteerd naar de opslagput voor fijne partikels. De bedoeling van deze stap is om een homogeen materiaal te verkrijgen, hetgeen de efficiëntie van de aërobe afbraakprocessen verhoogt.

##### *Aërobe afbraakprocessen*

Het fijne materiaal wordt van de opslagput naar de aërobe afbraakafdeling gebracht door middel van een kraan. Hier wordt het in aaneensluitende walvormige rijen gedeponed. Het gebied is virtueel opgedeeld in een raster. De computer houdt bij welk materiaal waar en hoe lang gedeponed is. Het gebied heeft een verhoogde betonnen vloer die

geperforeerd is om de circulatie van lucht toe te laten. Ook hier gaat er lucht van onder de vloer, doorheen het materiaal, naar een biofilter. De luchttoevoer zorgt voor een versnelling van de compostering van het afval, dat een temperatuur behaalt van 50-60°C. De luchtcirculatie wordt automatisch geregeld, zodat de gewenste temperatuursrange behouden blijft. Het materiaal is verwerkt na 12-15 dagen.

Door de luchtcirculatie wordt eveneens vocht onttrokken aan het materiaal, een proces dat bekend staat als biologisch drogen.

Tijdens het aërobe afbraakproces wordt de best afbreekbare fractie van het organisch materiaal volledig geoxideerd. De rest van het organisch materiaal wordt sterk uitgedroogd en draagt bij tot de calorische waarde van het overblijvende materiaal. De calorische waarde varieert tussen 15 en 18 MJ/kg. In vergelijking met het "natte" huishoudelijke afval gaat het om een toename in de energie-inhoud tussen 50 en 100%.

Het aërobe afbraakproces zorgt voor een massareductie van 25%. Daarnaast is het materiaal gestabiliseerd, gehygiëniseerd en veroorzaakt het geen geuroverlast meer.

### *Nabehandeling van het materiaal*

Na de aërobe afbraakfase wordt het materiaal automatisch getransporteerd naar een recyclage- en herwinningsafdeling. Hier wordt het materiaal opgedeeld in 5 fracties, door middel van een combinatie van zeven, afscheiding op basis van gewicht en metaalafscheiding. Volgende % worden typisch bekomen via deze methode:

- 50% Secundaire brandstoffen
- 3% ferrometalen
- 11% inertien (glas en stenen)
- 10.5% composteerbaar materiaal
- 0.5% non-ferrometalen

De 50% secundaire brandstoffen kunnen gestort worden of omgezet worden in energie. Uit metingen van luchtemissies is gebleken dat er weinig verschil is tussen het verbranden van deze secundaire brandstoffen en het verbranden van steenkool. Voor bepaalde toepassingen kan aangetoond worden dat de luchtemissies afnemen door toepassing van de secundaire brandstoffen.

Omdat de secundaire brandstoffen een belangrijk deel niet-fossiel materiaal bevat, kan het, in functie van de lokale wetgeving, mogelijk in aanmerking komen als hernieuwbare energiebron.

### **b) Stand van zaken**

Er zijn momenteel 4 voorbehandelingsinstallaties in Italië die deze technologie toepassen. Een aantal andere zijn in aanbouw of zijn gepland. In de informatiebrochure<sup>42</sup> staat als startdatum voor twee van de Italiaanse installaties december 2002 en voor een derde december 2003. Deze brochure is uitgegeven in de loop van 2002. In de U.K. zijn eveneens een aantal installaties gepland. Over de geplande installaties is echter geen duidelijkheid. Een overzicht van deze installaties is weergegeven in Tabel 22.

Tabel 22: Bestaande en geplande installaties volgens de Biocubi<sup>®</sup>/ITS technologie

Locatie	Capaciteit ton/jaar	Startdatum
Giussago	36 000	februari 1996
Corteolona	120 000	september 1996
Bergamo	60 000	december 1998
Montanaso	60 000	maart 2000
Biella	120 000	december 2002
Lacchiarella	60 000 (+40 000 organische fractie voor productie compost)	december 2002
Salussola	60 000	december 2003
Dumfries & Galloway Council, Dumfries	60 000	december 2004
East London Waste Authority, Rainham	180 000	december 2005
East London Waste Authority, Newham	180 000	mei 2006

In *Corteolona* zou sinds eind 2003 een wervelbedoven operationeel zijn (van de firma *Kvaerner*) voor de valorisatie van de geproduceerde secundaire brandstoffen. De capaciteit van de boiler is 30 MWth en er wordt ca. 60 000 ton secundaire brandstoffen per jaar verwerkt.<sup>44, 45, 46</sup>



## 3.2 Systemen bestaande uit een mechanische voorbehandeling en composteren van de organische fractie

### 3.2.1 Linde-KCA-Dresden GmbH: tunnel compostering, compostering in beluchte hopen en intensieve compostering<sup>34</sup>

*Linde-KCA-Dresden GmbH* is een dochteronderneming van *Linde AG, Wiesbaden*. Deze onderneming heeft in het verleden de technologieën en de ervaring van *Austrian Energy & Environment* met betrekking tot mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen overgenomen. Ze noemen zichzelf een marktleider op dit gebied. Het bedrijf ontwikkelt en bouwt behandelingsinstallaties voor verschillende soorten afvalstromen. Hierbij is er keuze tussen verschillende vergistingsprocessen en composteringprocessen.

Voor volgende soorten afval kan *Linde-KCA-Dresden* een voorbehandelingssysteem ontwikkelen en bouwen:

- Biowaste van selectieve inzameling
- Restafval
- Gemengd afval/huishoudelijk afval
- Met huishoudelijk afval gelijkgesteld industrieel afval
- Keukenafval
- Marktafval
- GFT-afval
- Dierlijke mest
- Afvalwaterzuiveringsslib

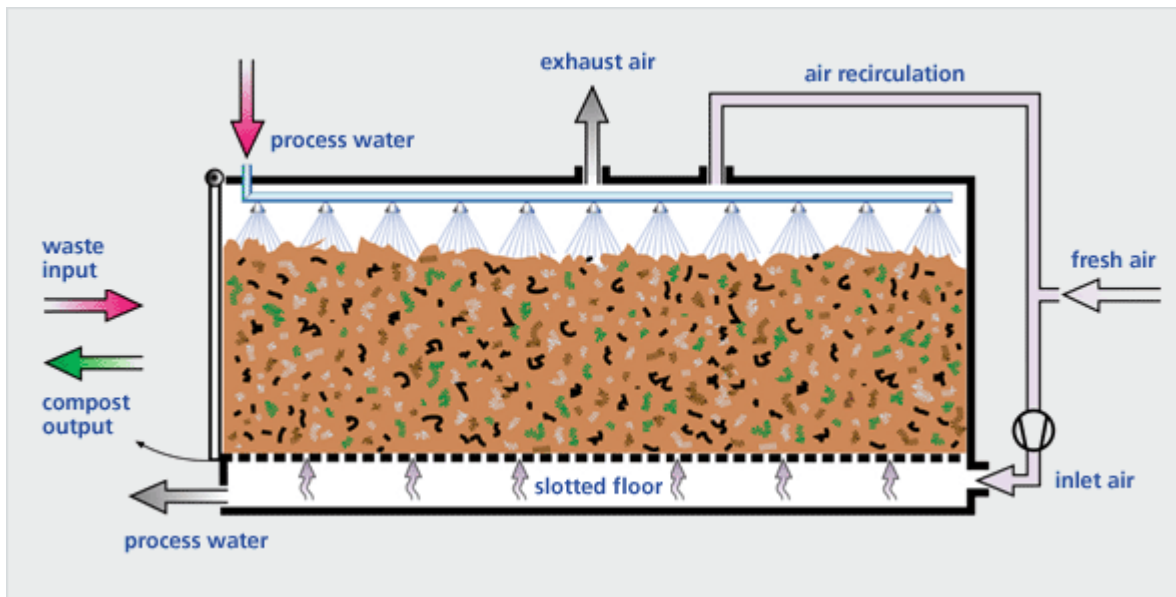
Op gebied van compostering, kan er een onderscheid gemaakt worden tussen tunnelcompostering, compostering in beluchte hopen en intensieve compostering. Voor huishoudelijk restafval is er enkel een referentie voorhanden voor de tunnelcompostering.

#### a) procesbeschrijving en stand van zaken voor tunnelcompostering

Het tunnelcomposteringproces vindt plaats in een gesloten reactor met beluchting en is geautomatiseerd. De tunnels kunnen beladen en geleidigd worden via een geautomatiseerd mechanisch systeem of door een bulldozer.

Het systeem is economisch rendabel vanaf een doorzet van ca. 3 000 ton afval per jaar. In de eerste plaats is het ontwikkeld voor de behandeling van biowaste. Daarnaast is het eveneens een bewezen technologie voor de stabilisatie van restafval en de nabehandeling van het digestaat van een vergistingsproces.

In Duitsland is een mechanisch-biologische voorbehandelingsinstallatie voor restafval operationeel sinds 2000. Deze wordt uitgebraat door het *Entsorgungs-Gesellschaft Westmünsterland mbH* en is gesitueerd in *Borken*. De installatie verwerkt jaarlijks 85 000 ton restafval. Het restafval ondergaat eerste een mechanische voorbehandeling waarbij het afval gemaal wordt en gezeefd. Nadat de ferrofractie is afgescheiden wordt het tenlotte gehomogeniseerd. De biologische verwerking heeft plaats in 26 composteertunnels. De hoogcalorische fractie wordt nabehandeld. De afvalgassen worden behandeld. Er zijn geen details beschikbaar met betrekking tot de nabehandelingstechnieken.



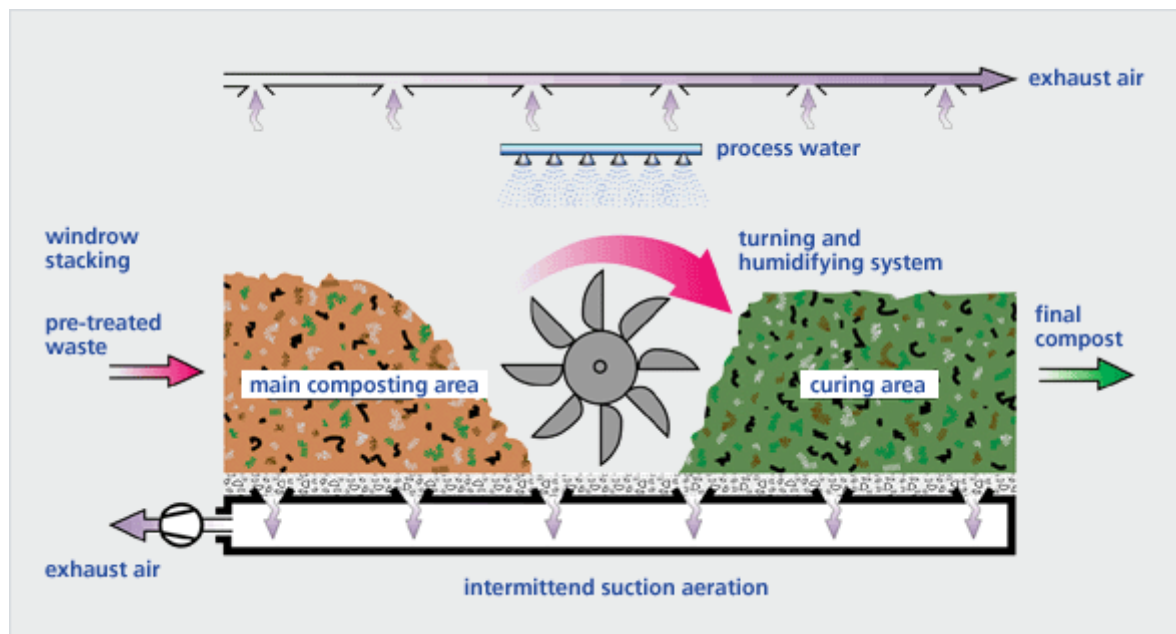
### b) Procesbeschrijving en stand van zaken voor de compostering via beluchte hopen

Hoewel voor deze techniek geen *full scale* praktijkvoorbeeld is gegeven met betrekking tot huishoudelijk afval, wordt de beschrijving toch gegeven, aangezien het om één en dezelfde leverancier gaat, omdat het voornamelijk geschikt is voor de voorbehandeling van huishoudelijk restafval en omdat *Linde-KCA-Dresden GmbH* op de website geen volledig overzicht geeft van alle bestaande installaties.

Bij dit composteringstype worden de hopen omgekeerd en bevochtigd. Beluchting gebeurt door periodiek de lucht af te zuigen doorheen gaten in de opgehoogde vloer. Het keren van het materiaal kan ofwel gebeuren door de hopen te verplaatsen, maar kan eveneens automatisch en machinaal gebeuren via computergestuurde programma's.

Het proces kan zowel gebruikt worden voor het composteren van *biowaste* als voor het stabiliseren van gemengd huishoudelijk afval en restafval. Het is zeer geschikt voor grote verwerkingscapaciteiten zoals meestal het geval is bij de verwerking van restafval.

Voor deze techniek werden geen praktijkvoorbeelden aangehaald.

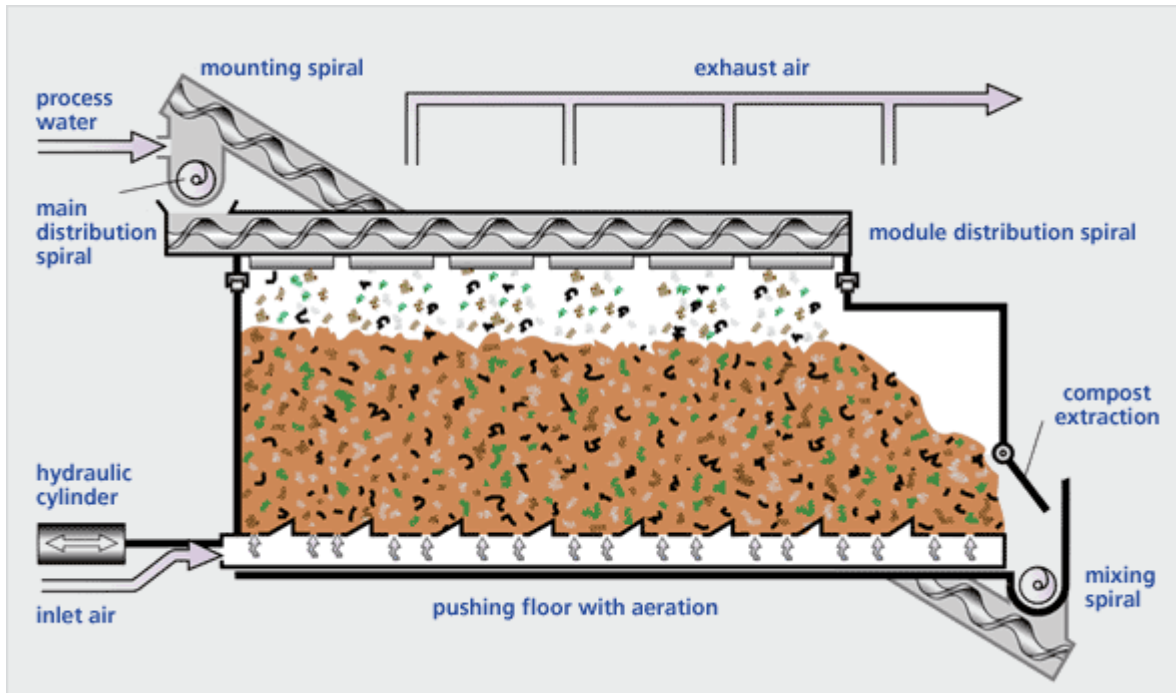


### c) Procesbeschrijving en stand van zaken voor het intensief composteren

Hoewel voor deze techniek geen *full scale* praktijkvoorbeeld is gegeven met betrekking tot huishoudelijk afval, wordt de beschrijving toch gegeven, aangezien het om één en dezelfde leverancier gaat, omdat het ook geschikt is voor de voorbehandeling van huishoudelijk restafval en omdat *Linde-KCA-Dresden GmbH* op de website geen volledig overzicht geeft van alle bestaande installaties.

Dit composteringsproces is een quasi-dynamisch proces met een modulair ontwerp. Het materiaal wordt automatisch aan de composteringsinstallatie gevoed via een spiraalsysteem. In functie van vordering van het composteringsproces kan het materiaal gedraaid worden of uitgeladen worden. Er wordt gezorgd voor het continue homogeniseren van het materiaal en voor de compensatie van verlies aan materiaal tengevolge van de biologische afbraak. Het draaien van het materiaal in combinatie met de beluchting ervan maakt dat dit proces geschikt is voor verschillende afvaltypes: groen afval, biowaste, huishoudelijk restafval en digestaat uit vergistingsprocessen.

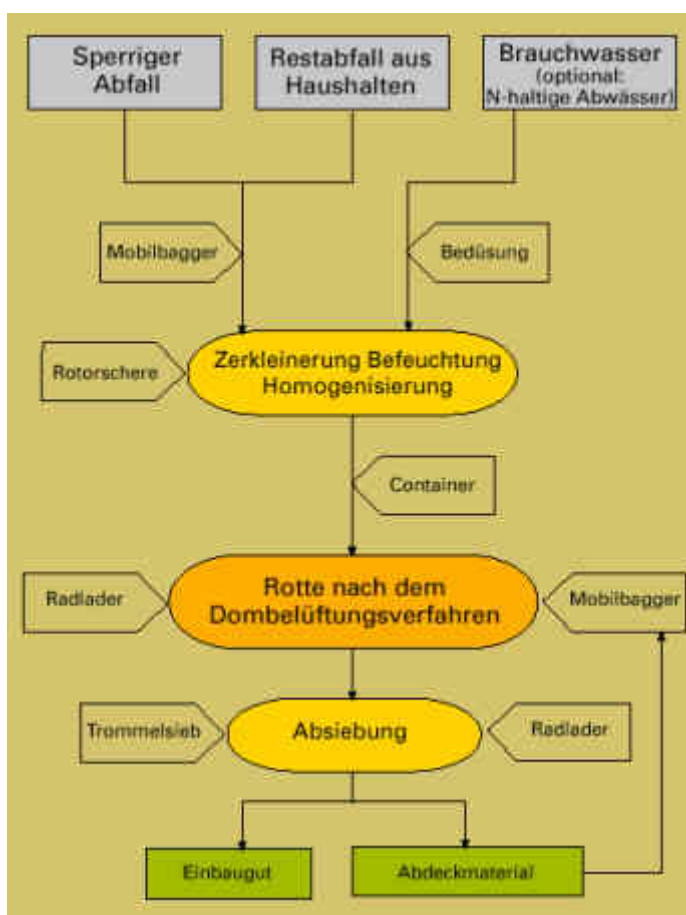
Dankzij het modulaire ontwerp is dit proces zeer geschikt voor een kleine tot gemiddelde doorstroom van afval. In 2003 is in *Petite-Synthe, Dunkerque/France* een composteerinstallatie van start gegaan voor biowaste, tuinafval en afvalwaterzuiveringslib.



### 3.2.2 Dombelüftung<sup>47, 48</sup>

De *Dombelüftungsinstallatie* is inzetbaar voor alle afvalstromen die biologisch afbreekbaar zijn. Het proces werd ontwikkeld door de *Technische Universiteit van Dresden*. Sinds 1999 wordt de techniek *full scale* ingezet op een mengsel van zuiveringslib en hout. Het *Kompostwerk Göttinghen* is sinds 2001 *full scale* operationeel. Voor het composteren van groenafval (bomen en struiken) zijn reeds verschillende *full scale* referenties, ondermeer in Hongarije. Verder zijn er plannen om deze techniek toe te passen voor de behandeling van *biowaste* en voor de droging van secundaire brandstoffen, bijvoorbeeld houtsnippers.

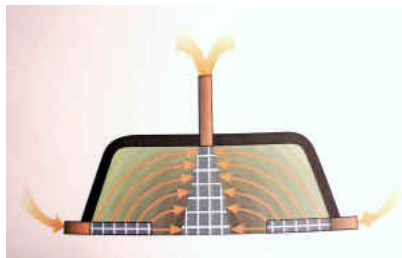
De stad *Cottbus* (Duitsland) past sinds 2001 de techniek toe op restafval als voorbehandeling voor het storten. Ze hebben een bedrijfsvergunning tot 2005. Jaarlijks wordt meer dan 50 000 ton afval behandeld. De verschillende stappen van het voorbehandelingssysteem zijn weergegeven in Figuur 36.



Figuur 36: Schematische voorstelling van het mechanische biologische voorbehandelingssysteem op basis van het Dombelüftungsconcept

### a) Procesbeschrijving

De *Dombelüftung* is een methode waarbij het afval mechanisch verkleind wordt, niet door shredding, maar door het te vermalen of in stukken te breken. Hierdoor vergroot de specifieke oppervlakte waarop de micro-organismen kunnen werken. Nadien wordt het vermengd met een welbepaalde hoeveelheid water en gedeponerd in de vorm van walvormige rijen (*windrows*), waarbij gebruik wordt gemaakt van onderdelen die toelaten dat de lucht vrij doorheen het afval stroomt. Een schematische dwarsdoorsnede van deze walvormige rijen is weergegeven in Figuur 37. Een foto is weergegeven in Figuur 38.



*Figuur 37: Schematische dwarsdoorsnede van een walvormige rij volgens het Dombelüftungconcept*



*Figuur 38: foto van een walvormige rij volgens het Dombelüftungconcept*

Een typische walvormige rij is ca. 10 m breed aan de voet, ca. 4 m hoog en ongeveer 60 m lang (de lengte is voornamelijk afhankelijk van de beschikbare ruimte). Het verkleinde afval wordt bedekt met een laag bodem of met een laag reeds behandeld afval om het te beschermen tegen uitdroging en extreme temperaturen. De lucht wordt aangevoerd doorheen eenvoudige en goedkope roosters die aan de voet van de wal geplaatst werden en verlaat de wal doorheen een eenvoudige en goedkope plasticen schouw.

Binnen de 48 uur na het plaatsen van de walvormige rijen begint het biologische afbraakproces, dat resulteert in een zichtbare afgassenpluim ter hoogte van de schouwen. Deze afgassen zijn ca. 70°C. Het afbraakproces duurt ongeveer 3 maanden. Na 4 maanden wordt het -ondertussen bodemachtige- materiaal dat overblijft gestort. Het materiaal heeft dan geen potentieel meer om te vervuilen.

**b) Onbeantwoorde vragen omtrent het proces**

De juiste samenstelling van de afgassen die uit de schouw komen is nog steeds een discussiepunt. Voorstanders van het systeem beweren dat het bestaat uit een mengsel van lucht, waterdamp, CO<sub>2</sub> en spoorelementen en dat de samenstelling voldoet aan de Duitse milieuwetgeving. Volgens hen zijn de afgassen virtueel onschadelijk. Tegenstanders beweren dat de afgassen eveneens andere vervuilende componenten bevat. Ze zijn ook van mening dat de CO<sub>2</sub> op zich reeds ongewenst is als zijnde een broeikasgas. CO<sub>2</sub> wordt echter ook door alle andere gelijkaardige processen geproduceerd. Bijkomend onderzoek naar de samenstelling van de afgassen is daarom gewenst.

**c) Stand van zaken**

De stad *Cottbus* (Duitsland) past sinds 2001 de techniek toe op restafval als voorbehandeling voor het storten. Er zijn plannen om deze techniek toe te passen in Zuid-Afrika, eveneens als voorbereiding op het storten.

### 3.2.3 Schwarting MBA concept<sup>49</sup>

Er wordt gebruik gemaakt van bewezen composteringstechnieken. Voor elk van deze technieken bestaan verschillende *full scale* praktijkvoorbeelden.

Het bedrijf staat niet alleen in voor de bouw van de installaties en voor het beheer van de processen, maar ook voor de bevoorrading van de lucht en voor de luchtzuiveringsinstallaties.

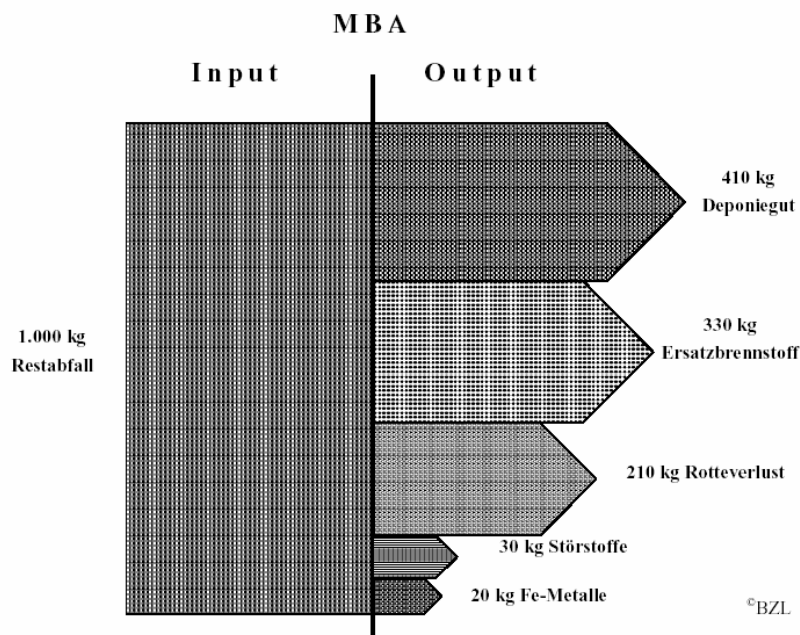
#### a) Stand van zaken

In Tabel 23 wordt een overzicht gegeven van de *full scale* praktijkvoorbeelden van het *Schwarting MBA* concept in Duitsland. Figuur 39 geeft de massabalans van de *full scale* installatie te *Lüneburg*.

Meer gedetailleerde informatie is hierover niet beschikbaar. Uit de beschikbare informatie van het bedrijf kan wel besloten worden dat dit systeem speciaal ontwikkeld is als voorbereiding op het storten van afval.

Tabel 23: Toepassing van het Schwarting MBA concept op huishoudelijk restafval in Duitsland

Locatie	Verwerkingscapaciteit	Jaar van implementatie
MBRA Düren	150 000 ton/jaar	1995
MBV Lüneburg	25 000 ton/jaar	1995
MBA Linkenbach, Neuwied	57 000 ton/jaar	1998





*Figuur 39: Massabalans van de mechanisch-biologische voorbehandelingsinstallatie MBA  
Lüneburg<sup>50</sup>*

### 3.3 Systeem bestaande uit een mechanische voorbehandeling en volledige compostering van de organische fractie

Naast het biologisch drogen van afval, waarbij een deel van de biologisch afbreekbare fractie microbiologisch wordt afgebroken en tegelijk het overblijvende materiaal wordt uitgedroogd (waardoor het biologisch geïnactiveerd wordt), is er nog één andere techniek waarbij geen biogas wordt geproduceerd, het Faber-Ambra procédé dat gebaseerd is op een volledige aërobe afbraak van de biologisch afbreekbare fractie van het afval.

#### 3.3.1 Faber Ambra® concept<sup>51</sup>

Het *Faber-Ambra*®-proces werkt met verschillende modules en is toepasbaar op een brede range van afvaltypes.

De toepassing van het concept vertrekt altijd vanuit een module "mechanisch-biologische voorbehandeling".

De beschrijving van deze basismodule komt overeen met de *Meisenheim* installatie.

#### a) Procesbeschrijving

##### *De beschrijving van de basismodule*

Tijdens de mechanische voorbehandeling wordt het afval vermalen en gehomogeniseerd in een gesloten trommel. Tijdens deze stap wordt percolaat van om het even welke stortplaats toegevoegd. Dit houdt de kosten laag en zorgt ervoor dat de stortplaats in kwestie veilig blijft.

De volgende stap is de biologische behandeling van het afval, dat noodzakelijk is om de Duitse normen van de *TA Siedlungsabfall* te kunnen halen. Het gaat om een aërobe behandeling (met zuurstof), waarbij de biologische afbreekbare fractie van het organisch materiaal bijna volledig afbreekt door middel van micro-organismen.

Dit kan bereikt worden door een afbraakproces van ongeveer 9-12 maanden. Volledige afbraak van de biologische organische fractie is de doelstelling van deze stap. Wanneer nog een fractie overblijft, zal dit later op anaërobe wijze afgebroken worden, zoals het geval is in traditionele stortplaatsen.

Een alternatieve biologische behandeling bestaat erin om eerst een anaërobe behandeling toe te passen volgens het *Valorga procédé* (zie 2.1.2 Valorga International' 70). De volgende stap is dan een aërobe behandeling.

Na de biologische behandeling wordt het afvalresidu in dunne lagen aangebracht op de stortplaats.

Toepassing van het *Faber-Ambra-proces* resulteert in de productie van een stortplaats die aan de meest recente vereisten voldoet in Duitsland.

Naast deze basismodule, werden verschillende behandelingsconcepten ontwikkeld voor de recuperatie van materialen en energie.

*De beschrijving van module 1: thermische toepassing van hoog calorische componenten*

Na de mechanisch-biologische voorbehandeling wordt het afval gezeefd en worden lichte partikels met een hoge calorische waarde ( $> 20\ 000$  KJ/kg) afgescheiden en gebruikt voor de productie van energie en stoom.

*De beschrijving van module 2: Materiaalhergebruik van de fijne partikels*

De overblijvende zware partikels bevatten nog een grote hoeveelheid hergebruikbare materialen. Deze fijne partikels kunnen via een mechanische proces (*Patent Faber Recycling GmbH*) afgescheiden worden en kunnen toegepast worden in de bouwsector.

*Combinatie van de verschillende modules*

Een overzicht van een volledige behandeling van het restafval is weergegeven in Figuur 40. Na de mechanisch-biologische voorbehandeling van het afval, worden de hoogcalorische partikels afgezeefd. De fijnere partikels worden afgescheiden van de zwaardere en gebruikt voor materiaalhergebruik.

Het overblijvende residu (ca. 30% van de oorspronkelijke massa) wordt in dunne lagen gedeponeed op de stortplaats.

Het Faber-Ambra-proces heeft eveneens economische voordelen. In vergelijking met andere voorbehandelingssystemen. De operationele kosten zijn relatief laag, er moeten geen langtermijn investeringen gemaakt worden en via de modulaire opbouw kan het proces aangepast worden in functie van veranderende omstandigheden (bv. verandering in de afvalsamenstelling). Het aërobe afbraakproces werkt op basis van passieve ventilatie, waardoor geen externe energie toegevoegd moet worden en dus CO<sub>2</sub>-emissies vermeden worden.



Figuur 40: Combinatie van de modules van het FABER-AMBRA®-proces

Meer technische en wetenschappelijke informatie omtrent de mechanisch-biologische voorbehandelingstechniek zijn eveneens terug te vinden op de website.

## b) Stand van zaken

Een mechanisch-biologische voorbehandelingsinstallaties werd in 1994 operationeel in Duitsland (*Meisenheim, Kreisverwaltung Bad Kreuznach*). Deze installatie zou overeenkomen met de beschrijving van de basismodule. Het zou dus niet gaan om een combinatie van de verschillende modules, maar om een voorbereiding op het storten van afval. Volgens de website van *Seghers Keppel* is voor de mechanische voorbehandeling van het afval gebruik gemaakt van de *DANOdrum*

Recentelijk worden nieuwe projecten uitgevoerd in Brazilië (pilotproject in Rio de Janeiro; full scale van 30.000 ton/jaar in Sao Sebastiao) en Thailand (Phitsanoluk, 40.000 ton/jaar). De economische voordelen die aan dit voorbehandelingsproces verbonden zijn, zijn van groot belang voor de toepassing van afvalbehandelingstechnieken in de ontwikkelingslanden. De installaties zijn steeds bedoeld voor het voorbehandelen van afval, alvorens het te storten.

## 4 SYSTEMEN/TECNIEKEN DIE NOG NIET BEWEZEN ZIJN VOOR DE VOORBEHANDELING VAN HUISHOUDELIJK AFVAL

### 4.1 CCp-Eurec-Verfahren<sup>52,53</sup>

*EuRec Technology GmbH* in samenwerking met *EuRec Technology GmbH* bieden complexe oplossingen aan met betrekking tot een geïntegreerd afvalbeheer. Hierbij wordt gestreefd naar een optimaal hergebruik van de materialen aanwezig in het restafval. Voor elke klant wordt gezocht naar de beste oplossing in functie van de specifieke omstandigheden.

Eén van de onderdelen van het geïntegreerde afvalbeheer is de mechanisch-biologische voorbehandeling van het restafval. De biologische behandeling kan bestaan uit biologisch drogen of een volledige aërobe afbraak van de biologisch afbreekbare fractie. Tijdens deze voorbehandeling wordt eerst de metalenfractie afgescheiden uit het restafval, daarna worden ook de inertenfractie en de biogene fractie afgescheiden. Het is eveneens mogelijk om de kunststoffenfractie af te scheiden van de restfractie.

De overblijvende fractie, voornamelijk bestaande uit hoogcalorisch materiaal, wordt omgevormd tot een secundaire brandstof door het materiaal samen te persen in balen, zodat het opgeslagen kan worden en later gebruikt kan worden voor verschillende toepassingen. De calorische waarde van deze secundaire brandstoffen is meer dan 16 000 kJ/kg.

Deze mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen worden modulair opgebouwd, hetgeen toelaat om het systeem optimaal te kunnen aanpassen aan de vragen van de klant.

#### a) Procesbeschrijving

Elk voorbehandelingssysteem heeft een ontvangsthal waar het restafval wordt afgeleverd.

Volgende modules kunnen opgenomen worden in een voorbehandelingssysteem:

- Een verkleiningsinstallatie
- Een schijfafscheider
- Een doseerinstallatie
- Een composteerinstallatie
- Nabehandeling van de hoogcalorische fractie

#### *De verkleiningsinstallatie*

Het afval wordt verkleind tot een afmeting van < 300 mm en op hetzelfde moment worden de vuilniszakken geopend. De installatie wordt centraal gestuurd en past zich aan de andere processtappen aan.

#### *Scheibenseparator*

Het betreft een efficiënte scheidingstechniek die weinig onderhoud vraagt. Het gaat om een zeer compacte installatie. Door toepassing van speciale apparaten wordt het afval opgedeeld in een boven- en een onderstroom. Zware stoffen worden door de hoge energie-inslag goed gescheiden. Hierdoor kan een optimale afscheiding van de biogene fractie bekomen worden. De schijven en de assen worden continu gereinigd, hetgeen resulteert in

een hoge bedrijfszekerheid. De installatie wordt centraal gestuurd en past zich aan de andere processtappen aan.

In de bovenstroom bevinden zich de metalen en de hoogcalorische fractie, bestaande uit kunststoffen, hout, leer, rubber, papier, textiel en karton. In de onderstroom bevinden zich de composteerbare materialen en ook de inerte fractie.

De onderstroom gaat naar de compostering. De bovenstroom gaat -eventueel na een manuele sortering van de fijne fractie- naar de doseerinstallatie.

#### *De doseerinstallatie*

In deze bunker wordt het hoogcalorische materiaal samengeperst tot balen en in een folie verpakt.

#### *Composteerinstallatie*

De onderstroom wordt gecomposteerd. In functie van de gewenste graad van afbraak, wordt een andere techniek gebruikt.

In bepaalde gevallen kan de resulterende compost vermarkt worden als hoge kwaliteitscompost. Indien dit niet het geval is, wordt het materiaal gedurende lange tijd gecomposteerd totdat het volledig gemineraliseerd is en het toegepast kan worden als vulstof of als afdekmateriaal voor een stortplaats. In dat geval duurt de compostering 12 weken.

## 4.2 Biopuster<sup>54</sup>

Het *Biopuster* concept is in de eerste plaats ontwikkeld in het kader van de nazorg van stortplaatsen. Deze kunnen nog jaren na sluiting emissies veroorzaken die voor reukoverlast zorgen, toxisch zijn of explosief. Daarnaast kan het grondwater onder de stortplaatsen sterk vervuild worden doordat sterk vervuild water uit de stortplaatsen lekt. Om deze schadelijke effecten te vermijden is een aërobe behandeling van de stortplaats noodzakelijk. Om dit te bereiken wordt met zuurstof verrijkte lucht in de stortplaats geïnjecteerd en op homogene wijze verdeeld over de ganse stortplaats.

Bij toepassing van de BIOPUSTER® wordt met zuurstof verrijkte lucht onder druk (2-6 bar) geïnjecteerd. Naast de beluchting van de stortplaats worden de geproduceerde afbraakgassen afgezogen en gezuiverd door middel van een filter. De duur van de behandeling is van cruciaal belang. Tests wijzen uit dat de behandeling minimaal 3-4 weken moet duren. Voor deze toepassingen zijn praktijkvoorbeelden bekend.

Daarnaast is eveneens een test ondernomen om het *Biopuster*-concept toe te passen in het kader van de mechanisch-biologische voorbehandeling van afval. Een grootschalige test werd uitgevoerd ter hoogte van *Stendal* (Duitsland) tijdens de periode 1997-1998. Meer details hieromtrent zijn niet beschikbaar.

## 4.3 Rumen oy<sup>55</sup>

De mechanisch-biologische voorbehandelingsinstallatie van *Rumen Oy* in *Lahti*, Finland kan alle fracties van het huishoudelijk afval behandelen. Het selectief inzamelen van het afval kan tot een absoluut minimum beperkt worden. Het ontwerp van het mechanische gedeelte van de installatie is het resultaat van de zeer lange ervaring die *Rumen* heeft opgedaan van hun REF/RFD installaties en bestaat uit installaties om te sorteren, te screenen, te scheiden en te vermalen. De graad van herwinning van brandbare materialen kan zeer hoog zijn, afhankelijk van de inputmaterialen.

De biologische behandeling gebeurt in de gesloten trommel composteringstechnologie van *Rumen*. De toegepaste *Quantor* composteertrommels zijn uitgerust met de noodzakelijke beluchtungs- en luchtzuiveringssystemen. Het composteringsproces gebeurt steeds in optimale omstandigheden en garandeert een doorgedreven sanitatie van het afval en een hoge reductie van de massa van het afval. Het *multi-fase* composteringsproces duurt 13-16 dagen. Het is eveneens een economische manier om het materiaal te drogen. Alle procesgassen worden behandeld en de geuremissies zijn zeer laag. Alle installaties zijn volledig geautomatiseerd. Er is weinig personeel nodig en de werkomstandigheden zijn goed en veilig.

Er kunnen verschillende fracties gerecupereerd worden uit het afval: waardevolle metalen, verschillende kunststoffen fracties, ...

Er is geen informatie beschikbaar over operationele *full scale* installaties in Europa of elders. Er wordt enkel vermeld dat er verschillende vragen zijn naar voorbehandelingsinstallaties, waarvoor *Rumen* een voorstel heeft gemaakt.

#### 4.4 Het Texan proces<sup>56</sup>

Het *Institut und Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe* (IAR) van het *Institut für Aufbereitung, Kokerei und Brikettierung* (IFA) van de Universiteit van Aachen hebben een nieuwe mechanisch-biologische voorbehandelingsmethode ontwikkeld die de voordelen van een natte vergisting en een percolatieproces combineert. TEXAN staat voor *Treatment of Municipal Solid Waste by Extraction and Anaerobic Digestion*. In 2003 werden de eerste testresultaten gepubliceerd van een proefinstallatie op laboratoriumschaal. De context waarbinnen deze nieuwe technologie wordt ontwikkeld is de Europese Richtlijn (1999/31/EG) rond het beheer van stortplaatsen, die in 2005 geïmplementeerd dient te zijn. Bij implementatie van deze Richtlijn dient het Duitse restafval voorbehandeld te worden alvorens het te kunnen storten. Het bevat nog 30% biologisch afbreekbaar materiaal.

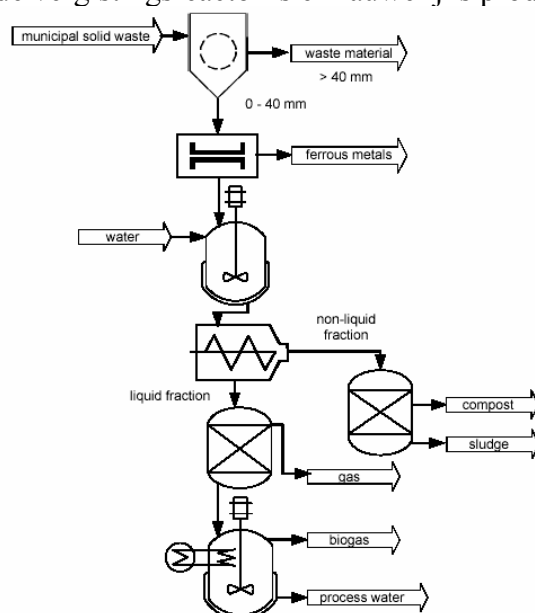
##### a) Procesbeschrijving

Een mechanische voorbehandeling scheidt de ferrofractie af van de rest van het huishoudelijk restafval. Enkel de fractie 0-40 mm gaat verder naar de biologische voorbehandeling.

Deze organische verrijkte fractie wordt in een volgende stap goed vermengd met water. Uit de ontstane brij wordt een organisch verrijkte suspensie geperst, die verder gaat naar de vergistingsstap. Dit is de extractiestap. De vaste fractie gaat naar een composteringsinstallatie, waaruit compost en een slibfractie komen.

In de waterige suspensie komen enkel partikels < 2 mm terecht. Dit heeft volgende voordelen:

- De input aan droge stof van de vergistingsreactor is zeer laag
- De composteringstijd kan verkort worden
- De vergisting kan probleemloos volledig gebeuren, waarbij het materiaal volledig kan omgezet worden in biogas
- Ter hoogte van de vergistingsreactor is er nauwelijks productie van een slibfractie



Figuur 41: Algemeen overzicht van het Texan proces



**b) Voorlopig besluiten**

Positieve resultaten werden behaald met betrekking tot de productie van biogas met een hoog methaangehalte (64% methaan), ondanks het feit dat enkel de <2 mm partikels getransfereerd werden naar de suspensie en ondanks de korte vergistingstijd. Het feit dat er praktisch geen slib geproduceerd werd ter hoogte van de vergistingsreactor was eveneens positief.

Het gehalte aan organisch materiaal is gereduceerd met 50%. Het geproduceerde biogas kan voorzien in de energiebehoefte van de verwerkingsinstallatie.

In een volgende onderzoeksfase zijn volgende aanpassingen gepland:

- Verwarming van het water voor de suspensie, zodat de extractie van biologisch afbreekbare partikels geoptimaliseerd kan worden
- Verkleinen van het afval vóór de extractiefase, zodat een groter gehalte aan organisch materiaal getransfereerd kan worden naar de suspensie
- Verschillende technische aanpassingen aan de composteringsinstallatie om de warmteverliezen te minimaliseren.

## 5 ANDERE NIET-THERMISCHE VOORBEHANDELINGEN VOOR HUISHOUDELIJK AFVAL

Niet alle geïnventariseerde technieken blijken te voldoen aan de connotatie mechanisch-biologische voorbehandeling voor huishoudelijk restafval.

In bepaalde gevallen gaat het enkel om een mechanische voorbehandeling. Omgekeerd bestaan sommige systemen enkel uit een biologische behandeling van het afval.

In het geval van *FibreCycle* en *SWERF* wordt het afval voorbehandeld in een autoclaaf, hetgeen een niet-biologische, niet-mechanische en niet-thermische voorbehandeling is.

### 5.1 Biologische voorbehandelingstechnieken

#### 5.1.1 Vorarlberger Kraftwerke Anlagenbau und Umwelttechnik GmbH <sup>57</sup>

*VKW ANLAGENBAU UND UMWELTTECHNIK GMBH* is een dochtermaatschappij van *Vorarlberger Kraftwerke AG (VKW AG)*, een provinciale elektriciteitsproducent en leverancier in Duitsland. *VKW AG* besloot in 1996 om zijn activiteiten te diversifiëren en name het ingenieursbedrijf *Vogel & Müller* over (de vorige naam van *VKW ANLAGENBAU UND UMWELTTECHNIK GMBH*).

Het bedrijf stelt het *>KoRa<-proces* voor ofte het *Compact-Rotting-Process* (Tunnelcompostering). Dit kan toegepast worden voor de compostering van *biowaste*, voor de stabilisatie van huishoudelijk restafval of voor de compostering van huishoudelijk restafval.

Dit systeem is beschikbaar in combinatie met een aangepaste luchtzuiveringsinstallatie, die kan bestaan uit een biofilter, een scrubber of een regeneratieve naverbrander. De keuze van de nabehandelingstechniek hangt af van de plaatselijke milieuvoorschriften.

Het gaat hier in feite niet om een volledig mechanisch-biologisch voorbehandelingssysteem, enkel om de biologische voorbehandelingsstap. Het kan gekozen worden als de biologische stap van een mechanisch-biologische voorbehandeling. *VKW AG* biedt echter niet een totaalpakket aan voor mechanisch-biologische voorbehandeling. Daarom is deze leverancier niet echt relevant in het kader van de mechanisch-biologische voorbehandeling van restafval in Vlaanderen.

#### a) Stand van zaken

Er zijn twee *full scale* praktijkvoorbeelden van dit voorbehandelingssysteem binnen Europa. Tijdens de periode 1994-1996 werd de verouderde composteerinstallatie in *Zell am Zee* (Oostenrijk) uitgebreid en gemoderniseerd. Het betrof een composteerinstallatie voor de behandeling van huishoudelijk afval en zuiveringsslib. Het betreft de eerste voorbehandelingsinstallatie voor organisch afval en restafval.

Het afval van 100 000 inwoners van de *Pinzgau* regio wordt behandeld in deze voorbehandelingsinstallatie.

De aanpassingen aan de bestaande installatie waren ondermeer de omvorming van de bestaande composteerinstallatie tot een MBA voor het restafval en de bouw van een nieuwe composteerinstallatie voor de behandeling van het biologisch afval.

Volgende afvalstromen worden jaarlijks behandeld:

- GFT-afval: 6 000 ton/jaar
- Restafval en zuiveringsslib: 25 000 ton/jaar
- Afval van handel en diensten: 8 500 ton/jaar
- Groot vuil: 3 000 ton/jaar

In *Campania*, nabij *Napoli* (Italië) is in de periode 2000-2001 een nieuw afvalverwerkingscentrum opgebouwd. Dit vereiste ondermeer de bouw van 7 mechanisch-biologische voorbehandelingsinstallaties. De composteringsinstallaties van de 5 grootste MBA's werden gebouwd door VKW ANLAGENBAU UND UMWELTTECHNIK GMBH. De grootste heeft een verwerkingscapaciteit van 270 000 ton/jaar en de vier andere van 135 000 ton/jaar.

### **5.1.2 Haschemi - Verfahren<sup>52,53</sup>**

Het Haschemi-verfahren is een composteringstechniek dat toegepast wordt in combinatie met de modules van het CCp-Eurec-Verfahren (zie CCp-Eurec-Verfahren<sup>51F,52F</sup> pagina 125). Het gaat om een open composteringstechniek, die werkt via een passieve beluchting. Het is een technologie die zeer geschikt is voor toepassing in de warmere klimaatzones. Een full scale praktijkvoorbeeld hiervan is de behandeling van de het huishoudelijk afval van Teheran (Iran). Iedere dag wordt 1 000 ton afval behandeld.

Deze techniek is daarom niet relevant in het kader van de voorbehandeling van huishoudelijk restafval in Vlaanderen.

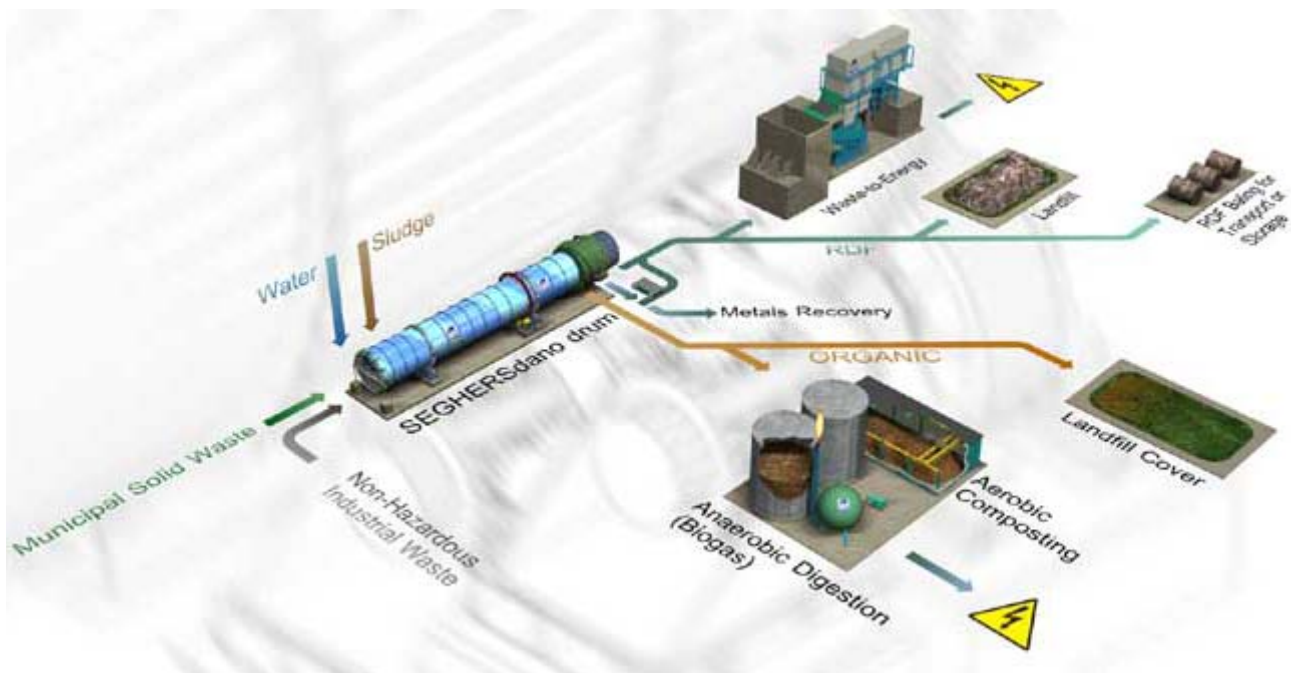
## 5.2 Mechanische voorbehandelingstechnieken

### 5.2.1 DANODrum

*Seghers Keppel* heeft de DANODrum ontwikkeld voor de mechanische voorbehandeling van huishoudelijk afval.

De trommel is een horizontaal opgestelde draaiende stalen cilinder die automatisch schreddert, mengt en het afval sorteert in verschillende fracties. Deze fracties kunnen vervolgens biologisch of thermisch behandeld worden of kunnen gestort worden.

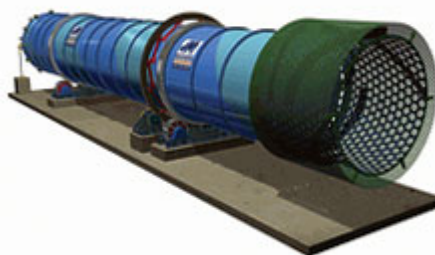
Eén trommel heeft een capaciteit van 20 ton/uur en werkt continu. Het draaien van de trommel, aan 3.6 omwentelingen per minuut, resulteert in de afbraak van de zachtere componenten tengevolge van botsing en wrijving tussen deze partikels en de wand van de trommel en de hardere partikels.



*Figuur 42: Toepassingsgebieden van de DANODrum technologie van Seghers Keppel*



*Figuur 43: Foto van de binnenzijde van de DANODrum*



Figuur 44: Tekening van de DANODrum

#### a) Stand van zaken

Er zijn een aantal *full scale* toepassingen van deze mechanische voorbehandelingstechnologie te vinden binnen Europa:

- *Bad Kreuznach, Duitsland*: 40 000 ton/jaar, gebruik makend van twee DANODrums. Dezelfde referentie is terug te vinden bij het *FABER-AMBRA procédé*. Wellicht wordt voor het mechanische behandelingsgedeelte gebruik gemaakt van de technologie van *Seghers Keppel*;
- *Castel Di Sangro, Italië*: 60 ton / dag; voorbehandeling voor de productie van compost en de recuperatie van ferrometalen;
- *Manchester, UK*: 2 400 ton/dag; mechanische voorbehandeling van huishoudelijk afval via 8 DANODrums; de fijne fractie wordt gebruikt als bodemverbeteraar, de overige fracties worden gedeeltelijk gestort, gedeeltelijk energetisch gevaloriseerd en de ferro- en non-ferrofracties worden gerecupereerd;
- *Mont de Marsan, Frankrijk*: 27 000 ton / jaar; voorbehandeling van huishoudelijk afval als voorbereiding op de productie van klasse A compost.
- *Rosignano Maritimo, Italy* : 300 ton / dag; afscheiding van de inerte fractie van organische fractie voor de productie van compost in een afval recyclage installatie.

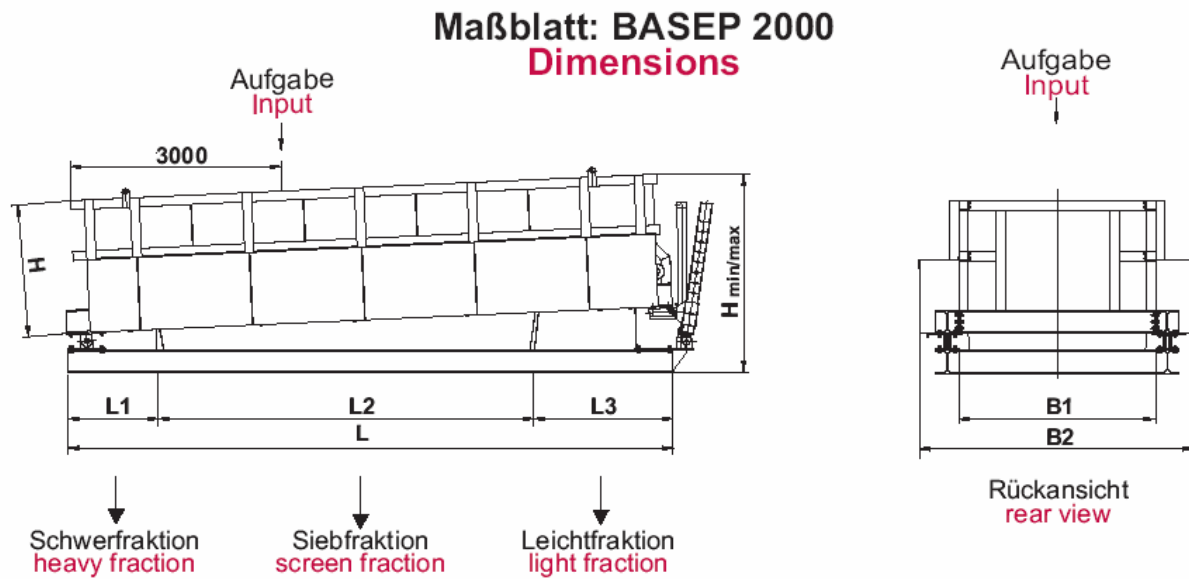
#### 5.2.2 BASEP 2000<sup>58</sup>

Deze techniek wordt door *Juniper* vermeld als één van de belangrijkste mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen. Uit informatie van de bedrijfswebsite blijkt echter dat het om een louter mechanische voorbehandelingstechniek gaat.

Het gaat om een ballistische sorteerinstallatie, die het huishoudelijk afval in verschillende fracties scheidt:

- Een lichte fractie: papier & karton, kunststoffolie, textiel, ...
- Een zware fractie: glas, stenen, rubber, metaal, PET-flessen, ...
- Fijne fractie: kan ingesteld worden volgende de wens van de klant

Een schematische voorstelling van de mechanisch voorbehandelingsinstallatie BASEP 2000 is weergegeven in Figuur 45.



*Figuur 45: Schematische voorstelling van de BASEP 2000*

#### a) Stand van zaken

Er zijn een aantal *full scale* toepassingen van deze mechanische voorbehandelingstechnologie te vinden binnen Europa:

- *UDB Umweltdienst Burgenland* (Oostenrijk): voorbehandeling van restafval sinds 2001;
- *AWV Kirchdorf* (Oostenrijk): voorbehandeling van huishoudelijk afval sinds 2001
- *Steinmüller Rompf/ La Coruna* (Spanje): voorbehandeling van restafval vanaf 2000

De installatie van *La Curuña* vormt onderdeel van het *Valorga* mechanisch-biologisch voorbehandelingsconcept.

## 5.3 Systemen die stoominjectie toepassen, in combinatie met andere voorbehandelingsstappen

### 5.3.1 Fibrecycle<sup>5</sup>

In de *Fibrecycle* wordt het huishoudelijk afval geconditioneerd in een trommel met stoom (autoclaaf). Vervolgens wordt het afval mechanisch gescheiden in verschillende fracties (inerten, metaal, plastic, vezels en een residu), welke gerecycleerd of energetisch gevaloriseerd kunnen worden. Vezels en plastic kunnen gebruikt worden voor recuperatie van energie, maar voor beide fracties is ook materiaalrecyclage mogelijk.

Vito heeft deze techniek geëvalueerd in het kader van de toekomstige verwerking van huishoudelijk restafval in de provincie Vlaams-Brabant. Voor een beschrijving en verdere bespreking van deze techniek wordt verwezen naar het eindrapport van deze studie.<sup>5</sup>

### 5.3.2 SWERF<sup>59,60</sup>

#### a) Procesbeschrijving

*SWERF<sup>TM</sup>* (*Solid Waste Energy and Recycling Facility*) is een geïntegreerd afvalverwerkingsysteem dat het huishoudelijk restafval voorbehandelt, recycleerbare fracties afscheidt, en de thermisch valoriseerbare fractie vergast.

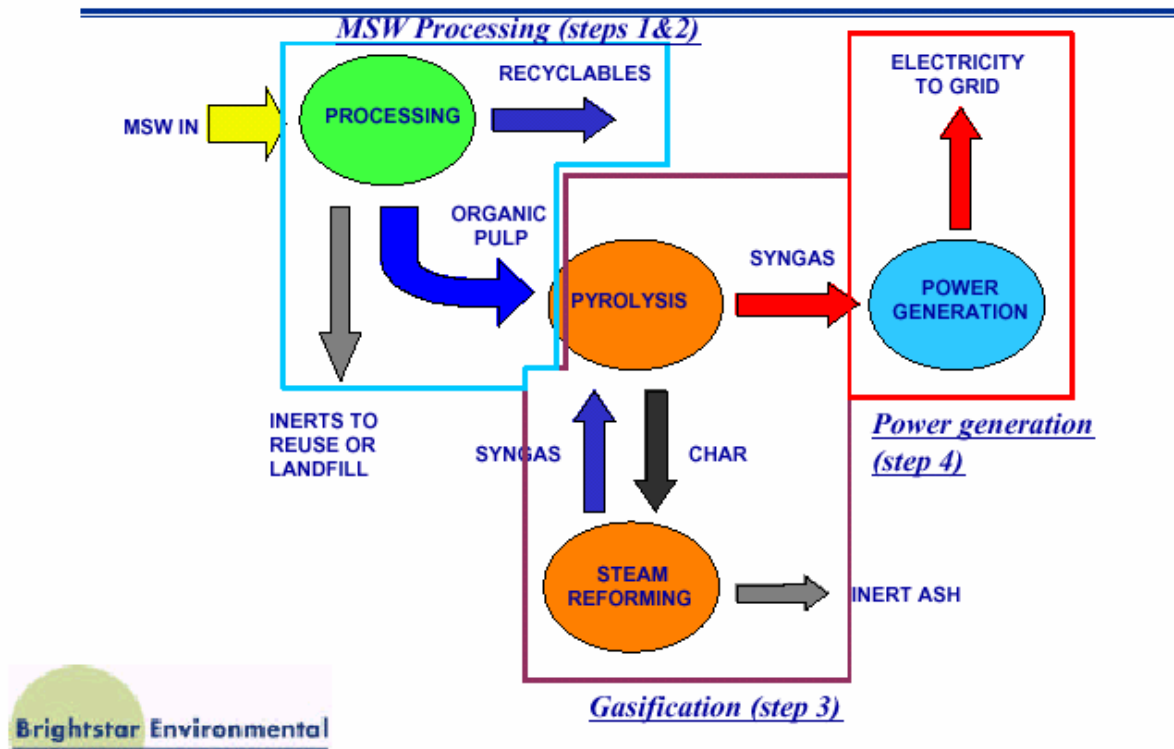
De voorbehandeling van het afval gebeurt met stoom in een autoclaaf. De stoom voor de autoclaaf is afkomstig van de afvalwarmte van gasmotoren. Met *eddy current* afscheiders, magneten en trommelzeven worden vervolgens ferro, non-ferro en harde kunststoffen uit het gestoomde afval verwijderd. De inerte materialen (zand, glas, steenslag) worden uit het pulp uitgewassen. Deze inerte fractie kan eventueel gebruikt worden in bouwtoepassingen of als stortafdekking. Vervolgens wordt het gewassen pulp ontwaterd en gedroogd. Het gewassen pulp bestaat uit het organisch materiaal en de lichte kunststoffen. Dit wordt gebruikt als voeding voor de vergasser.

Het autoclavieren is vergelijkbaar met de *Fibrecycle* techniek. In het *Fibrecycle proces* worden echter alle kunststoffen uit het gestoomde afval verwijderd, zodat enkel de organische fractie overblijft.

De residuele pulp-fractie wordt gepyrolyseerd. De gevormde cokes worden vervolgens vergast. Het syngas wordt gebruikt voor elektriciteitsproductie in gasmotoren.

Volgens cijfers van leverancier wordt een globaal rendement van ongeveer 25 % gerealiseerd.

## SWERF Process Diagram



Figuur 46: Processchema SWERF<sup>TM</sup>.

## b) Stand van de techniek

Momenteel zijn er geen voorbeelden van *SWERF*-installaties in Europa, maar in *Groot-Brittannië* werden wel enkele projecten aangekondigd, in *Kent* en in *Derby*.

Een grootschalige installatie werd gebouwd in *White Gully, Wollongong* in *Australië*. In de praktijk blijken er ernstige technische problemen te zijn met het vergassen van de cokes, die zover gaan dat *Energy Developments Limited*, de belangrijkste aandeelhouder, halfweg 2003 besloten heeft niet verder te investeren in ontwikkelingskosten en hun investeringen af te boeken.<sup>61</sup>

In *Groot-Brittannië* heeft de *Kent County Council* (KCC) plannen om vanaf 2005 afval te verwerken in een *SWERF*-installatie in *Shelford Farm, Canterbury*. In hoeverre deze plannen beïnvloed worden door de problemen in de Australische installatie is niet duidelijk.



## 6 NIET RELEVANTE SYSTEMEN/LEVERANCIERS

Hieronder worden de technieken opgesomd waarvan in de literatuur ten onrechte beweerd wordt dat het mechanisch-biologische voorbehandelingstechnieken zijn voor de verwerking van huishoudelijk (rest)afval. Deze technieken zijn bedoeld voor de verwerking van andere specifieke afvalstromen, zoals bijvoorbeeld slibs. Ook wordt hier *SOTEC* vermeld. Het betreft een ingenieurbureau dat systemen van andere leveranciers aanbiedt, maar zelf geen eigen voorbehandelingsconcept heeft ontwikkeld.

### 6.1 SOTEC<sup>62</sup>

*SOTEC* is gespecialiseerd in biologische en mechanisch-biologische voorbehandeling van afval. Voor iedere klant worden aangepaste concepten ontwikkeld voor een optimaal afval- en energiebeheer. Het bedrijf is niet afhankelijk van één enkele producent en kan daardoor garanderen dat de gebruikte technologie het best aansluit bij elke individuele situatie.

Wat betreft de mechanisch-biologische voorbehandelingen, kan gekozen worden tussen:

- Een mechanisch-biologische voorbehandelingsinstallatie met of zonder vergisting
- Een mechanisch-biologische voorbehandeling met vergisting, als voorbereiding op het storten

Volgende projecten met betrekking tot de mechanisch-biologische voorbehandeling van huishoudelijk afval zijn reeds gerealiseerd:

- *RABA Bassum*: biologische afvalbehandeling als voorbereiding op storten + recuperatie van een fractie voor energetische valorisatie; verwerkingscapaciteit van 65 000 ton/jaar; ca. 125 m<sup>3</sup> biogasproductie / ton afval; aandeel van *SOTEC* is het algemene ontwerp van de installatie. De technologie is de *DRANCO*-vergistingstechnologie die reeds eerder beschreven staat.
- *Orvieto* (Italië): biologische behandeling als voorbereiding op storten en recuperatie van een fractie voor energetische valorisatie; verwerking van 85 000 ton/jaar; aandeel van *SOTEC* is de bestelling van de installatie en de test-run

Op basis van de beschikbare informatie blijkt dat *SOTEC* werkt met andere bestaande mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen. Het bedrijf heeft geen eigen technologie dat het verkoopt.

### 6.2 VADEB® Thermal Kinetic Drying Technology<sup>63</sup>

Deze techniek wordt door *Juniper* vermeld als één van de belangrijkste mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen. Uit informatie van de bedrijfswebsite blijkt echter dat de droogtechnologie toegepast wordt op volgende specifieke stromen:

- Groenvoeders
- Slibs
- *Biosolids*
- RDF

Het gaat om een droogtechnologie en in geen geval om een mechanisch-biologische voorbehandeling.

### 6.3 Lurgi Energie und Entsorgung<sup>64</sup>

Deze firma wordt door *Juniper* eveneens vermeld als één van de belangrijkste leveranciers van mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen. Wat betreft afvalverwerkingstechnieken is dit bedrijf echter alleen actief op gebied van thermische technieken voor andere afvalstromen dan huishoudelijk afval.

In de inventarisatie van alternatieve verwerkingstechnieken voor de provincie Antwerpen was de installatie te *Wijster* (Nederland) één van de niet-geselecteerde voorbehandelingen op basis van een natte voorbehandeling. Uit beschikbare informatie op het internet blijkt dat het gaat om een voorbehandelingsconcept dat werd ontwikkeld en gebouwd door *Lurgi Energie und Entsorgung*. Het betreft een mechanische voorbehandeling, waarbij ondermeer de RDF-fractie wordt afgescheiden van een natte organische fractie die ook de fijne inerten bevat. Volgens de informatie uit de voornoemde inventarisatie wordt deze natte fijne fractie gestort en hieruit wordt stortgas gewonnen en gevaloriseerd. Het gaat dus niet om een echte mechanisch-biologische voorbehandeling.

### 6.4 Biodegma<sup>65</sup>

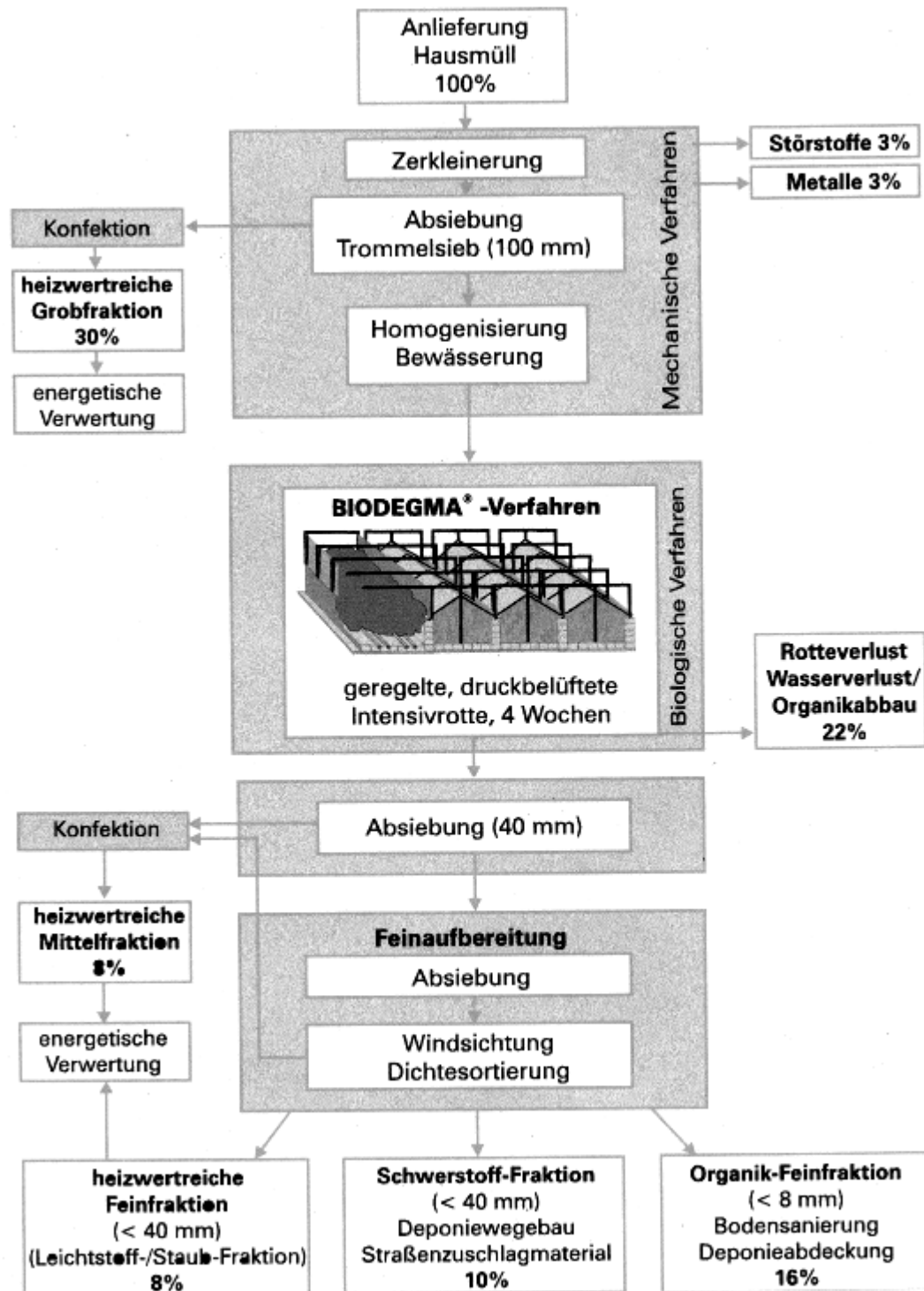
#### a) Procesbeschrijving + stand van zaken

De Duitse groep *Umweltschutz Nord (U-Nord-Gruppe)* heeft in het verleden het mechanisch-biologische voorbehandelingsproces *Biodegma* ontwikkeld. In Duitsland zijn hiervan verschillende *full scale* toepassingen te vinden.

Eén voorbeeld hiervan is de behandeling van het huishoudelijk afval in *Pössneck*, als voorbereiding op het storten. Het betreft hier ruw huishoudelijk afval (met inbegrip van de GFT-fractie), die niet selectief wordt ingezameld. Het afval wordt via een weegbrug afgeleverd en wordt verkleind door middel van een *schredder*. Het verkleinde afval wordt vervolgens gedurende 4 weken gecomposteerd. De beluchting van het afval gebeurt via beluchtungsleidingen in de bodem. De composteerkamers zijn afgesloten compartimenten die enkel geopend worden voor het vullen en ledigen. De afvallucht wordt gereinigd met behulp van een biofilter. Na deze behandeling wordt het restafval gestort op de nabijgelegen stortplaats. Er worden eveneens hoogcalorische fracties afgescheiden, die energetisch benut kunnen worden. De ganse voorbehandeling wordt weergegeven in Figuur 47.

Het beschreven voorbeeld is wellicht een vrij eenvoudig voorbeeld van het *Biodegma* voorbehandelingsconcept installatie. Volgens de beschikbare informatie kunnen de voorbehandelingsinstallaties voldoen aan de Duitse richtlijnen met betrekking tot luchtemissies door middel van een regeneratieve naverbrander.

De reden waarom van dit voorbehandelingsconcept geen uitgebreidere bespreking wordt gegeven, is dat *Umweltschutz Nord* in 2003 insolvent is verklaard. De toekomst van *Biodegma* is daarom zeer onduidelijk.



Figuur 47<sup>66</sup>: Algemene voorstelling van de Biodegma voorbehandelingsinstallatie te Pössneck (Duitsland)

## **7 SYSTEMEN/LEVERANCIERS WAARVOOR ONVOLDOENDE INFORMATIE BESCHIKBAAR IS**

### **7.1 AGSM Verona<sup>67</sup>**

In de inventarisatie van alternatieve afvalverwerkingstechnieken voor de provincie Antwerpen was eveneens de voorbehandeling "Scheiden en vergisten door AGSM" opgenomen. Deze techniek zou toegepast worden in *Verona* (Italië). Op internet is enkel Italiaanse informatie te vinden. Hieruit blijkt dat *AGSM* een energieleverancier is.

### **7.2 Horstmann Recyclingtechnik GmbH<sup>68</sup>**

Deze firma biedt zowel een mechanisch-biologische voorbehandeling (MBV) aan voor de verwerking van huishoudelijk afval, als een voorbehandeling waarbij secundaire brandstoffen worden geproduceerd (EBS). Meer informatie is echter niet beschikbaar. Het bedrijf levert eveneens composteerinstallaties. Voor deze toepassing worden referenties opgegeven, maar voor de voorbehandelingstechnieken voor huishoudelijk afval niet.

### **7.3 ReCulture<sup>69</sup>**

In de inventarisatie van alternatieve verwerkingstechnieken voor de provincie Antwerpen wordt eveneens de Zweedse firma *ReCulture* aangehaald. Deze zouden een voorbehandelingstechniek leveren waarbij geen energie gerecupereerd wordt tijdens de voorbehandeling, maar als eindproduct secundaire brandstoffen zou geven. Deze firma heeft een website, maar deze bevat enkel informatie in het Zweeds.

### **7.4 Gores**

De firma *Fa. Gores* zouden een belangrijker leverancier zijn van de mechanisch-biologische voorbehandelingstechniek *Gores*. Hierover is echter geen informatie te vinden.

**DEEL 3:**

**Technische fiches thermische verwerkingstechnieken van  
huishoudelijk afval.**



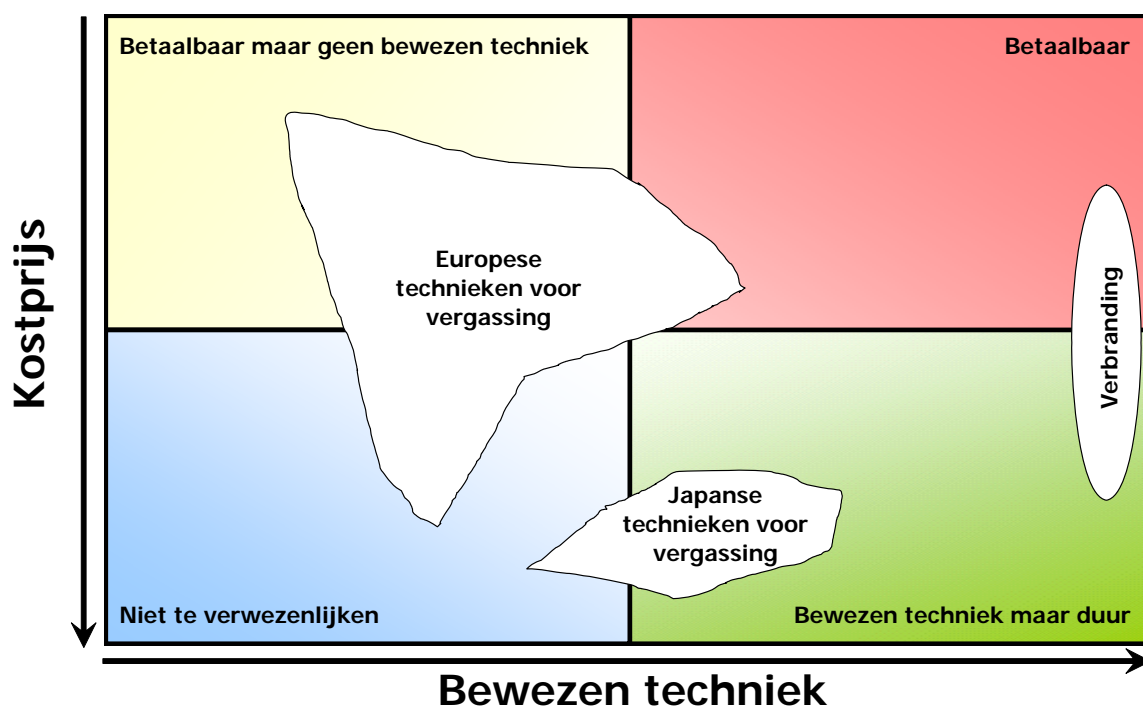
## 1 INLEIDING

In dit deel worden de volgende thermische verwerkingstechnieken voor huishoudelijke afval besproken:

Verbranding  
Vergassing  
Pyrolyse  
(Andere)

Voor vergassing en pyrolyse wordt er een *niet limitatieve* beschrijving gegeven van een aantal installaties in gebruik, in aanbouw en in voorbereiding.

Figuur 48 geeft een beeld van de huidige situatie (kostprijs – bewezen techniek) voor vergassing in Europa en Japan, vergeleken met verbranding.



Figuur 48: Kostprijs versus bewezen techniek voor vergassing in Europa en Japan<sup>70</sup>.

In Japan is vergassing als thermische verwerkingstechniek voor huishoudelijk afval reeds operationeel (commercieel). De hoofdredenen hiervoor zijn het gebrek aan stortgebied en de wens om verbranding te vermijden.

In Europa is verbranding veruit de meest voorkomende thermische verwerkingstechniek voor huishoudelijk afval. De interesse voor vergassing is aanwezig, er zijn reeds enkele pilotschalen actief, maar commercialisatie blijft uit. Volgens *Juniper*<sup>71</sup> zijn er verschillende redenen waarom vergassing van huishoudelijk afval in Europa nog niet commercieel is:

Vergassing van huishoudelijk afval is een minder bewezen techniek waardoor er hieraan risico's verbonden zijn;

Economische aspecten zijn nog niet duidelijk;

Vergassing vereist een zeer goede zuivering van het syngas wat grote kosten met zich meebrengt;

Zonder tussenkomst van de overheid zullen de verbrandingsinstallaties niet vervangen worden door vergassingsinstallaties;

...

Het ziet er dus naar uit dat vergassing en pyrolyse nog geen belangrijke rol gaan spelen voor de thermische verwerking van huishoudelijk afval in de nabije toekomst.



## 2 VERBRANDING

Bij verbranding wordt de brandstof (afvalstof), wanneer de omstandigheden ideaal zijn, volledig omgezet in water en CO<sub>2</sub>. Dit gebeurt bij een overmaat aan lucht. Zowel de temperatuurverdeling in de vuurhaard als de verblijftijd van het materiaal zijn van groot belang.

Er zijn verschillende typen verbrandingsprocessen, afgestemd op een specifieke schaalgrootte en op de eigenschappen van de brandstof :

- Roosterverbranding,
- Wervelbedverbranding,
- Vastbedverbranding (vnl. kleine schaal),
- Brandstof inblazing (bv. poederkool).

Onder verbranding vallen eveneens bijstook-initiatieven. Bij bijstoken wordt een deel van de primaire brandstof vervangen door een secundaire brandstof. Verbranding van huishoudelijk afval gebeurt in een roosteroven.

### 2.1 Roosteroven

#### 2.1.1 Procesbeschrijving <sup>72</sup>

Het afval wordt via een voedingstrechter in de oven gebracht. Het wordt door een operator gehomogeniseerd en met een afvalkraan in de voedingstrechter gebracht. Het afval dat in de voedingstrechter aanwezig is, sluit de oven luchtdicht af en zorgt er voor dat deze op onderdruk wordt gehouden. Op deze manier wordt vlamterugslag voorkomen. Er is een kleppensysteem aanwezig, maar dit wordt enkel gebruikt bij het opwarmen van de oven tijdens de opstarfase en in noodsituaties.

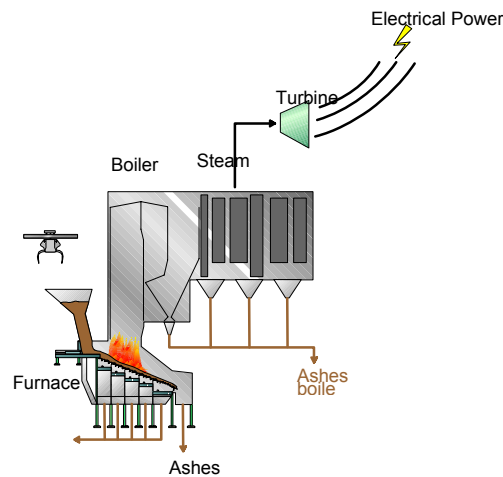
Onderaan de voedingstrechter wordt het afval op een hydraulisch aangedreven voedingsrooster gebracht, welke het afval op het eigenlijke verbrandingsrooster brengt. De snelheid kan worden aangepast waardoor de doorzet gecontroleerd kan worden.

Het eigenlijke verbrandingsproces voltrekt zich boven het rooster en kan opgesplitst worden in vier subprocessen. In eerste instantie wordt het afval gedroogd. In de volgende fase vindt de vergassing plaats: vervluchtigde koolwaterstoffen ontsnappen uit het afval. In de derde fase, de verbrandingsfase ontvlammen deze substanties en worden ze geoxideerd tot hoofdzakelijk CO<sub>2</sub> en water. Op het einde van het rooster tenslotte branden de laatste resten van de overgebleven vaste koolstof uit. Het verbrandingsrooster zorgt voor het transport van de vaste stoffen door de oven en voor de opmenging ervan.

Onder het rooster zijn trechters opgesteld voor de opvang van de roosterdoorval, en voor de toevoer van de primaire verbrandingslucht. Deze luchttoevoer wordt gestuurd aan de hand van temperatuursmetingen boven het rooster. Er wordt getracht een compromis te vinden tussen een goede uitbrand en een daling van de rookgastemperatuur door te sterke

verdunding. De rookgassen worden door een naverbrandingskamer gevoerd waar secundaire verbrandingslucht wordt toegevoerd.

De warmte uit de rookgassen wordt gerecupereerd door middel van een stoomketel. De thermische energie van de rookgassen wordt gebruikt om oververhitte stoom van 40 bar en 400 °C te produceren. De stoomketel bestaat uit een groot aantal buizen welke gevuld zijn met water. De rookgassen worden doorheen de stoomketel geleid waardoor het ketelwater opwarmt. In de eerst verticale lege trek van de ketel die geïntegreerd is in de ovenwand, gebeurt de warmte-overdracht door straling. In het tweede gedeelte zijn economizers, verdamper en oververhitters opgesteld, die de warmte van de rookgassen convectief opnemen. In de economizer wordt het water opgewarmd door de gassen tot ongeveer het kookpunt, in de verdampers wordt het water afkomstig van de economizer verder verwarmd tot verzadigde stoom wordt gevormd. Daarna wordt in de oververhitter de verzadigde stoom verder verwarmd tot oververhitte stoom (standaard 400 °C en 40 bar).



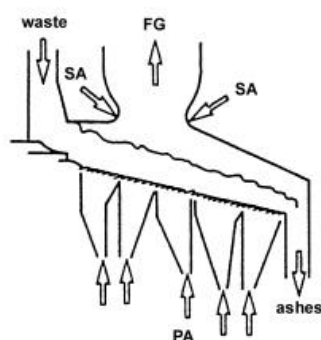
*Figuur 49: Schema roosteroven.*

### 2.1.2 Roostertypen <sup>72, .73</sup>

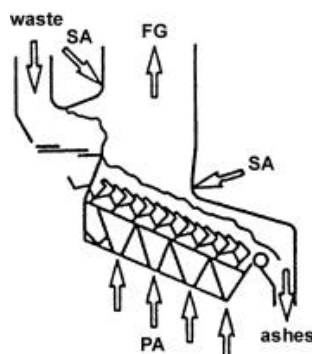
Er werden verschillende typen van verbrandingsroosters ontwikkeld:

- Hellend rooster: bij het hellend rooster kunnen twee typen worden onderscheiden : het eerste type is licht hellend opgesteld (15 – 30°) met tegels die in de voortgangsrichting bewegen (Noell, Von Roll, Seghers,..). Bij het tweede type rooster bewegen de tegels tegen de voortgangsrichting in. Hierdoor bekomt men een goede terugmenging van de brandende massa. Om het transport van de vaste fractie door de oven mogelijk te maken wordt gebruik gemaakt van een sterke roosterhelling welke de tegengestelde beweging van de tegels moet compenseren. (Martin)
- Walsenrooster: Het rooster wordt eveneens hellend uitgevoerd, maar in plaats van bewegende tegels te gebruiken, wordt gebruik gemaakt van geperforeerde cilinders die in de voorgangsrichting draaien. (Babcock)

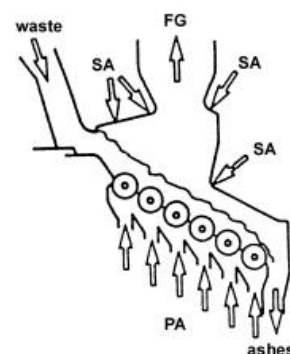
- Horizontaal rooster: het rooster wordt horizontaal opgesteld. De beweging van de roostertegels zorgt voor het transport van de vaste massa. (ABB)



*Figuur 50: hellend rooster, beweging in voortgangsrichting*



*Figuur 51: hellend rooster, beweging tegen voortgangsrichting*



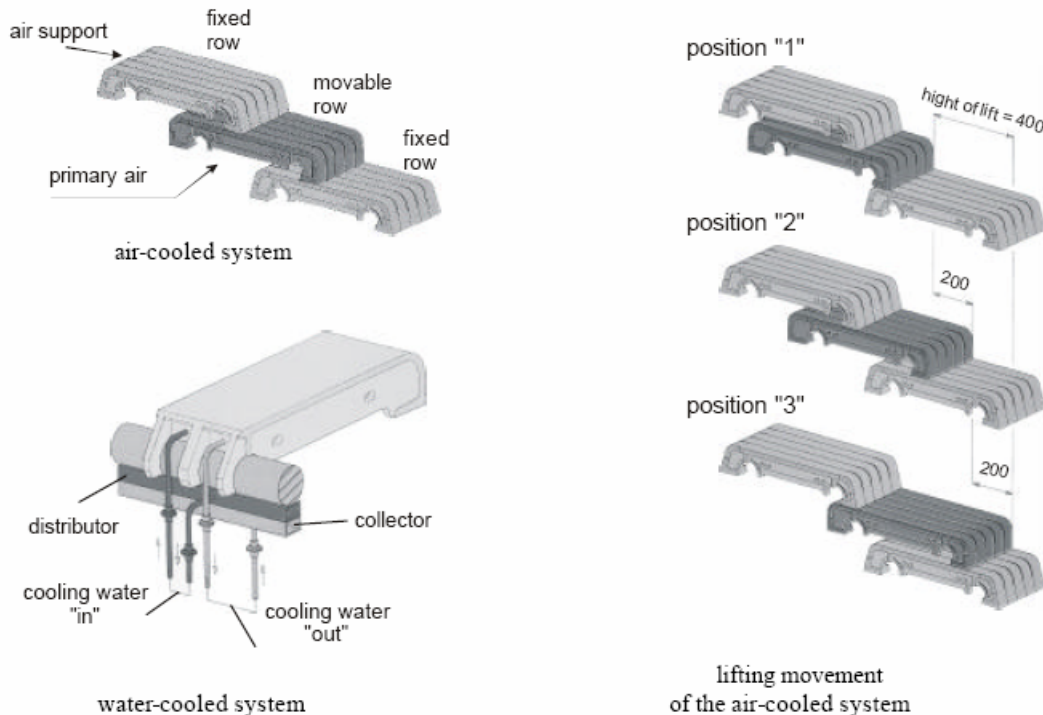
*Figuur 52: walsenrooster*

### 2.1.3 Koelingssystemen voor de roosters <sup>74</sup>

- Luchtgekoelde roosters: luchtgekoelde roosters zijn tot recentelijk de standaard technologie voor roosterovens. Hoewel deze systemen zeer betrouwbaar zijn in de praktijk en de kostprijs vrij voordelig is, werden onder bepaalde omstandigheden volgende minpunten vastgesteld:
  - Veranderingen in de gemiddelde afvalsamenstelling in bepaalde landen/regio's tijdens de laatste jaren hebben geleid tot een hogere gemiddelde verbrandingswaarde van het te verbranden afval. Hierdoor vertonen de luchtgekoelde roosters een snellere slijtage, hetgeen leidt tot verhoogde operationele kosten.
  - Het grootste nadeel van luchtgekoelde roosters is dat de primaire lucht zowel gebruikt wordt als verbrandingslucht als voor de koeling van het rooster. Beide functies kunnen niet ontkoppeld worden.
  - Omdat een deel van de primaire verbrandingslucht gebruikt moet worden als koelmiddel, kan deze niet optimaal gebruikt worden voor het verbrandingsproces.
- Watergekoelde roosters: Om tegemoet te komen aan bovenvermelde minpunten, eigen aan luchtgekoelde roosters, werden de watergekoelde roosters ontwikkeld. Bij het toepassen van watergekoelde roosters, kan de hoeveelheid lucht gereduceerd worden. Dit biedt voordelen voor de reductie van primaire NO-productie. Ook de thermische belasting van het rooster kan stijgen. Bovendien wordt de oventemperatuur gereduceerd door het onttrekken van warmte aan de oven. Een nadeel van watergekoelde rooster is dat het systeem complexer wordt met mogelijke problemen naar beschikbaarheid van het systeem. Het waterkoelsysteem is geïntegreerd in het luchtvoorverwarmingssysteem zodat de warmte gerecupereerd kan worden.
 

Een voorbeeld van een watergekoeld rooster is de Aquaroll (Von Roll<sup>75</sup>). Om te kunnen werken met watergekoelde roosters, wordt het ganse systeem onder druk gezet worden, zodat temperaturen boven 100 °C behaald kunnen worden zonder dat er zich verdamping voordoet. Het koelwater bereikt de individuele roosterblokken langs onder via een systeem van toevoerleidingen en zorgt voor de afkoeling van het roosteroppervlak. Hierna wordt het water afgeleid naar een warmtewisselaar, waar het

afkoelt. Op deze manier kan de opgenomen warmte gerecupereerd worden en ingezet worden in de energiecycclus van het verbrandingssysteem. Voordelen zijn een lagere operationele kost tengevolge van een tragere slijtage van de roosters. De verbranding van het afval zou wel optimaal kunnen verlopen en de uitbranding van het afval zou completer gebeuren. De Aquaroll watergekoelde roosterovens worden reeds toegepast in de nieuwe roosterovens van het Duitse Nürnberg, die in 2001 werd gebouwd. Ook in Nederland worden roosterovens uitgerust met watergekoelde roosters om afval met een hogere verbrandingswaarde te kunnen verwerken (o.a. AVI Amsterdam).



Figuur 53 : lucht- en watergekoelde rooster systemen

## 2.1.4 Terugwinning van energie <sup>74</sup>

### a) Electriciteit-stoom-warmte

In traditionele roosterovens werd enkel aan energierecuperatie gedaan in de vorm van elektriciteit.

De verbranding in een roosteroven moet aan de ene kant verlopen met een voldoende O<sub>2</sub>-overmaat, omdat bij deze condities een goede verbranding verzekerd is. Deze O<sub>2</sub>-overmaat in de rookgassen neemt echter een deel van de energie weg, waardoor een lager energieconversierendement behaald wordt dan in geval van industriële stoomketels. Deze laatste werken gemiddeld bij een O<sub>2</sub>-gehalte van 0,5 %. In de Nederlandse studie van TNO <sup>74</sup> wordt aangegeven dat het tegen 2005 mogelijk zou moeten zijn om te werken bij 3% O<sub>2</sub>. In Vlaanderen is het echter de wetgeving die de verbrandingsvoorwaarden oplegt aan de verbrandingsinstallaties. Ook bepaalde rookgaszuiveringsstappen hebben energie nodig en zorgen voor een verlaging van het energierendement. Een goed voorbeeld is de natte

gaswassing. Tenslotte heeft een afvalverbrandingsinstallatie een hoger stralingswarmteverlies dan een klassieke stoomketel.

Wanneer een combinatie wordt gemaakt van energierecuperatie in de vorm van elektriciteit en in de vorm van warmte (stoom), kan het energieconversierendement op significante wijze verhoogd worden.

## b) Stoomproductie

Een klassieke roosteroven produceert stoom aan 400 °C en 44 bar. Een hoger energieconversierendement zou kunnen behaald worden wanneer stoom aan hogere temperatuur en druk zou geproduceerd worden met behulp van de rookgassen. In de Nederlandse studie van TNO <sup>74</sup> wordt ervan uitgegaan dat tegen 2005 stoom zal kunnen geproduceerd worden aan 520 °C en 88 bar, waardoor de efficiëntie van de elektriciteitsproductie met 6.3% zou toenemen. Het zou zelfs mogelijk moeten zijn om 540 °C en 100 bar te kunnen halen. Hiervoor is het nodig om de boiler uit te rusten met nieuwe corrosiebestendige materialen. Standaard wordt er hiervoor gebruik gemaakt van keramische materialen zoals Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, SiC, ... in verschillende mengelingen, combinaties en bindingen.

Naast chemische bescherming is ook thermische isolatie een belangrijk onderdeel. Door het variëren van de thermische geleidingscoëfficiënt of the dikte van het materiaal kan de warmte overdracht van de oven gecontroleerd worden.

De temperatuur in de oven bepaalt de primaire productie van CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO en dioxine/furanen. Langs de andere kant is de verblijftijd in de naverbrandingskamer zeer afhankelijk van de behaalde temperatuur (zie Figuur 54). De materiaalkeuze speelt dus een belangrijke rol in het proces.

rookgastemperatuur [°C]	verblijftijd	
	naverbrandingszone [s]	oven + naverbrandingszone [s]
> 950	0,3	1,4
> 900	1,25	2,35
> 850	2,15	3,25
> 800	3,3	4,4

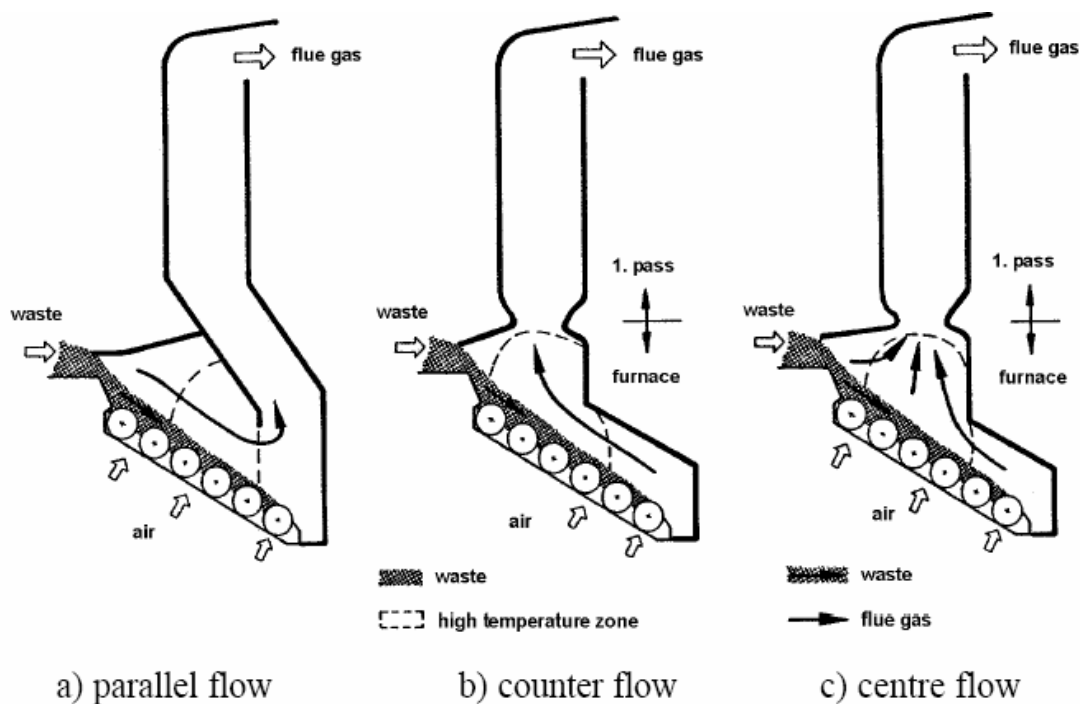
*Figuur 54: verblijftijden in naverbrandingszone in functie van de temperatuur*

Volgens Indaver is het momenteel nog steeds niet mogelijk om in de praktijk stoom te produceren van 480 °C, omwille van problemen met de oververhitters. Deze zouden gemiddeld om de 6 maanden vervangen moeten worden, terwijl de oververhitters in de klassieke roosteroven gemiddeld eens in de 5 jaren moeten vervangen worden.<sup>76</sup>

### 2.1.5 Naverbrandingskamer <sup>76</sup>

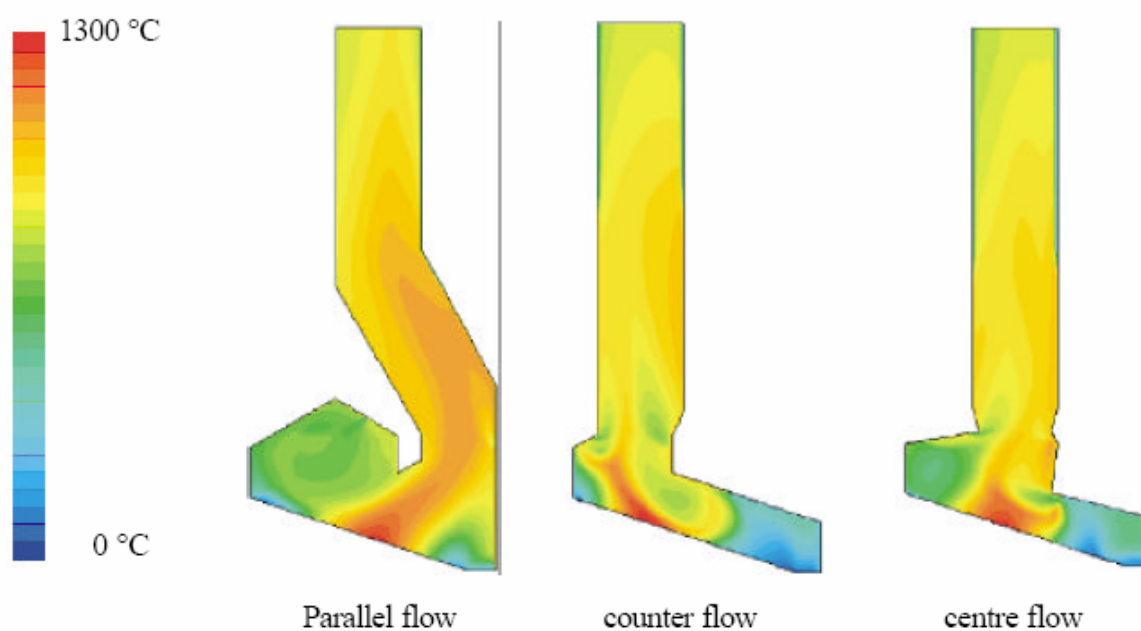
De ingang van de naverbrandingskamer bevindt zich boven het verbrandingsrooster. Deze kan zich positioneren aan het begin, het midden of einde van het rooster.

- Meestroom verbrandingskamer (parallel flow): Voordeel van dit type verbrandingskamer is dat de rookgassen een lange verblijftijd hebben in de verbrandingskamer en dat ze door de zone met maximale temperatuur moeten. Om ontbranding te vergemakkelijken moet de primaire lucht voorverwarmd worden bij de verbranding van afval met lage verbrandingswaarden.
- Tegenstroom verbrandingskamer (counter flow) : Wanneer de ingang zicht in het begin van het rooster bevindt bewegen de rookgassen zich in tegenstroom met de brandende massa. De verbranding van afval met lagere verbrandingswaarden kan beter beheerst worden bij dit type naverbrandingskamer. De hete gassen vergemakkelijken het drogen en de ontbranding van het afval wanneer ze boven het rooster worden teruggevoerd. Er dient te worden voorkomen dat onverbrande gasstromen de installatie verlaten. Als regel geldt dat er meer secundaire verbrandingslucht dient te worden toegevoegd bij dit type naverbrandingskamer.
- Middenstroom verbrandingskamer (centre flow): Dit type installatie is een compromis tussen het meestroom en tegenstroommodel. In dit type installaties kunnen stromen met een brede range van calorische waarde verwerkt worden.



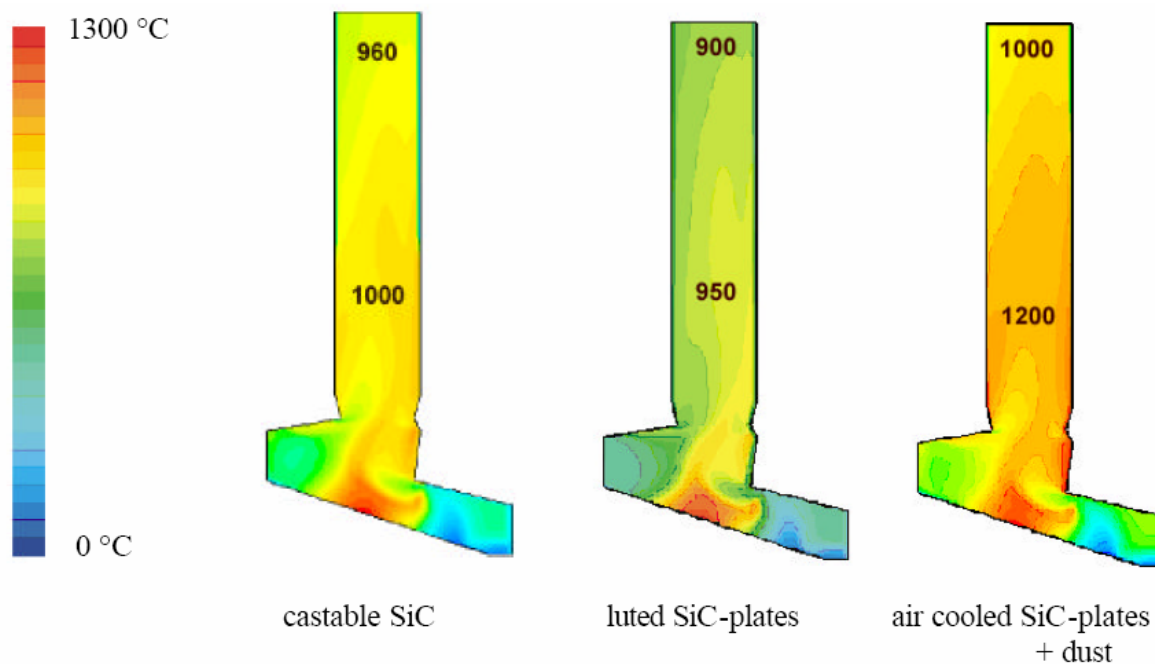
Figuur 55: verschillende typen naverbrandingskamers

In onderstaande figuur (Figuur 56) wordt de verticale temperatuur verdeling voor verschillende typen naverbrandingskamers weergegeven. Deze simulatie is gebaseerd op een wiskundig model dat werd gevalideerd met data van bestaande installaties. [ref] Deze illustratie kan niet geïnterpreteerd worden als zijnde een absoluut resultaat maar eerder om de karakteristieken van de verschillende systemen weer te geven. De zuurstofverdeling in de inlaat en naverbrandingskamer is eveneens functie van het warmtetransferprofiel langsheen het rooster en hierdoor ook functie van de afvalkwaliteit.



*Figuur 56: verticale temperatuursverdeling voor de verschillende typen naverbrandingskamers*

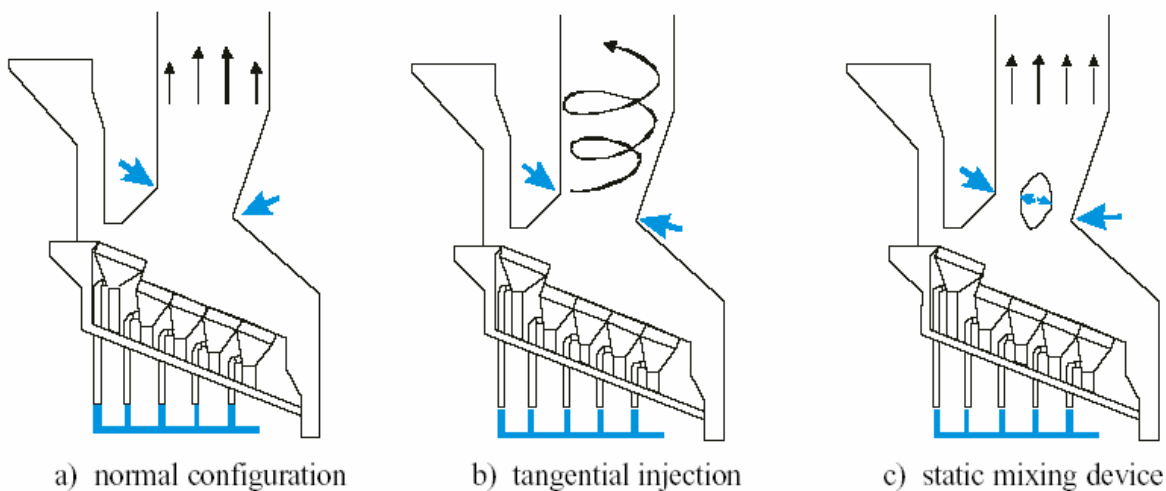
Naast het type naverbrandingskamer heeft ook het type bekleding van de wanden (zie Figuur 57) in de naverbrandingskamer een invloed op de temperatuursverdeling in de rookgassen. Dit is een direct gevolg van de warmtegeleiding capaciteit van het materiaal. Hoe lager de geleidingscoëfficiënt van het materiaal, hoe hoger de temperatuur van de rookgassen in de naverbrandingskamer.



*Figuur 57: verticale temperatuursverdeling voor verschillende typen wandbekleding*

### 2.1.6 Secundaire lucht injectie

Door het opsplitsen van de totale hoeveelheid verbrandingslucht (met een overstoichiometrische hoeveelheid van 1,3 tot 1,8) in primaire lucht en secundaire lucht kunnen de verbrandingscondities in de verbrandingsoven zo gecontroleerd worden dat er 'bijna'-stochiometrisch condities ontstaan. De verdeelratio tussen primaire en secundaire lucht bevindt zich tussen 80/20 (oude installaties) en 40/60 (tendens voor nieuwe installaties). Secundaire lucht wordt toegevoegd om volledige verbrandingen verkrijgen van de koolwaterstoffen en koolmonoxide. Bovendien kan de secundaire lucht gebruikt worden als menginstrument voor de rookgassen. Afhankelijk van overige eigenschappen van de oven, kan de plaatsing van de secundaire lucht injectors geoptimaliseerd worden. Secundaire lucht wordt typisch geïnjecteerd in het overgangsgebied tussen de oven en de eerste trek van de ketel. Het aantal injectors, de diameter, afstanden tussen injectors en horizontale en/of verticale helling kunnen worden aangepast. Nieuwe ontwikkeling is het tangentele plaatsen van de injectors.



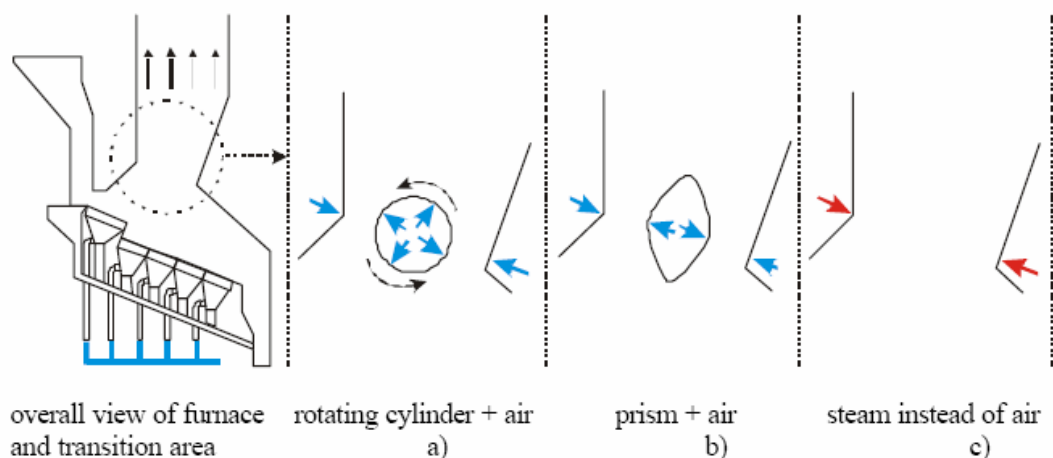
*Figuur 58 : verschillende mogelijkheden voor secundaire lucht injectie*

Momenteel worden methoden ontwikkeld/gebruikt om de secundaire lucht injectie te verbeteren. Volgende methoden zijn worden momenteel reeds toegepast:

- Roterende cilinder (met bijkomende secundaire lucht injectors)
- Vaste prisma's (met bijkomende secundaire lucht injectors)
- Stoom injectie (in plaats van secundaire lucht injectie)

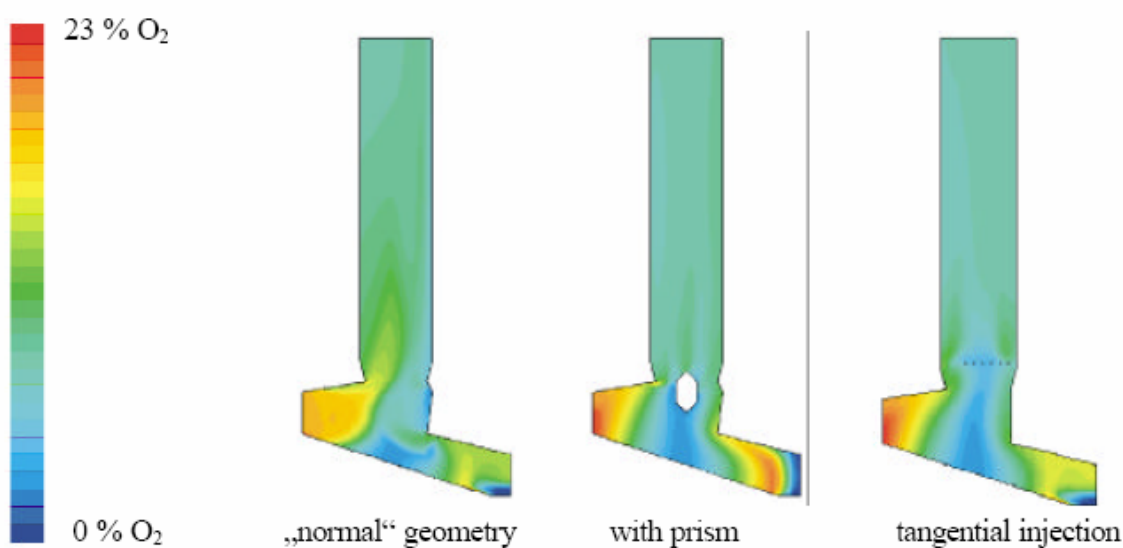
De roterende cilinder zorgt voor problemen bij de constructie en gebruik. Het prisma wordt gebruikt in een verbrandingsinstallatie voor huishoudelijk af val in Bonn (Duitsland)[ref] en vertoont goede resultaten zoals een betere uitbrand van koolwaterstoffen en CO. De vervuiling gedurende de radiale en convectieve warmteoverdracht in de ketel blijkt lager te zijn. Stoominjectie in de plaats van secundaire lucht injectie verhoogt de menging en hierdoor ook de uitbrand, maar de werkingskost is hoger. Hieruit kunnen we besluiten dat het prisma het meeste potentieel heeft voor grotere installaties met brede overgangen tussen oven en naverbrandingskamer. Figuur 59 geeft een overzicht van de verschillende besproken systemen.





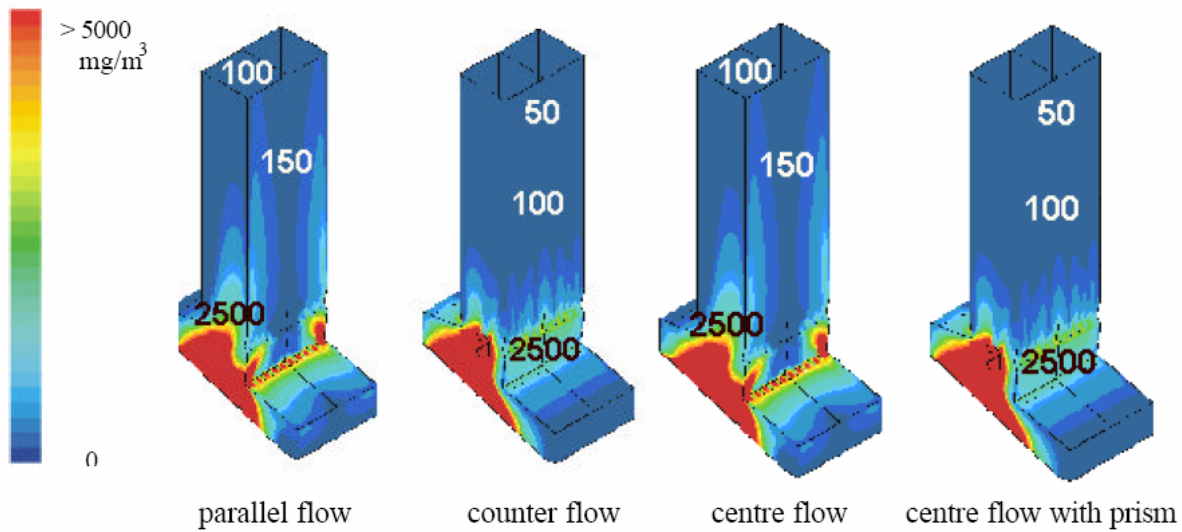
*Figuur 59 : Verschillende systemen voor secundaire lucht injectie*

Onderstaande figuur geeft de resultaten van de simulatie weer voor verschillende typen van secundaire lucht injectie. Bij het standaard systeem (normal geometry) zien we een slechte verdeling van zuurstof bij de ingang van de naverbrandingskamer. Het prisma werkt als een statisch menginstrument en verhoogt hierdoor de mening. Ook de tangentiële injectie leidt tot een betere menging.



*Figuur 60 : verticale zuurstofverdeling voor verschillende luchtinjectiesystemen (middenstroom naverbrandingskamer)*

Het type naverbrandingskamer (al dan niet gecombineerd met het type secundaire lucht injectie) heeft eveneens invloed op de verdeling van CO in de rookgassen. Bij de reductie van CO met secundaire lucht injectie is gerelateerd aan het type injectiesysteem dat gebruikt wordt. Over het algemeen kan men stellen dat een snelle reductie bekomen kan worden door het gebruik van een tegenstroom naverbrandingskamer of middenstroom naverbrandingskamer met prisma..



### 2.1.7 Stand van de techniek

De roosteroven was de voorbije 100 jaar de standaard technologie voor de verbranding van vast afval. Deze techniek wordt wereldwijd gebruikt voor de verbranding van huishoudelijk en niet gevaarlijk bedrijfsafval. De voorbije en komende jaren zijn er verschillende technologische ontwikkelingen die de perforatie op gebied van milieu en energie hebben verbeterd en zullen verbeteren. Aan de andere kant zullen bepaalde ontwikkelingen ook een invloed kunnen hebben op de kosten van de verwerking van afval in een roosteroven.

Binnen Europa wordt de verbrandingscapaciteit van de roosterovens nog sterk uitgebreid als een gevolg van de implementatie van de Europese Richtlijn 1999/31/EG betreffende het storten van afvalstoffen en omwille van het feit dat het een bewezen techniek betreft die reeds een lange ontwikkelingsweg achter de rug heeft.

### 3 VERGASSING

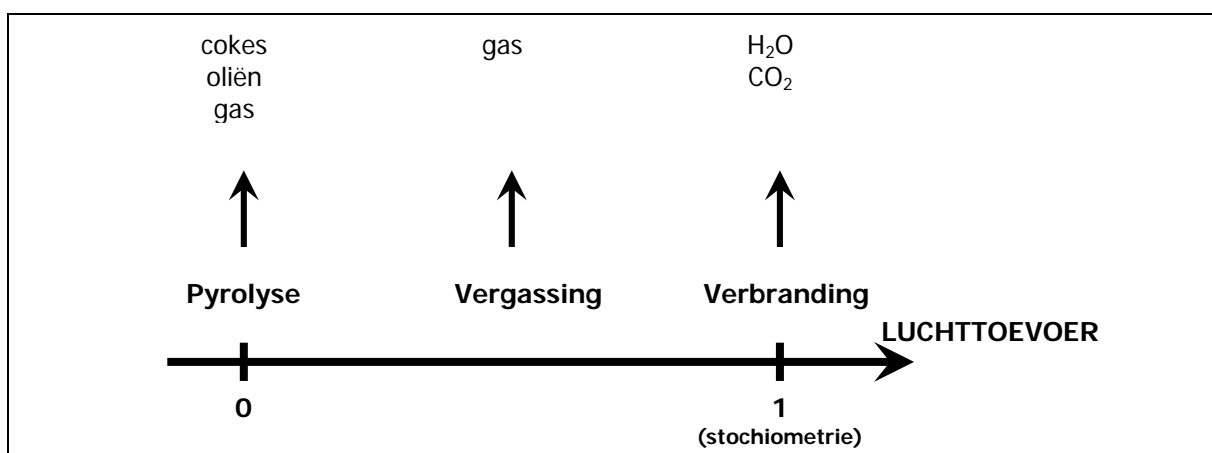
Bij vergassen vindt een onvolledige verbranding (verbranding bij onvoldoende zuurstof) plaats met als doel een brandbaar gas te produceren. Vergassen vindt plaats bij hoge temperatuur en kent naast de zones droging, ontgassing/ontsteking en verbrandings/uitbrandzone ook een reductiezone waar de geoxideerde stoffen worden gereduceerd tot hoofdzakelijk waterstof, kooldioxide, koolmonoxide en methaangas. De vergassing wordt op temperatuur gehouden door de vrijkomende energie bij de gedeeltelijke verbranding.

Het geproduceerde gas kan worden ingezet als grondstof in de chemische industrie, verbrand worden in een gasmotor of -turbine of als bijstookgas direct in een stoomketel. Het voordeel van vergassen is de productie van kleinere gasvolumes in vergelijking met verbranding, waardoor de reiniging eenvoudiger is.

#### 3.1 Techniek

##### 3.1.1 Procesbeschrijving <sup>72</sup>

Vergassing is een thermisch proces waarbij het organisch materiaal maximaal wordt omgezet in een gasvormige fase (syngas). Deze omzetting gebeurt door een partiële verbranding/oxidatie van de aanwezige koolstof. Als zodanig kan vergassing, op basis van de luchttoevoer, gesitueerd worden tussen pyrolyse en verbranding.



*Figuur 61: Pyrolyse – vergassing – verbranding.*

Door de thermische kalking van de afvalstoffen wordt een mengsel van voornamelijk CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O en kleine hoeveelheden hogere koolwaterstoffen gevormd. De gasfractie kan verbrand worden, met energierecuperatie, of kan als grondstof ingezet worden in de chemische industrie. Afhankelijk van het beoogde gebruik dienen de verontreinigingen (stof en roet/teerachtigen) uit het syngas verwijderd te worden.

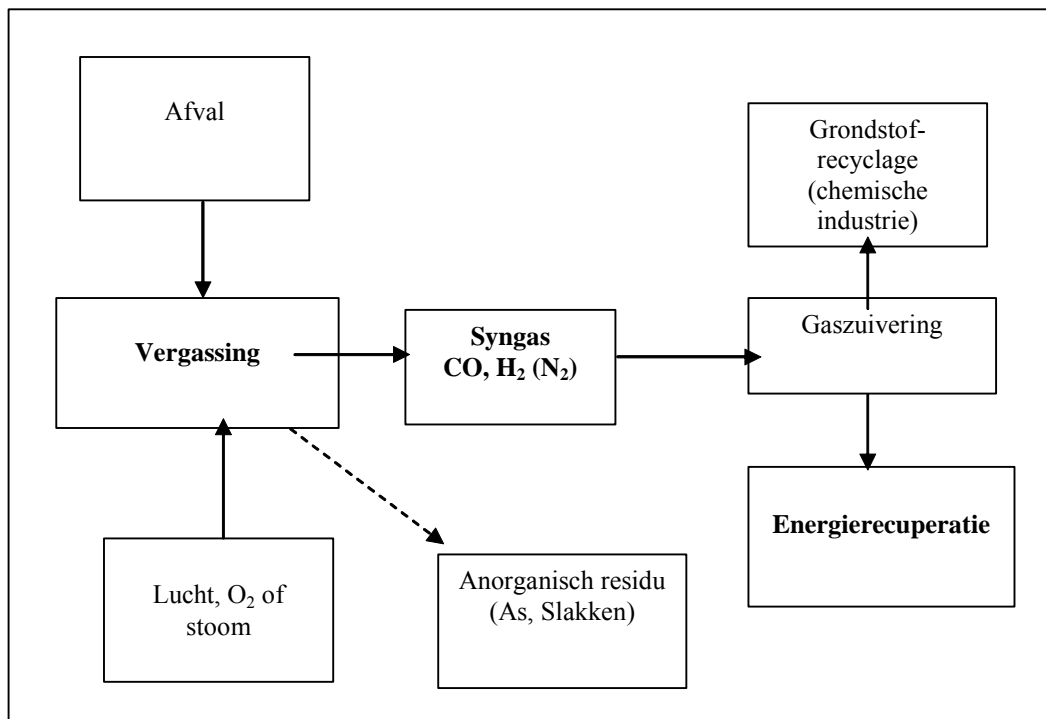
De inbreng van de substochiometrische hoeveelheid zuurstof kan gebeuren onder de vorm van lucht, zuivere zuurstof of stoom. Het gebruik van lucht heeft uiteraard de laagste werkingskosten, maar geeft door de verdunning met de aanwezige stikstof een armere gasfase:

4 – 8 MJ/Nm<sup>3</sup> bij vergassing met lucht;  
10 – 15 MJ/Nm<sup>3</sup> bij vergassing met zuurstof.

Anorganische stoffen blijven als residu achter. In sommige processen worden metalen en inerten op hoge temperatuur van elkaar gescheiden door decantatie.

De temperaturen die voor vergassing gebruikt worden, liggen tussen 750 en 1.400 °C. Om een maximale conversie van het organisch en een minimaal teergehalte in het gevormde syngas te bekomen, wordt de temperatuur in principe zo hoog mogelijk gekozen. Er bestaan echter een aantal factoren die de verwerkingstemperatuur limiteren:

- Het optreden van sintering bij gebruik van afvalstoffen met een hoog asgehalte;
- De maximaal aanvaardbare temperatuur van het syngas, afhankelijk van de samenstelling;
- De warmtebestendigheid van de gebruikte materialen.



*Figuur 62: Schematische voorstelling van het vergassingsproces.*

## a) Varianten

Vergassing kan uitgevoerd worden in verschillende reactortypes<sup>77</sup>:

Vast-bed-reactoren: met verschillende mogelijkheden voor toevoer van het vergassingsmedium:

- In meestroom;
- In tegenstroom;
- In dwarsstroom;

Wervelbedreactoren: hierbij wordt afval in een heet (zand)bed gebracht, dat met behulp van het vergassingsmedium in beweging wordt gehouden. Er worden twee subcategorieën onderscheiden:

- bubbling fluidised bed (BFB);
- circulating fluidised bed (CFB);

Bewegend-bed-reactoren;

Draaitrommelreactoren.

In de praktijk worden de vast-bed- en de wervelbedreactoren het meest gebruikt voor vergassing van vaste stoffen, respectievelijk voor eerder kleinschalige en grootschalige toepassingen. In een vast-bed-reactor kunnen een 5-tal zones onderscheiden worden: droogzone, ontgassingszone, vergassingszone, verbrandingszone en aszone. Een wervelbedreactor heeft door de turbulente en veel homogener karakter.

In een aantal processen wordt gebruikt gemaakt van een combinatie van pyrolyse en vergassing.

Vergassing is oorspronkelijk ontwikkeld voor de productie van stadsgas uit steenkool. In de 2de wereldoorlog werden kleinschalige houtvergassers gebouwd om het gebrek aan benzine op te vangen. De verdere ontwikkeling van vergassing werd weer opgestart naar aanleiding van de oliecrisis in 1973. Hierbij werd vooral gedacht aan de vergassing van biomassa en steenkool. Geleidelijk aan is de interesse als verwerkingstechniek voor afval gegroeid.

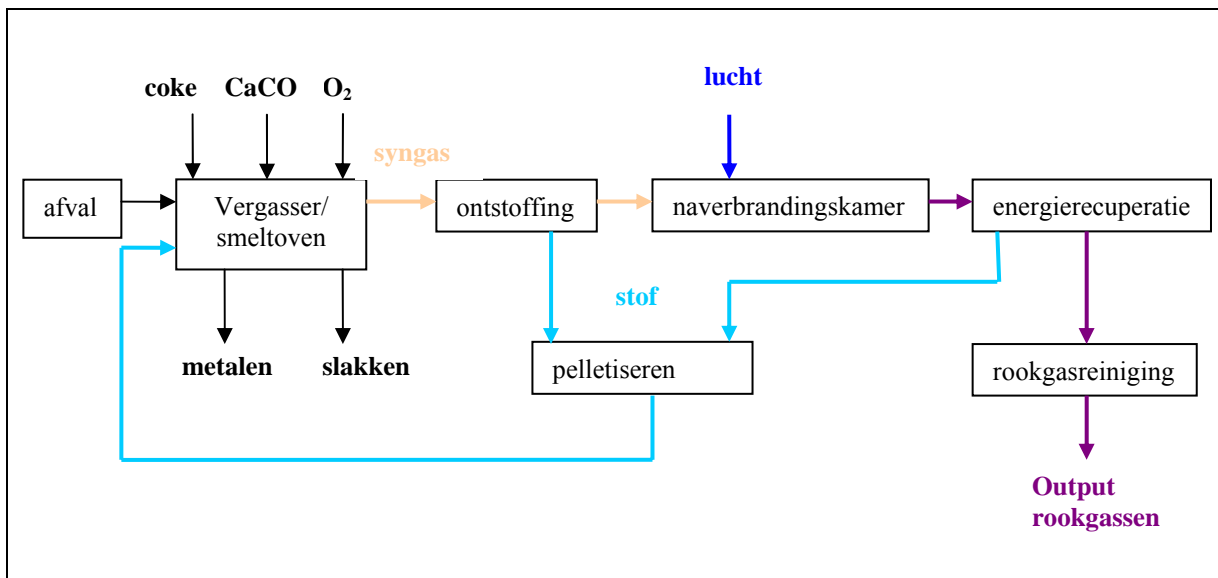
Er kan opgemerkt worden dat in realiteit een aantal bestaande installaties niet zonder praktische problemen functioneert en dat de voorbereiding en bouw van een aantal nieuwe projecten ook de nodige moeilijkheden kent. Zo is een installatie van Thermoselect in Verbania in 1999 gesloten wegens het niet behalen van de emissiegrenswaarden. De toekomst van het project van ARBRE in het Verenigd Koninkrijk is onzeker, vermits Schelde in vereffening is.

## 3.2 Nippon Steel<sup>77</sup>

### 3.2.1 Procesbeschrijving

In dit proces wordt vastbedvergasning gecombineerd met verbranding en smelten. Al het afval dient te worden verkleind. Het afval wordt in de vergasser gebracht samen met cokes en kalksteen.

Het afval passeert drie zones in de oven. In de eerste zone wordt het afval gedroogd bij temperaturen tussen 200 en 300 °C. In de volgende zone verhoogt de temperatuur van 300 °C tot 1.000 °C in afwezigheid van zuurstof, en worden de organische componenten thermisch ontbonden tot CH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub>. In de derde zone worden de reactieproducten verbrand en de residu's gesmolten. De cokes die samen met het afval in de installatie worden gebracht reageren in de verbrandingszone met vergassingsproducten in aanwezigheid van met zuurstof verrijkte lucht. Deze lucht wordt in dit deel van de oven geïnjecteerd, met een hoge temperatuur tot gevolg. De anorganische materialen en de aanwezige kalksteen smelten bij deze temperatuur. De kalksteen regelt de pH van het gesmolten materiaal. Het gesmolten materiaal (ongeveer 1.500 °C) wordt afgetapt, gegranuleerd en magnetisch gescheiden in ferro en slakken.



*Figuur 63: Nippon steel.*

Het geproduceerde synthesegas wordt verbrand in een naverbrandingskamer, na verwijdering van stof. De rookgassen bereiken een temperatuur van 800-900 °C. De warmte van deze rookgassen wordt gebruikt voor de productie van stoom.

Het verwijderde stof (boiler en verbrandingskamer) wordt gepelletiseerd en samen met het afval in de vergasser gebracht.

### 3.2.2 Stand van de techniek

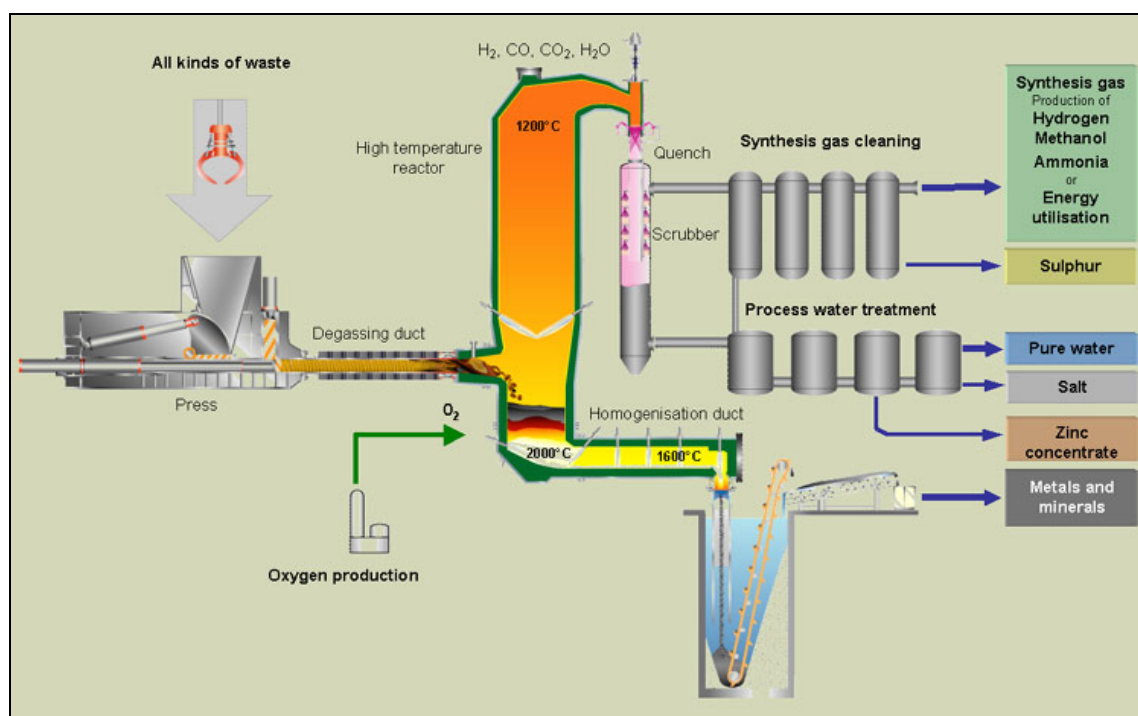
Het Nippon Steel Waste Melting proces wordt sinds 1980 op commerciële schaal succesvol toegepast op huishoudelijk afval (135.000 ton/jaar) in Osaka, Japan.

Tussen 1996 en 2002 werden 10 nieuwe installaties gebouwd in Japan, voor de verwerking van huishoudelijk afval. In drie installaties wordt het huishoudelijk afval gemengd met RWZI-slib. Voor Europa werden geen referenties teruggevonden.

## 3.3 Thermoselect <sup>78</sup>

### 3.3.1 Procesbeschrijving

Het Thermoselect proces combineert een vastbedvergassing en inertisering van het residu. Dit proces werd ontwikkeld om vaste afvalstoffen te verwerken en een maximale recuperatie van materialen te bekomen. Tegelijkertijd wordt de energie aanwezig in het materiaal gebruikt, en wordt de impact op het milieu geminimaliseerd.



*Figuur 64: Vastbedreactor.*

Het afval wordt gecompacteerd door een hydraulische pers en wordt in het indirect verwarmde ontgassingskanaal gedrukt. Door de sterke compactie wordt het afval verdicht waardoor een betere warmteoverdracht kan plaatsvinden. De wandtemperatuur van het ontgassingskanaal bedraagt 600 °C. Het afval wordt gedroogd en ontgast en heeft een verblijftijd van ongeveer twee uur in het ontgassingskanaal. De indirecte verwarmt gebeurt door een circuit met thermische olie die wordt verhit door de hete rookgassen afkomstig van de motoren waar het syngas wordt verbrand. De temperatuur in het ontgassingskanaal loopt op van 100 – 200 °C aan de ingang, tot > 800 ° aan het overgangspunt tussen het ontgassingskanaal en de vergassingsreactor. De verblijftijd van twee uur is nodig om het afval om te zetten tot cokes en syngas.

De cokes en het syngas worden in de vergassingsreactor gebracht. Het syngas heeft een verblijftijd in de reactor van ongeveer 2 – 4 seconden bij een temperatuur van 1.200 °C. Deze temperatuur verzekert de afbraak van aanwezige organische componenten. Er wordt zuurstof met een druk van 1 bar in de reactor gebracht. Door de hoge temperaturen in de reactor worden de aanwezige cokes omgezet tot syngas. De anorganische componenten van de input (metalen en minerale bestanddelen) in gesmolten vorm worden op een temperatuur van 1600 – 2000 °C gehouden in een atmosfeer van zuivere zuurstof waardoor volledige

oxidatie optreed van organische componenten. Bijkomende gasbrandstoffen worden toegevoegd om te verzekeren dat de slakken in gesmolten toestand blijven in de reactor. Door afschrikken in een waterbad vormen zich afzonderlijk een gesmolten metaallegering ( $d = 7 \text{ g/cm}^3$ ) en een gesmolten mineraalfraction ( $d = 2,5 \text{ g/cm}^3$ ). Deze verschillende fracties kunnen magnetisch gescheiden worden en afgevoerd voor recyclage.

Het synthesesgas wordt via shock-cooling afgekoeld van  $1.200 \text{ }^\circ\text{C}$  tot  $70 - 80 \text{ }^\circ\text{C}$  door toevoer van water volgens een gas/water volumeratio van  $1/25$ . In de quench precipiteren fijne minerale stofdeeltjes en koolstofpartikels. Deze worden teruggevoerd naar het thermisch systeem. Verdere zuivering gebeurt in een tweestaps natte wassing (zuur + basisch) en er wordt gebruik gemaakt van een actieve koolfilter. Ontzwaveling gebeurt in een sulferox zuiveringsstap. Waterstofsulfide wordt geoxideerd met een Fe-III-complex wat leidt tot de vorming van waterstof en elementair zwavel, dat afgescheiden wordt van de wasoplossing.

Het synthesesgas wordt verder gekoeld waardoor resterende waterdamp wordt gecondenseerd. Wegens de lage temperatuur ( $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) condenseren ook resterende zuurdeeltjes. Het syngas wordt vervolgens terug opgewarmd voor actief kool adsorptie. Het gezuiverde gas kan aangewend worden voor energieproductie of productie van chemische basisgrondstoffen.

Het proceswater wordt verzameld in een gemeenschappelijke proceswaterzuivering. In drie stappen worden metaalzouten afgescheiden. De restproducten worden enerzijds teruggevoerd naar de afvalinput en anderzijds als zinkconcentraat gewonnen. Vervolgens wordt door vacuümverdamping zout uitgekristaliseerd met voldoende zuiverheid voor industrieel gebruik.

### 3.3.2 Stand van de techniek

Het Thermoselect-proces werd eind jaren '80 ontwikkeld. In 1991 werd een grootschalige pilootinstallatie gebouwd. In 1991/1992 werd in Fondotoce (Italië) een installatie gebouwd meteen capaciteit van  $30.000 \text{ ton/jaar}$ . Deze installatie werd opgestart in maart 1992. De installatie werd verschillende jaren uitgbaad op semi-commerciële basis, en werd gesloten in 1998.

De eerste volledig commerciële installatie werd gebouwd in Karlsruhe, Duitsland. De installatie heeft een capaciteit van  $225.000 \text{ ton/jaar}$  (drie lijnen,  $720 \text{ ton/dag}$ ), voor afval met een calorische waarde van  $12 \text{ GJ/ton}$ . In de installatie wordt restafval verwerkt. De installatie werd opgestart in januari 1999. Na de opstart waren er problemen met het behalen van de opgelegde emissiegrenswaarden waardoor de installatie tijdelijk weer gesloten werd. Momenteel werkt de installatie vol-continu. Halverwege 2003 werkte de installatie nog niet op volle capaciteit.<sup>79</sup> In een meer recent artikel wordt geen voorbehoud meer gemaakt omtrent de invulling van de capaciteit<sup>80</sup>.

In Ansbach, Duitsland is men momenteel bezig met de aanbouw van een nieuwe installatie met een capaciteit van  $75.000 \text{ ton/jaar}$ . In 2004 zou de installatie operationeel moeten zijn.



In Chiba, Japan is een Thermoselect installatie operationeel sinds september 1999. De installatie heeft een capaciteit van 100.000 ton/jaar (twee lijnen, 300 ton/dag). Volgens Ongeveer 80 % van het synthese gas van deze installatie wordt gebruikt in de nabijgelegen staalindustrie. Op de thermoselect-site wordt een 1,5 MW gasmotor gebruikt voor de opwekking van elektriciteit voor de installatie. Momenteel wordt in een samenwerking met Toshiba een 200 kW brandstofcel getest voor syngas. In de installatie wordt huishoudelijk, commercieel en industrieel afval verwerkt.

Sinds april 2000 beschikt Thermoselect over een vergunning van de Japanse overheid voor het algemeen gebruik van de techniek in Japan.

Sinds januari 2003 is in Mutsu, Japan een Thermoselect installatie operationeel met een capaciteit van 45.000 (twee lijnen, 140 ton/dag). In de installatie wordt huishoudelijk afval verwerkt. Een energieproductie-eenheid werd geïntegreerd in de installatie.

In 2004 worden 5 thermoselect installaties gebouwd in Japan. Het betreft installaties met verschillende capaciteiten. De installaties worden gebouwd voor de verwerking van huishoudelijk en/of industrieel afval. Het geproduceerde syngas wordt afhankelijk van de installatie ingezet in een geïntegreerde energieproductie-eenheid (stoomturbine en/of gasmotor) of in nabijgelegen staalproductie.

Volgende tabel geeft een overzicht van de bestaande en geplande installaties

Tabel 24: overzicht verschillende geplande en bestaande thermoselect installaties

	<b>Fondotoce, Italie</b>	<b>Mutsu, Japan</b>	<b>Karlsruhe, Duitsland</b>	<b>Chiba, Japan</b>	<b>Nagasaki, Japan</b>	<b>Kurashiki, Japan</b>	<b>Yorii, Japan</b>	<b>Tokushima, Japan</b>	<b>Izumi, Japan</b>
<b>capaciteit</b>	1 lijn, 96 ton/dag	2 lijnen, 140 ton/dag	3 lijnen, 720 ton/dag	2 lijnen, 300 ton/dag	3 lijnen, 300 ton/dag	3 lijnen, 555 ton/dag	2 lijnen, 450 ton/dag	2 lijnen, 120 ton/dag	1 lijn, 95 ton/dag
<b>ingebruikname</b>	1992-1998	januari 2003	commercieel sinds januari 2002	september 1999	onder constructie	onder constructie	onder constructie	onder constructie	onder constructie
<b>input</b>	huishoudelijk en industrieel afval	huishoudelijk afval	huishoudelijk afval	industrieel afval	huishoudelijk afval	huishoudelijk en industrieel afval	industrieel afval	huishoudelijk afval	industrieel afval
<b>syngasgebruik</b>	gasmotor	gasmotor	stoomturbine en afstandsverwarming	staalindustrie	gas motor	staalindustrie	boiler/stoomturbine en gasmotor	gasmotor	boiler/stoomturbine

## 4 PYROLYSE

Bij pyrolyse wordt afval bij 550 °C, bij atmosferische of hogere druk, in afwezigheid van zuurstof ontleed. Hierbij ontstaan gasvormige en/of olieachtige producten en een vaste reststroom rijk aan actieve kool.

De pyrolyse installatie kan al dan niet gekoppeld zijn aan een vergasser/smeltinstallatie. De aanwezigheid van een vergasser/smeltinstallatie heeft als voordeel dat relatief vervuilde afvalstromen met een hoog asgehalte verwerkt kunnen worden. De vervuilde asfractie wordt geïmmobiliseerd in een gesmolten product en aan het geproduceerde gas kan een meerwaarde gegeven worden door het toe te passen als synthesegas. Het pyrolysegas wordt hierbij gekraakt in de vergassingskamer tot H<sub>2</sub> en CO. De vaste reststroom kan verbrand worden in de smeltinstallatie. Een deel van het synthesegas kan gebruikt worden in de pyrolyse reactor.

### 4.1 Techniek

#### 4.1.1 Procesbeschrijving

Het pyrolyseproces kan in volgende processtappen worden opgedeeld:

Toevoer van het afval: na verkleining;

Warmtetoever: de overdracht van warmte kan op verschillende manieren gebeuren:

- partiële verbranding (met een ondermaat lucht) van het toegevoerde afval;
- directe verwarming door toevoer van inerte gassen met een hoge temperatuur;
- indirecte verwarming door warmtetoever via verwarmingspijpen of de wanden van de installatie.

Ontleding: de organische verbindingen in de input ontbinden door de energietoevoer in componenten met lagere molecuulmassa;

Scheiding ontledingsproducten: bij verhoogde temperatuur bestaan de ontledingsproducten uit vaste stoffen (cokes) en gassen. De gasfase kan door koeling gescheiden worden in een condenseerbare fractie (oliën, water) en een niet condenseerbare fractie (gas). De scheidingsprocessen kunnen vervangen of aangevuld worden door verdere thermische verwerking, zoals bijvoorbeeld kraken.

#### 4.1.2 Varianten <sup>72</sup>

Diverse pyrolysetechnieken zijn beschikbaar, voor batchgewijze of continue verwerking.

##### a) Enkelvoudig of geïntegreerd proces

Bij een enkelvoudig pyrolyseproces worden de cokes off-site gevaloriseerd. De gassen worden op de locatie gebruikt, bijvoorbeeld voor verwarming van de pyrolyse reactor en/of elektriciteitsproductie. In een geïntegreerde installatie worden ook de cokes op de locatie verwerkt (door middel van recuperatie, vergassing of verbranding).

### b) Verbliftijd en warmtetoever

Door in te spelen op de verbliftijd en de warmtetoever, kan de opbrengst van sommige fracties bevorderd worden. Bij trage pyrolyse worden vooral cokes gevormd, bij hoge warmtetoever en korte verbliftijden stijgt de opbrengst aan oliën en gassen <sup>77</sup>.

Tabel 25: Verbliftijd en warmtetoever pyrolyse.

Technologie	Verbliftijd	Verwerkingsnelheid	Temperatuur [°C]	Eindproduct
Carbonisatie	uren – dagen	zeer laag	300 – 500	<i>cokes</i>
Hoge druk carbonisatie	15 min. – 2 uur	medium	450	<i>cokes</i>
Normale pyrolyse	uren	laag	400 – 600	<i>cokes, vloeistoffen, gas</i>
	5 – 30 min.	medium	700 – 900	<i>cokes, gas</i>
Vacuüm pyrolyse	0 – 30 sec.	medium	350 – 450	<i>vloeistoffen</i>
Flash pyrolyse	0,1 – 2 sec.	hoog	400 – 650	<i>vloeistoffen</i>
	< 1 sec.	hoog	650 - 900	<i>vloeistoffen, gas</i>

Een aanzienlijk aantal leveranciers bieden pyrolysereactoren aan, met verwerkingscapaciteiten die typisch tussen 1 en 6 ton/uur liggen. Hogere capaciteiten worden bereikt door meerdere reactoren in parallel te plaatsen. Een aantal leveranciers kan een ruime praktijkervaring voorleggen.

Niet iedere variant is echter reeds langdurig en op voldoende grote schaal uitgetest. Opschaling is voor een aantal processen moeilijk gebleken. Met name de warmteoverdracht is een kritische procesparameter.

### c) Reactortype en warmtetoever

Voor conventionele pyrolyse zijn een 4-tal technieken beschikbaar op pilotschaal of commerciële schaal <sup>81</sup>:

Draaitrommeloven met indirecte verwarming:

- o.a. Technip (Pyropleq), Babcock/Noell/Steinmüller, Thide Environment (Eddith), PKA;

Statische oven met bewegend bed en indirecte verwarming:

- o.a. Traidec, Pyrovac (Pyrocycling), Alcyon (Biothermic);

Statische oven met vast bed en directe verwarming:

- o.a. Nexus Technologies (Softer);

Draaitrommeloven met directe verwarming en geïntegreerde vergassing:

- o.a. Basse-Sambre E.R.I. (Serpac).

In Vlaanderen zijn er momenteel geen toepassingen van pyrolyse voor de verwerking van afvalfracties bekend.

## 4.2 Technip Pyropleq proces<sup>77</sup>

### 4.2.1 Procesbeschrijving

Deze techniek is gebaseerd op de pyrolyse techniek die werd ontwikkeld door PLEQ, een ontwerper en producent van draaitrommelovens en drogers in voormalig Oost-Duitsland. Huishoudelijk, industrieel en verkleind grof afval wordt opgeslagen in afvalbunkers. Met behulp van een kraan wordt het afval in shredders gebracht waar het afval wordt verkleind tot een grootte van minder dan 200 mm. Via een transportsysteem en vultrechter wordt het afval in de pyrolysetrommel gebracht.

Aan de buitenkant van de trommel worden temperaturen bereikt van 550 °C, wat resulteert in temperaturen tussen 450 – 470 °C in de trommel waaraan het afval wordt blootgesteld. In het voorste gedeelte van de reactor zorgen schoepen voor een maximum contact tussen het afval en de wand van de trommel.

De snelheid van de pyrolyse reactor en de verblijftijd van het afval kan variëren tussen 30 minuten tot 2 uur. Meestal wordt een verblijftijd van 1 uur gebruikt voor de carbonisatie van vast afval om een cokes fractie vrij van organische bestanddelen te vormen. In het voorste gedeelte (ong 1/3de) van de reactor wordt het afval gedroogd. Het overige gedeelte wordt gebruikt om het afval op te warmen en vervluchtigen van de vluchtige organische componenten.

Er wordt ongebluste kalk toegevoegd in de reactor om HCl, HF en SO<sub>2</sub> uit het syngas te absorberen. Hierdoor is het syngas dat wordt geproduceerd relatief proper en kan verbrand worden met minimale reiniging om aan de vereiste emissiegrenswaarden te voldoen.

De cokes worden verwijderd uit de reactor via een quench. Metalen worden verwijderd met behulp van een overbandmagneet, en afgevoerd voor recyclage.

Het geproduceerde syngas wordt door warme gas cyclonen waaruit om elke vier uur het verzamelde fijn stof wordt verwijderd door injectie van 1 kg zand per ton afval. Per uur wordt door de cyclonen ongeveer 80 tot 100 kg fijn zand verwijderd. Dit fijn stof wordt samen met het cokes-residu gestort.

Na de stofverwijdering wordt het syngas in een verbrandingskamer gevoed waar het wordt verbrand bij ongeveer 1200 °C. Een deel van de rookgassen wordt hergebruikt om de pyrolysetrommel te verwarmen. Deze rookgasstroom, afgekoeld tot 600 – 650 °C wordt gemengd met rookgassen uit de verbrandingskamer en worden afgevoerd naar de boiler. In de boiler wordt oververhitte stoom geproduceerd van 400 °C en 24 bar. Met deze stoom wordt elektriciteit geproduceerd.

De temperatuur van de rookgassen na de boiler bedraagt ongeveer 250 °C. Ze worden verder afgekoeld door de injectie van lucht, en worden gereinigd door een mouwenfilter. Voor de mouwenfilter wordt een mengsel van natriumbicarbonaat en actieve kool wordt geïnjecteerd om pollutanten, voornamelijk kwik, te verwijderen.

De mouwen van de mouwenfilter worden periodiek gereinigd door luchtpulsen. Het verwijderde stof wordt afgevoerd om te storten op een categorie 1 stortplaats.

Een deel van de rookgassen welke terug komen van de mouwenfilter worden naar de verbrandingskamer gevoerd om NO<sub>x</sub>-emissies te reduceren.

#### 4.2.2 Stand van de techniek

In Burgau in Duitsland is een pyropleq-installatie operationeel sinds 1987. Deze installatie is ontworpen om jaarlijks volgende stromen te verwerken:

- 20.000 ton huishoudelijk afval,
- 3.000 ton vast industrieel/commercieel afval
- 4.000 ton grof afval
- 5.000 ton RWZI-slib.

De installatie heeft 2 verwerkingslijnen van elk 3 ton/uur. De pyrolysereactoren zijn 20 meter lang en hebben een diameter van 2,2 m. Opschaling naar grotere capaciteiten is mogelijk. De installatie van Burgau is 7.200 uur/jaar operationeel. Deze installatie is reeds meer dan 10 jaar operationeel op commerciële schaal en heeft verschillende typen afvalstromen verwerkt (MSW, industriële vaste stoffen, geactiveerd slib, ...).

De installatie in Dortmund, met een capaciteit van 100.000 ton/jaar, heeft twee verwerkingslijnen met een capaciteit van 6,65 ton/uur is operationeel sinds de herfst van 2001. De installatie is 7.500 uur/jaar operationeel. Welke stromen precies verwerkt werden, en wat hierin het aandeel was van huishoudelijk restafval, moet verder worden nagegaan.

### 4.3 Thide – EDDITH proces<sup>3, 78</sup>

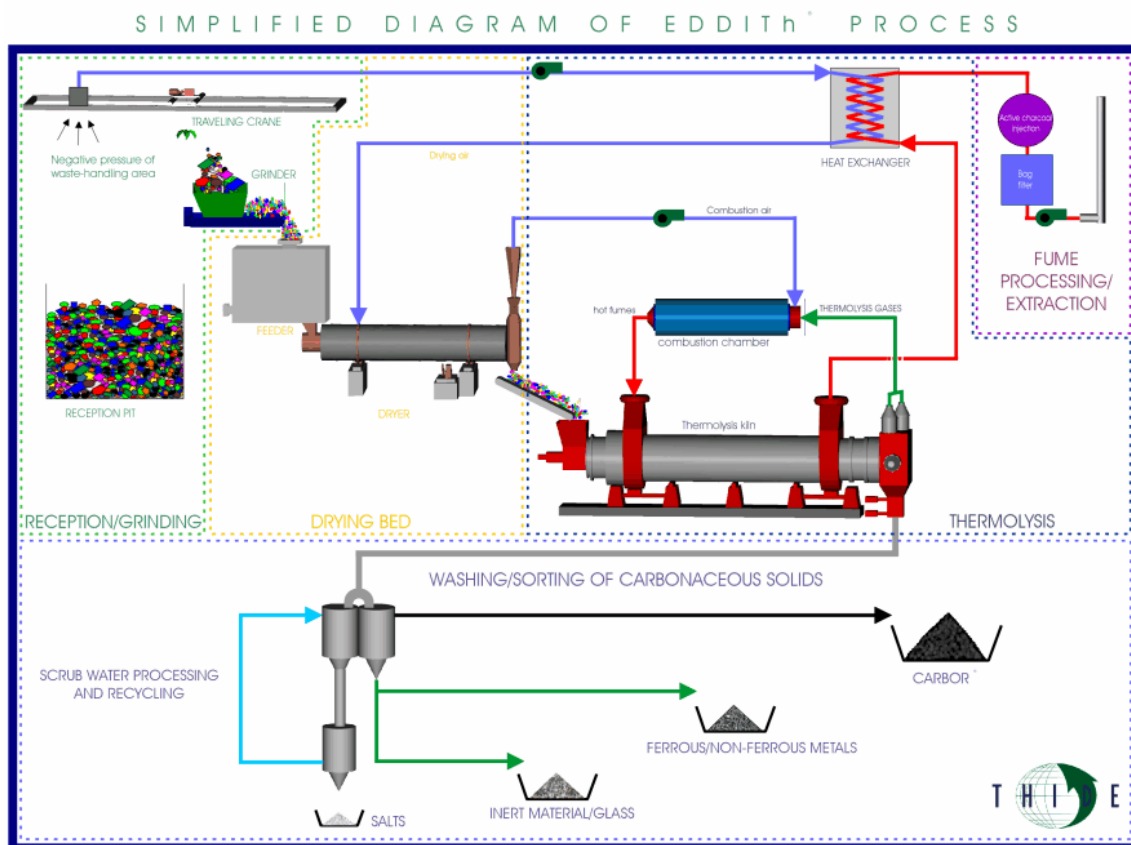
#### 4.3.1 Procesbeschrijving

Na het verkleinen en drogen van het afval worden de metalen verwijderd. Daarna wordt het afval in de pyrolysereactor gebracht welke werkzaam is bij een temperatuur tussen 400 en 600 °C bij atmosferische druk. Het vaste afval verblijft ongeveer 30 minuten in de reactor. Er wordt cokes fractie (Carbor) en een mengsel van syngas en teer geproduceerd. Het geproduceerde syngas wordt op een temperatuur van 400 °C gehouden, en wordt verbrand in de naverbrandingskamer. De warmte van de rookgassen wordt gebruikt in de pyrolysereactor en om het afval en Carbor te drogen.

De vaste cokes fractie wordt gewassen. De metalen en inerten worden verwijderd. De Carbor wordt opgeslagen en kan gebruikt worden als brandstof, on-site of off-site in bijvoorbeeld cementovens of elektriciteitscentrales.

Bij de temperatuur waarop de reactor wordt bedreven zal enkel kwik de installatie verlaten als gas. De overige zware metalen komen voornamelijk terecht in de Carbor. De rookgassen worden gekoeld en gezuiverd via actiefkoolinjectie en filtratie op een doekenfilter.

Door de afwezigheid van zuurstof in de pyrolyse reactor en de lage temperaturen worden nagenoeg geen NO<sub>x</sub> gevormd. Gedurende de verbranding van het syngas worden evenwel NO<sub>x</sub> gevormd. Ook bij de verbranding van de Carbor kunnen NO<sub>x</sub>-emissies vrijkomen.



Figuur 65: Eddith proces.

#### 4.3.2 Stand van de techniek<sup>82, 83</sup>

Thide is eigenaar en uitbater van een pilootinstallatie in Vernouillet, Frankrijk. De installatie heeft een capaciteit van 500 kg/uur.

In Nakaminato, Japan is een installatie van 10.000 ton/jaar werkzaam sinds april 1999. Het verwerkte huishoudelijk afval heeft volgende karakteristieken : vochtgehalte van 30 à 55%, OVW : 8,37 MJ/kg. De geproduceerde carbor wordt gebruikt als randstof in de on-site verglazingsreactor.

Nog in Japan in Itoigawa is een installatie met een capaciteit van 25.000 ton/jaar (2\*1,6 t/h) operationeel sinds mei 2002. Deze installatie verwerkt eveneens huishoudelijk afval.

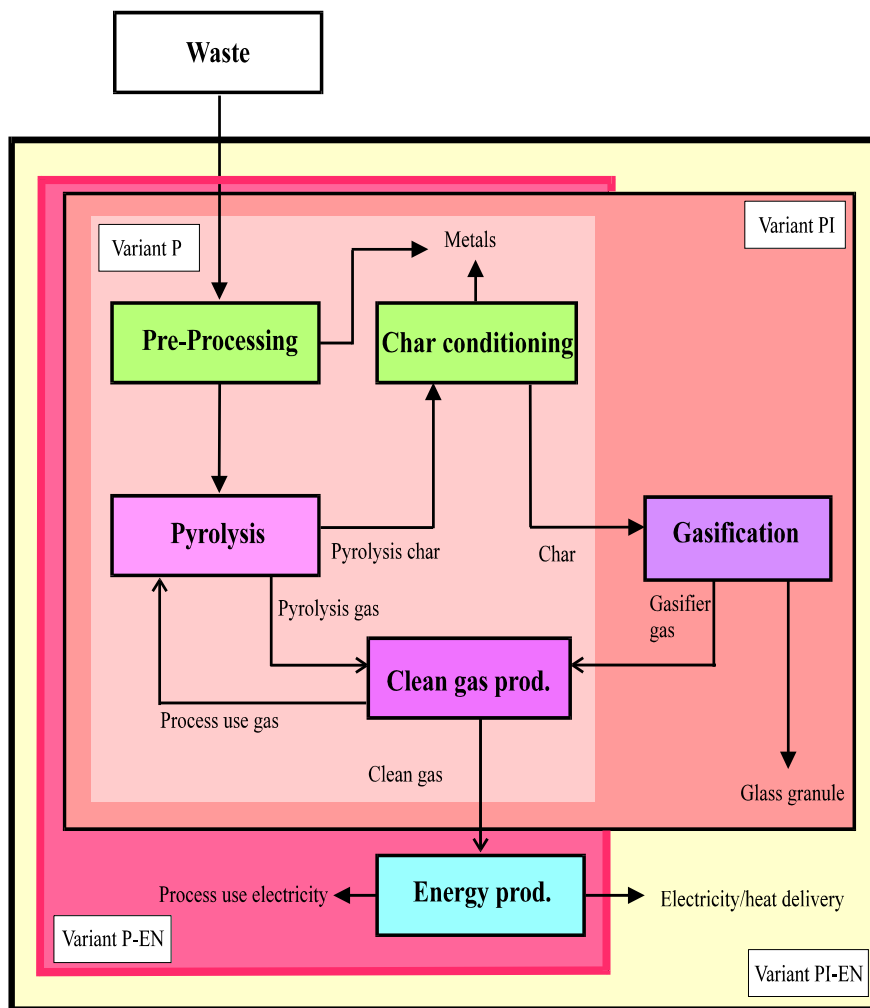
Een derde installatie in Japan in Izumo, met een capaciteit van 70.000 ton/jaar is actief sinds mei 2003. Ook deze installatie verwerkt huishoudelijk afval.

In Arras, Frankrijk is een installatie in werking sinds midden 2004. Deze installatie heeft een capaciteit van 50.000 ton/jaar (2\*3,3 ton/h). Deze installatie verwerkt huishoudelijk- en

industrieel afval en slibs. De installatie werd ontworpen om afval met een onderste verbrandingswaarde tussen 7,95 en 8,79 MJ/kg te verwerken, met een flexibiliteit van 60 tot 110% van de nominale waarde.

#### 4.4 PKA<sup>3</sup>

Op het PKA-procede bestaan een viertal varianten. Het betreft zowel alleenstaande systemen als geïntegreerde systemen. De samenstelling van de installatie wordt aangegeven door een lettercode : P = pyrolyse; I = inertisering; EN = energierecuperatie. In onderstaande figuur worden de verschillende varianten schematisch voorgesteld.



*Figuur 66: Vier varianten PKA-procede.*

##### 4.4.1 Procesbeschrijving

Het PKA-proces combineert pyrolyse met een gas-kraker en een optionele verglazingreactor voor de residu's.

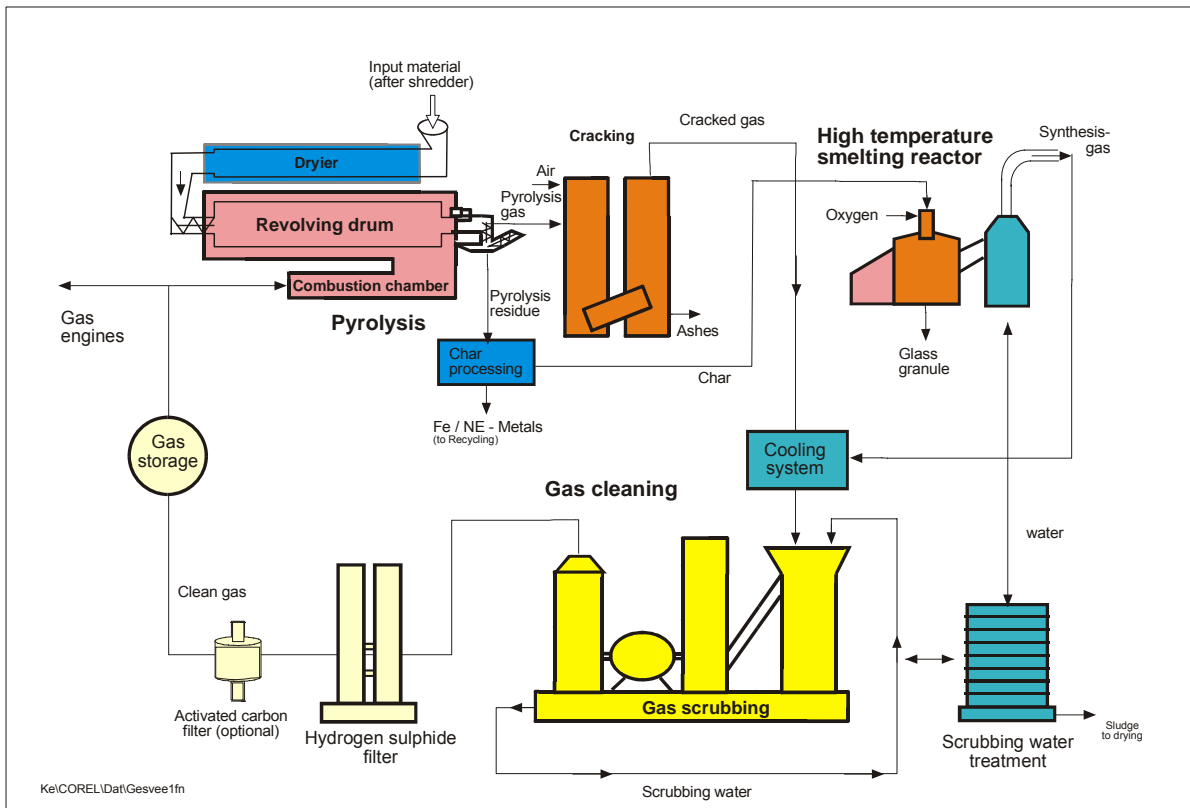


Het ruwe materiaal wordt verkleind. Grof huisvuil wordt manueel uitgesorteerd. Uit dit verkleinde materiaal worden de metalen verwijderd. De resterende fractie wordt nogmaals verkleind. Indien nodig wordt het afval gedroogd tot een drogestof gehalte van 85 %. Dit is niet strikt noodzakelijk maar wordt aangeraden door PKA om de thermische efficiëntie van de installatie te verhogen. Het drogen kan gebeuren in een draaitrommel welke verwarmd wordt met stoom. De stoom kan geproduceerd met de restwarmte van de pyrolyse reactor.

Het gedroogde afval wordt met behulp van een schroef in de pyrolyse trommel gebracht. Deze trommel wordt indirect verwarmt met hete gassen van de verbrandingskamer welke gedurende de opstart gebruik maakt van propaan gas of aardgas, en vervolgens met gereinigd pyrolyse gas. Het pyrolyse proces gebeurt in afwezigheid van zuurstof bij een temperatuur van 500 tot 550 °C, gedurende 45 tot 60 minuten.

Tijdens de pyrolyse vervluchtigen de organische componenten en vormen het pyrolyse gas. Dit gas wordt verwijderd uit de pyrolysetrommel en afgevoerd naar de kraker. In deze kraker worden de complexe organische componenten in het gas gedurende 2 seconden bij een temperatuur van > 1000 °C gekraakt tot eenvoudiger verbindingen. Water dat aanwezig is in het gas vormt samen met koolstof aanwezig in de reactor CO en H<sub>2</sub>. Daarenboven fungeert de gaskraker als onstoffingsinstallatie. Het gedeeltelijk gereinigde syngas verlaat de reactor met een temperatuur van 900 tot 1000 °C.

Het syngas passeert vervolgens door een boiler en een mouwenfilter. Het wordt afgekoeld en worden met behulp van een natte gaswassing de zure anorganische verbindingen verwijderd. Daarna volgt een sequentie van droge filters om organische verbindingen, kwik en H<sub>2</sub>S te verwijderen. Het gereinigde syngas heeft een calorische waarde van 4 à 4,5 MJ/Nm<sup>3</sup>.



Figuur 67: Proces PKA.

De pyrolysecokes worden uit de reactor verwijderd via een waterbad met schroef. Het water zorgt behalve voor afdichting van de reactor ook voor activering van het charoppervlak. Wanneer activering niet nodig is, kan droge afvoer voorzien worden.

Om de pyrolysecokes te kunnen verwerken in de vergasser moet de waterinhoud minder dan 10 % bedragen, dienen deze gemalen te worden (korrelgrootte maximum 1 mm) en worden de ferro en non-ferro metalen verwijderd. De cokes worden voor deze toepassing best op de droge manier verwijderd uit de reactor.

Bij de PI-varianten worden cokes zijdelings in de reactor gebracht. Met behulp van zuurstof (> 93 % O<sub>2</sub>) wordt de aanwezige koolstof omgezet in gas in een 'cycloon-oven'. De vrijgestelde warmte zorgt voor het smelten van de asfractie. De temperatuur in de reactor loopt op tot 1.500 °C. De vloeibare slak wordt afgevoerd via een sifon en afgeschrikt in water. Het geproduceerde gas verlaat de oven met een temperatuur van ongeveer 1.400 °C en bevat ongeveer 55 vol % CO, en heeft een calorische waarde van ongeveer 9 MJ/Nm<sup>3</sup>. Het gas moet ontstof worden en gereinigd van waterstofsulfide. Deze reiniging gebeurt in dezelfde installatie die gebruikt wordt voor het pyrolysegas.

Het inerte restproduct dat ontstaat is een glasgranulaat met een typische korrelgrootte van 1 mm. In dit granulaat zijn de aanwezige zware metalen en andere pollutanten stevig ingekapseld zodat ze niet uitloggen.

Bij de EN-varianten wordt met het geproduceerde gas zo veel mogelijk elektriciteit geproduceerd in gasmotoren. Deze motoren kunnen aanwezig zijn op de site, maar het gas kan eveneens geleverd worden aan off-site energie-centrales.

#### **4.4.2 Stand van de techniek**

In Freiberg (Duitsland) staat een pilootinstallatie met een capaciteit van 0,5 ton/uur (4.000 ton/jaar). In deze installatie werden verschillende vaste afvalstromen naar wens verwerkt, waaronder huishoudelijk restafval, industrieel afval, ASR en RWZI-slib.

De eerste commerciële installatie van PKA werd opgestart in 1998. Deze installatie in Aalen-Goldshöfen, Duitsland heeft een capaciteit van 25.000 ton/jaar en verwerkt een combinatie van huishoudelijk en commercieel afval en RWZI-slib.

Een tweede installatie in Freiberg, Duitsland met een capaciteit van 28.000 ton/jaar werd eind 1999 opgestart. In deze installatie wordt aluminium gerecupereerd uit industrieel afval.

### **4.5 Traidec<sup>78, 3</sup>**

#### **4.5.1 Procesbeschrijving**

Het afval wordt gedroogd tot 90 % DS en eventueel verkleind. Het afval mag een maximale afmeting hebben van 20 cm om de werking van het transportsysteem in de pyrolyse reactor niet te verstoren.

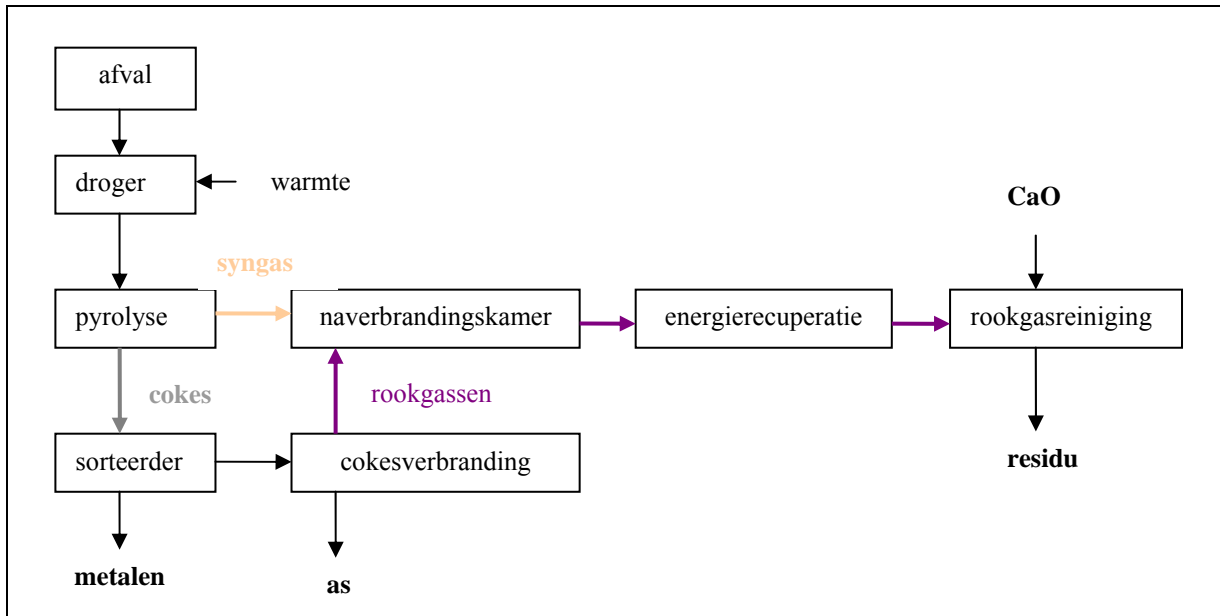
In de pyrolyse reactor bevindt zich een transportband waarmee het afval door de reactor wordt getransporteerd. De transportband is opgedeeld in 20 compartimenten elk met opstaande platen, welke het afval horizontaal door de reactor duwen. In elk compartiment zijn elektrische verwarmingselementen aanwezig om de nodige warmte te leveren om de organische inhoud van het afval te vergassen. De verwarmingselementen kunnen gestuurd worden zodat de energie-input in de reactor optimaal verloopt. De reactor wordt bedreven op 500 °C en 100 mbar vacuüm, zonder zuurstof. Het afval verblijft ongeveer 30 minuten in de reactor. Het afval wordt in de reactor gevoerd via een luchtdicht semi-bach vulsysteem. De resterende char wordt indirect gekoeld met water in een dubbelwandige schroefkoeler alvorens ze worden verwijderd uit de reactor.

Het geproduceerde syngas verlaat de reactor bovenaan en wordt afgevoerd via verwarmde buizen naar de naverbrandingskamer. Hier wordt het verbrand bij 850 °C (verblijftijd 2 seconden). De temperatuur wordt gecontroleerd door het toevoegen van brandstof (propan) en lucht.

Metalen en inerten worden afgescheiden van de cokes waarna deze worden vernalen en verbrand. De rookgassen worden afgevoerd naar de naverbrandingskamer, waar ze 2 seconden bij 850 °C worden met een overmaat aan zuurstof. De warmte van alle geproduceerde rookgassen wordt gerecupereerd in een stoomketel (40 bar, 400 °C). Een gedeelte van de stoom kan gebruikt worden om het afval te drogen. De overige stoom kan

afgevoerd worden naar derden of gebruikt worden om met behulp van een turbine stoom te produceren.

De rookgassen worden vervolgens gereinigd door droge kalkinjectie.



*Figuur 68: Traidec.*

#### 4.5.2 Stand van de techniek

Sinds de herfst van 1999 heeft Traidec een werkende referentieinstallatie op industriële schaal (1,5 ton/uur) in Sainte Foy, Frankrijk. Er werd een installatie ontwikkeld voor de verwerking van verkleinde afval banden (600 kg/uur), welke werd verkocht aan een klant in Mexico. Deze installatie werd uitvoerig getest met verschillende afvalstromen waaronder huishoudelijk restafval.

### 4.6 Nexus Softer Proces<sup>77, 78</sup>

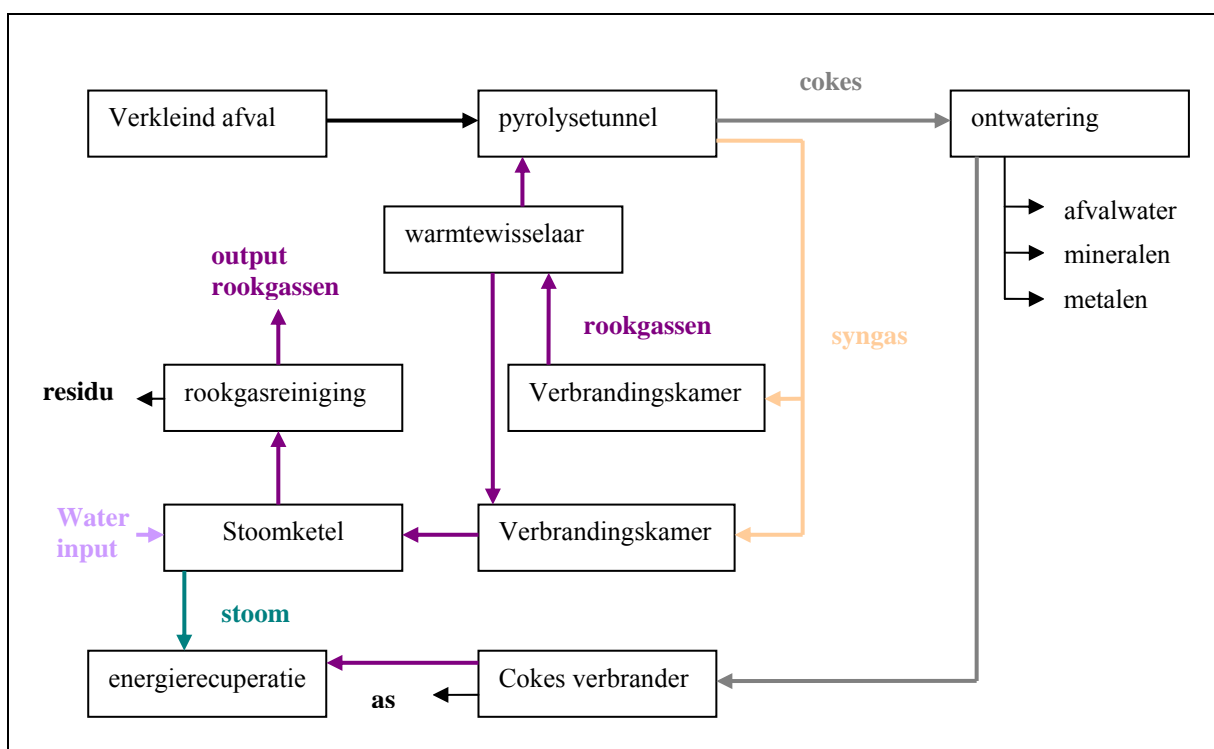
#### 4.6.1 Procesbeschrijving

Na ontvangst wordt het afval, indien nodig, grof geshredderd en in containers gebracht. De containers worden in een luchtsluis gebracht. Deze luchtsluis is een onafhankelijke mobiele eenheid die over rails beweegt tussen het container vulstation, de oven in- en uitgang en het container losstation. De luchtsluis isoleert de container van buitenlucht, verwijdert zuurstof en voorkomt dat zuurstof in de pyrolyse zone wordt gebracht samen met de container.

De containers worden in de pyrolysetunnel gebracht. De duur van het proces is afhankelijk van het type afval dat verwerk. Voor vochtig huishoudelijk restafval bedraagt de verblijftijd ongeveer 8 uur. In de tunnel wordt het afval blootgesteld aan hoge temperaturen, in afwezigheid van zuurstof. Hierdoor worden organische componenten vervluchtigd en

worden er cokes en syngas geproduceerd. Het afval wordt verwarmd door injectering van de hete rookgassen afkomstig van de syngasverbranding (650 °C) in de containers.

Na het verlaten van de oven worden de containers afgekoeld en worden cokes en inertien in een waterbad gebracht. Deze vaste stoffen worden uit het waterbad verwijderd en ontwaterd. De cokes worden afgescheiden van de inertien (metalen, glas ed.). De cokes kunnen zowel on-site als off-site gevaloriseerd worden. Wanneer dit on-site gebeurt worden de geproduceerde rookgassen gebruikt om stoom te produceren in de stoomketel.



*Figuur 69: Nexus Softer proces.*

Het syngas dat wordt geproduceerd tijdens de pyrolyse worden uit de tunnelafgescheiden. Een deel van het syngas wordt verbrand in de verbrandingskamer waarvan de rookgassen gebruikt worden om het afval te verwarmen in de pyrolysetunnel. Deze verbrandingskamer werkt met stochiometrische luchthoeveelheden om te verzekeren dat er slechts minimale hoeveelheden O<sub>2</sub> worden afgevoerd naar de pyrolysekamer. De resterende hoeveelheid rookgassen worden afgevoerd naar een tweede verbrandingskamer welke bedreven wordt met een overmaat aan zuurstof om een goede verbranding van het syngas te verzekeren. De resterende hoeveelheid syngas wordt eveneens afgevoerd naar deze tweede verbrandingskamer. De hitte van deze rookgassen wordt gebruikt voor de productie van stoom in een stoomketel.

#### 4.6.2 Stand van de techniek

Er werden drie pilootinstallatie succesvol gerealiseerd in Saint Chamas (1991), Venelles (1992) en Châteaurenard (1994). Deze laatste is een grootschaligere demonstratie-installatie met een capaciteit van 0,5 ton/uur. In deze installatie werden verschillende stromen met succes verwerkt waaronder huishoudelijk afval, autobanden en ASR. De uitbating van deze installaties werd gestopt in 1999.

Het proces werd nog niet continu bedreven op commerciële schaal.

Er werd een installatie gepland in Digny, Frankrijk met een capaciteit van 30.000 ton/jaar. De bouw is gestart in 2000. De installatie zou opgestart worden in 2001, deze opstart heeft echter nooit plaatsgevonden wegens financiële moeilijkheden van Nexus Technologies. In 2001 werd een faillissementsaanvraag ingediend.

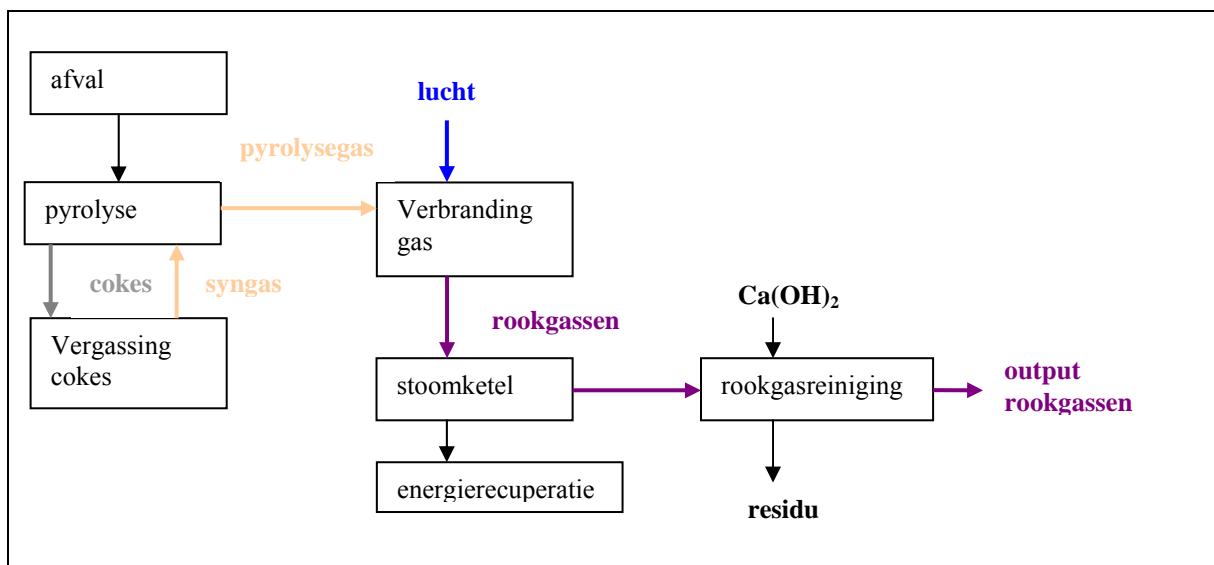
De financiële moeilijkheden van Nexus Technologies hebben tot gevolg gehad dat ADME expertise heeft opgebouwd betreffende de technologie. Dit heeft er toe geleid dat kon worden aangetoond dat de meerkost van de installatie in Digny verantwoord kon worden door verbetering van de techniek.

Op basis van deze resultaten en op basis van de wil van ADME om het project te blijven uitbaten als een valabele alternatieve en economisch mogelijk techniek, heeft ADME de discussies bevorderd en deelgenomen aan bijeenkomsten van de verschillende partners die betrokken zijn bij het project in Digny (constructeur, uitbater, gemeenschap) om de uitbating van de installatie te kunnen verder zetten. De mogelijkheid voor ADME om het project zelfstandig verder te zetten werd bestudeerd maar financieel onmogelijk geacht.

### 4.7 Basse-Sambre ERI : Serpac Pyroflam <sup>78</sup>

#### 4.7.1 Procesbeschrijving

De reactor bestaat uit twee licht hellende kamers die roteren rond een gemeenschappelijke horizontale as. De pyrolyse reactor wordt zuurstofvrij bedreven op een temperatuur tussen 600 en 700 °C. De organische bestanddelen worden omgezet in cokes en syngas. Door de draaiende beweging van de reactor worden de gevormde cokes getransporteerd naar de vergassing reactor. Het ontwerp van de reactor verzekert dat het vaste afval voldoende lang in de pyrolysezone verblijft om alle organische bestanddelen om te zetten tot cokes en syngas. Substoichiometrische hoeveelheden lucht worden geïnjecteerd in de cokes vergassings reactor. De cokes worden vergast bij een temperatuur van 800 °C. De temperatuur van de gassen van de vergassing van de cokes is voldoende hoog om de pyrolyse reactor op de benodigde temperatuur te houden zonder toevoeging van bijkomende brandstof. De assen verlaten de cokes vergassingszone en worden na het recupereren van de metalen verwijderd.



*Figuur 70: Serpac Pyroflam.*

Het geproduceerde syngas afkomstig van de cokes wordt gemengd met het syngas van de pyrolyse aangezien het in tegenstroom door de pyrolysetrommel passeert. Het gemengde syngas wordt naar een naverbrandingskamer geleid waar het wordt verbrand bij een temperatuur van 1.100 – 1.200 °C. Het gas heeft er een verblijftijd van 2 seconden in de aanwezigheid van 6 % O<sub>2</sub>. De warmte van de rookgassen wordt gerecupereerd in een stoomketel. De geproduceerde stoom kan gebruikt worden als processtoom of voor de productie van elektriciteit. De rookgassen worden gereinigd in een droge rookgasreiniging met injectie van ongebluste kalk of natriumbicarbonaat als sorptiemiddel en een doekfilter.

#### 4.7.2 Stand van de techniek

In 1996 werd in Boedapest een installatie gebouwd voor de verwerking van 1 ton/uur gemengd afval dat ontstaat in de luchthaven. De installatie produceert warm water voor de verwarming van de luchthavengebouwen. De installatie heeft een effectieve capaciteit van 800 kg/uur voor afval met een calorische waarde van 16,7 MJ/kg.

In Bar-sur-Aube, Frankrijk werd een project niet gerealiseerd na aanpassing van het lokale afvalplan.

### 4.8 Compact power<sup>77, 84</sup>

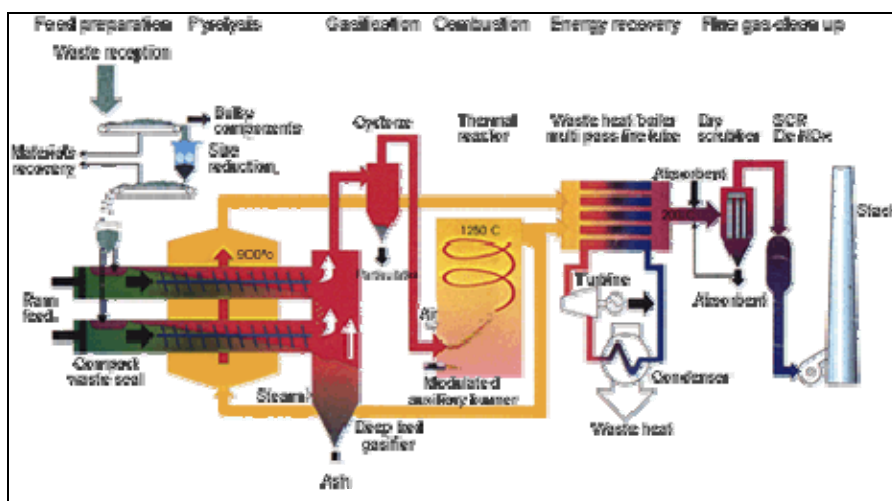
#### 4.8.1 Procesbeschrijving

Het Compact Power proces bestaat uit een combinatie van drie processen nl. pyrolyse, vergassing en hoge temperatuur oxidatie. De verschillende processen worden gescheiden gehouden. Dit zou de procescontrole moeten vergemakkelijken, de syngasproductie optimaliseren, en emissies minimaliseren. Het afval dient te worden verkleind tot 75 mm en metalen worden verwijderd. Het afval wordt gevoed in een systeem van pijpen die indirect worden verwarmd. Het afval wordt gepyrolyseerd bij een temperatuur van 400 – 800°C in

afwezigheid van zuurstof gedurende ongeveer 30 minuten. De organische bestanddelen worden omgevormd tot een pyrolysegas en cokes.

Aanwezige inertien worden samen met de cokes afgevoerd naar een vastbedvergasser. Aan de vergassingsreactor wordt lucht en stoom toegevoegd. De cokes reageren met de stoom op hoge temperatuur en er wordt  $H_2$ ,  $CO$  en  $CO_2$  gevormd (syngas). Er wordt geopteerd voor een vastbedvergasser om deeltjesoverdracht te minimaliseren. De vergassing duurt ongeveer 1 uur.

Het pyrolyse- en syngas worden afgevoerd naar een thermische oxidatie reactor die op een constante temperatuur van  $1.250\text{ }^\circ\text{C}$  wordt gehouden. Het gas heeft een verblijftijd in de reactor van minimaal 2 seconden. Er wordt voldoende lucht toegevoegd om te verzekeren dat aanwezige koolwaterstoffen volledig worden geoxideerd.



*Figuur 71: Compact power.*

De rookgassen worden gebruikt om de pyrolyseractor te voorzien van de benodigde warmte. Hierna worden deze afgevoerd, samen met de resterende rookgassen naar een stoomketel. Hier wordt de warmte van de gassen gerecupereerd. Afhankelijk van de omstandigheden kan geopteerd worden voor de productie van stoom of elektriciteit. De gassen koelen af tot een temperatuur onder  $250\text{ }^\circ\text{C}$ .

De installatie voldoet aan de eigen warmte behoefte, ook indien er afval wordt verwerkt met een lage calorische waarde. Er wordt evenwel een hulpbrandstof gebruikt om te verzekeren dat de temperatuur in thermische oxidator gehandhaafd wordt en dat de vereiste hoeveelheid stoom en elektriciteit wordt geproduceerd.

Na de stoomketel worden de rookgassen gereinigd. De temperatuur van de gassen bedraagt ongeveer  $200\text{ }^\circ\text{C}$ . De zuren worden verwijderd in een droge gaswassing door injectie van  $NaHCO_3$ ,  $NO_x$  met behulp van een SCR.



#### 4.8.2 Stand van de techniek

In Finham (Coventry), Engeland werd in 1994 door Compact power een pilootinstallatie gebouwd met een capaciteit van 3.000 ton/jaar. Tussen 1995 en 1997 werden proeven gedaan op verschillen afvalstromen zoals ontwaterd RWZI-slib, huishoudelijk afval, ziekenhuisafval, afvalbanden, afval van plantaardigeolierafinage en slik. Volgens compact power kon de installatie deze stromen naar behoren verwerken.

In 1998 begonnen de voorbereidingen voor de bouw voor de eerste commerciële installatie voor de verwerking van huishoudelijk afval in Avonmouth in Bristol. De bouw van deze installatie begon in 2000 en werd opgeleverd in april 2001. In september 2001 werden bijkomende vergunningen aangevraagd om een bredere range aan afvalstromen te mogen verwerken. De installatie werkt vol-continu sinds januari 2002. De installatie heeft een capaciteit van 8.000 ton/jaar voor afval met een calorische waarde van ongeveer 12 MJ/kg.

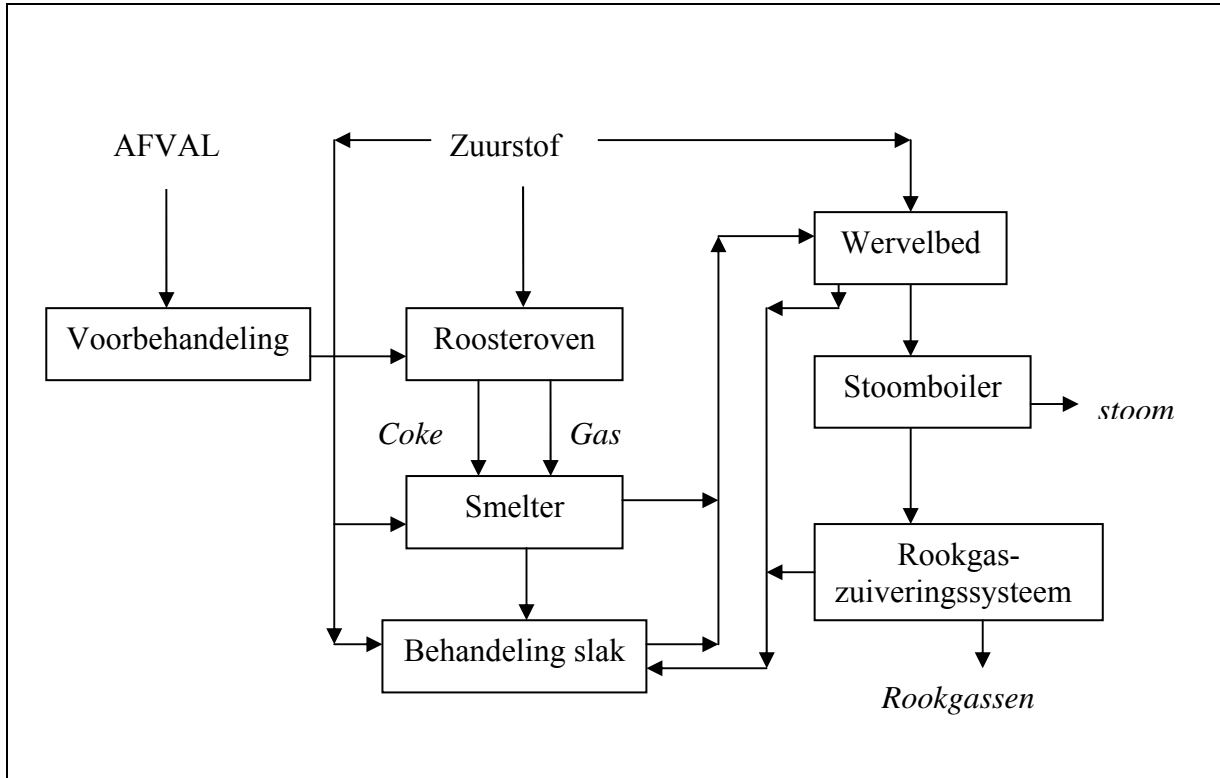
De bouw van een nieuwe installatie in Exeter voor de verwerking van huishoudelijk afval wordt gepland. De installatie zou een capaciteit van 30.000 ton/jaar hebben. Tegen eind 2005 zou de installatie operationeel moeten zijn<sup>85</sup>.

#### 4.9 Von Roll RCP<sup>77, 86, 87</sup>

Het RCP (Recycled clean Product) proces is een combinatie van drie processen nl. pyrolyse, smelten en wervelbedverbranding. Het proces is ontworpen om geen procesemissies te hebben.

Het proces maakt gebruik van een Von Roll roosteroven als pyrolysekamer. In deze kamer wordt huishoudelijk afval verwarmd en omgezet in pyrolysegas en pyrolyse cokes. De energie nodig voor dit proces is afkomstig van gedeeltelijke verbranding van het pyrolysegas met zuurstof. Het afval wordt gepyrolyseerd bij een bedtemperatuur van 500 °C en het syngas heeft een temperatuur van 900 °C wanneer het de pyrolysekamer verlaat.

De pyrolyse cokes en het overblijvende pyrolysegas, stroomt in een smeltoven waar de temperaturen gehaald worden van 1.400 °C door de injectie van zuurstof. Deze temperaturen zijn nodig voor het smelten van alle materialen. De zuurstof wordt tangentieel in de smeltoven ingespoten waardoor er turbulentie ontstaat. Door de turbulentie is er een goede vermenging van het te smelten materiaal zodat het volledig geoxideerd kan worden. Het gebruik van zuurstof reduceert ook het volume gas dat gevormd wordt.



*Figuur 72: Von Roll RCP.*

De smeltoven en slakbehandelingsreactor is bekend als het HSR proces (High Temperature Smelt Redox Process). Met dit proces worden zware metalen geconcentreerd en gescheiden van de gesmolten slakken. De koper-ijzer legering die onderaan de slakken gevormd wordt, kan verder gebruikt worden in de metaalindustrie. De vluchtige metalen (Zn, Cd, Pb) worden verdampt. De slakken worden verder gepelletiseerd en kunnen gebruikt worden in de cementindustrie. Warmteverliezen van de HSR-reactor worden gecompenseerd door een brandstof/zuurstof-brander. Het procesgas dat vrijkomt bij de behandeling van de slakken wordt gemengd met het syngas van de smeltoven en verbrand in een circulerend wervelbed. De vluchtige metalen worden opnieuw geoxideerd, gecondenseerd en afgeleid naar het zuiveringssysteem.

De hete rookgassen van de smeltoven en de HSR reactor worden verbrand in een circulerend wervelbed bij een temperatuur goed beneden de 1.000 °C. Er wordt opnieuw zuurstof toegevoegd om zeker te zijn dat al het organisch materiaal geoxideerd wordt. De rookgassen en het zand worden gescheiden in een hete cycloon en de gassen passeren dan door een conventionele stoomboiler, waar ze aangewend worden om stoom te genereren voor de productie van elektriciteit of warmte.

#### 4.9.1 Stand van de techniek

Een RCP pilotplant van 16 MW staat in Bremerhaven, Duitsland. De klant is hier de lokale overheid. De RCP lijn werkt parallel met drie conventionele verbrandingslijnen. Het RCP proces produceert een aanzienlijk kleiner volume aan rookgassen die behandeld worden door de bestaande rookgassystemen. De capaciteit bedraagt 6 ton/uur en er kan

20 ton stoom/uur geproduceerd geproduceerd. Sinds 1997 worden er testen uitgevoerd en tot nu toe werd er 60 % van de verwerkingscapaciteit benut.

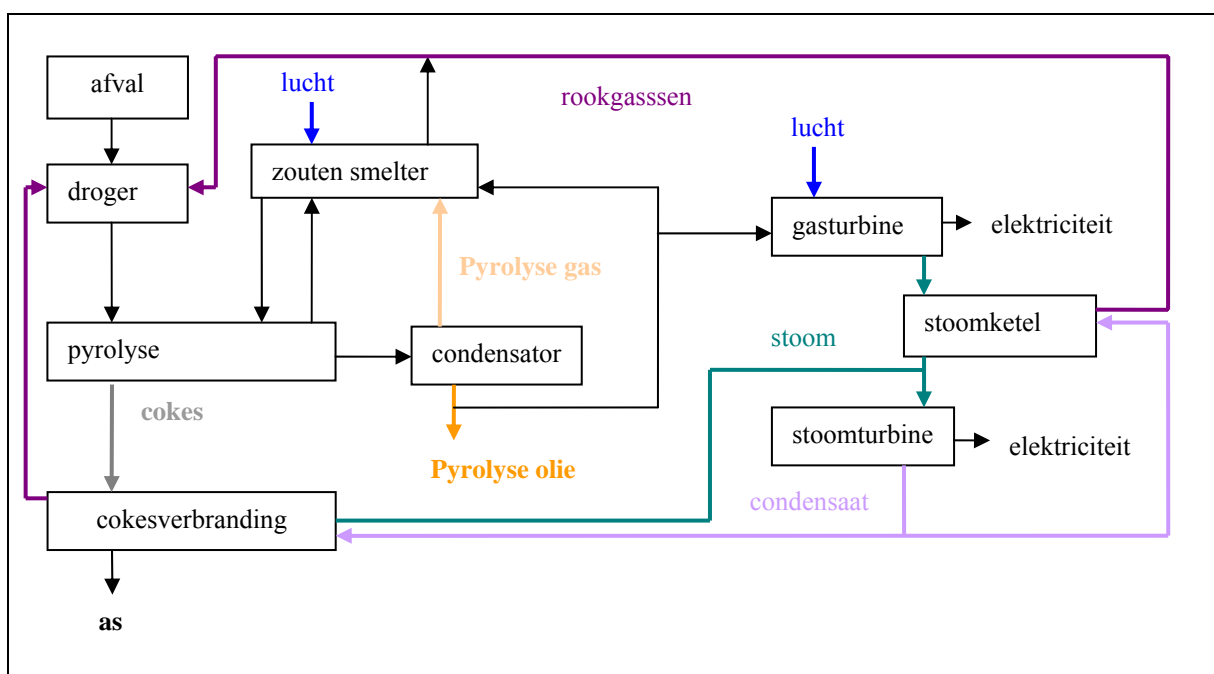
## 4.10 Pyrovac<sup>77</sup>

Pyrovac is een voorbeeld van een pyrolyse techniek voor de thermische verwerking van afval. Voor deze techniek werd echter geen praktijkvoorbeeld gevonden waarbij huishoudelijk afval verwerkt werd, maar de techniek is er wel geschikt voor.

### 4.10.1 Procesbeschrijving

Het pyrovac-proces is een vacuüm pyrolyse systeem. De techniek zou een brede range aan afvalstromen kunnen verwerken (industrieel en huishoudelijk afval, biomassa, RWZI-slib, ASR, afvalbanden, medisch afval en petroleum residu's).

Het afval dient te worden verkleind en eventueel gedroogd alvorens het in de reactor wordt gebracht. Het afval wordt in de reactor getransporteerd over horizontale platen welke verwarmd worden door gesmolten zouten (een mengsel van kaliumnitraat, natriumnitriet en natriumnitraat). De temperatuur van de platen bedraagt 500 °C. Om de zouten op temperatuur te houden, wordt gebruik gemaakt van een brander welke gevoed wordt met het niet condenseerbare gas dat gevormd wordt in het proces. Indien nodig kan bijkomend fossiele brandstof toegevoegd worden. Als back-up voor het behouden van de temperatuur in de pyrolyse reactor wordt een elektrische inductie brander gebruikt.



Figuur 73: Pyrovac.

De reactor, welke werkt bij een temperatuur van 500 °C en een druk van 0,15 bar, werd ontworpen om met een hoge efficiëntie geforceerde warmte uit te wisselen met de pyrolyserende materialen. Het systeem maakt gebruik van een commercieel verwarmingssysteem om de zouten te smelten.

Bij de verwarming vergast de organische inhoud van het materiaal. Het geproduceerde gas wordt uit de reactor verwijderd met behulp van een vacuümpomp. De gassen worden afgevoerd naar twee 'packed towers' waar de oliefracties gerecupereerd worden. De niet condenseerbare gassen worden gebruikt in de brander waarmee de gesmolten zouten worden opgewarmd. Het vaste residu (cokes) uit de reactor wordt afgekoeld tijdens het verlaten van de reactor.

Het oorspronkelijk idee van de ontwerpers van het pyrovac systeem was om een pyrolyse olie te produceren welke gebruikt zou kunnen worden, na verschillende verwerkingsstappen, in de chemische industrie. Er zou potentieel zijn om geproduceerde componenten te gebruiken in harsen, solventen, farmaceutische producten, geur en smaakstoffen.

Pyrovac heeft ondervonden dat de markt vaak energierecuperatie prefereert boven feedstockrecycling. Hierdoor hebben ze zich meer gericht op systemen welke energie produceren dan op systemen waarmee producten worden ontwikkeld uit de pyrolyseolie. Pyrovac promoot momenteel deze variant op de techniek als het Integrated pyrocycling combined cycle (IPCC) system. In dit systeem wordt het pyrolyseproces gecombineerd met een STEG (Stoom en Gas turbine).

#### **4.10.2 Stand van de techniek**

De eerste installatie op commerciële schaal werd gebouwd in Jonquière in Quebec, Canada in 1998. Het is een demonstratie installatie op grote schaal met een capaciteit van 3,5 ton/uur. De reactor werd gebouwd om grote hoeveelheden pyrolyse olie en cokes te produceren. Deze reactor was het eerste ontwikkelingsstadium voor een grotere installatie (150 kton/jaar) die gepland wordt voor de pyrochem-Seguenay plant welke schorsresidu's verwerkt tot pyrolyseolie en cokes. De geproduceerde olies kunnen gebruikt worden om fenolformaldehyde harsen te produceren. De char zou verkocht kunnen worden als 'feedstock' voor lokale metaal en mineraal verwerkende industrie.

Een ander project dat gepland is in Nederland is om 123.000 ton/jaar hout en houtafval te verwerken. De geproduceerde bio-olie en charcoal zullen verwerkt worden in de Hemweg kolencentrale (uitgebaat door UNA).

In het Verenigd Koninkrijk wordt in Carlisle een installatie gepland. Deze installatie zou residu's van bosbouw verwerken bio-olie en cokes. De geproduceerde brandstoffen zouden gebruikt worden om 20 MWe te produceren in Carlisle. De resterende hoeveelheden brandstoffen worden afgevoerd naar kleinschalige installaties voor lokale productie van warmte en elektriciteit.

Hoewel de geplande installaties steeds biomassa verwerken, kan volgens de constructeurs elke vaste afvalstof verwerkt worden welke een organische fractie bevatten. Van verwerking van huishoudelijk restafval werden echter geen concrete referenties teruggevonden.

#### **4.11 SWERF**

SWERF<sup>TM</sup> (Solid Waste Energy and Recycling Facility) is een geïntegreerd afvalverwerkingssysteem dat het huishoudelijk restafval voorbehandelt, recycleerbare fracties afscheid, en de thermisch valoriseerbare fractie vergast (zie Deel 3, § 5.3.2).

Het enige grootschalige project (in Australië) kampt met technische problemen bij vergassing van de pyrolyse-cokes. Geplande investeringen in Groot-Brittannië komen daardoor mogelijk op de helling te staan.



## REFERENTIES

- <sup>1</sup> Theunis, J. et al., 2004. Beoordeling van technische haalbaarheid en van milieu-aspecten van het afvalverwerkingsbeleid. Vito-rapport 2004/IMS/R/94. Vito, Mol (B).
- <sup>2</sup> Torfs, R. et al (2005); SusTools Tools for sustainability : Development and Applications of an integrated Framework, Evaluation of treatment options for municipal solid waste and stakeholder workshops & multicriteria analysis. Vito-rapport 2005/IMS/R/002. Vito, Mol (B).
- <sup>3</sup> Vrancken, K. et al., 2001; Vergelijking van verwerkingsscenario's voor restfractie van HHA en niet-specifiek categorie II bedrijfsafval. Vito-rapport 2001/IMS/R/031. Vito, Mol (B).
- <sup>4</sup> Geuzens P. en Vanderreydt I., 2000. Evolutie van de calorischewaarde van de input in de Vlaamse huisvuilverbrandingsinstallaties. Vito-rapport 2000/MIM/R/13. Vito, Mol (B).
- <sup>5</sup> Theunis, J. et al., 2004. Evaluation of the FibreCycle processing plant for residual waste. Vito-rapport 2004/IMS/R/035. Vito, Mol (B).
- <sup>6</sup> Buwal 250 (1998). Database of Life Cycle Inventories vor Packagings. Environmental series No 250. swiss Agency for the Environment, forests and landscape.
- <sup>7</sup> Frischknecht, R. et al., 1996. Ökoinventare für Energiesysteme, Eidgenössige Technische Hochschule, Zürich.
- <sup>8</sup> Simapro 5.0 software voor LCA, pré Consultants, Amersfoort (NI)
- <sup>9</sup> Goedkoop, M., et al. 1999. The Eco-indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology report, VROM Report 36A, Den Haag (NI).
- <sup>10</sup> EPA 1998b. "Study of Hazardous Air Pollutant Emissions from Electric Utility Steam Generating Units", EPA-453/R-98-004a. <http://www.epa.gov/ttncaaa1/t3/meta/m28497.html> and <http://www.epa.gov/ttncaaa1/t3/meta/m27812.html>
- <sup>11</sup> EPA 1998c. Toxicological Review of Hexavalent Chromium. Washington, DC, National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development. Available at <http://www.epa.gov/iris/toxreviews/0144-tr.pdf>
- <sup>12</sup> Mener WC, Rosen PL, Austin DM, Holt WS 2001. Shipyard Welding Emission Factor Development. US EPA Emission Inventory conference. Denver
- <sup>13</sup> ATSDR 2000. Toxicological Profile for Chromium. U.S. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA Available at <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp7.html>
- <sup>14</sup> Vanderreydt, I. (2001). Inventarisatie van de afvalverbrandingssector in Vlaanderen. Vito-rapport 2001/MIM/R/030. Vito, Mol (B).
- <sup>15</sup> Soyez K, Plickert S. (2001). Mechanical-biological pre-treatment of waste - state of the art and potentials of biotechnology.
- <sup>16</sup> Vito (2003) Energetische valorisatie van hoogcalorische afvalstromen in Vlaanderen. Deel 1 Scenariostudie. Studie uitgevoerd in opdracht van OVAM.
- Vito (2003) Energetische valorisatie van hoogcalorische afvalstromen in Vlaanderen. Deel 2 Afvalaanbod, procesbeschrijvingen en toepassingsmogelijkheden. Studie uitgevoerd in het kader van de opdracht van het BBT-Kenniscentrum.
- <sup>17</sup> Basisinventaris "Nieuwe technieken" in het kader van het project Nieuwe afvalverwerkingstechnieken voor de provincie Antwerpen - Opgesteld door de technische werkgroep, 25 februari 1999
- <sup>18</sup> <http://www.juniper.co.uk>
- <sup>19</sup> <http://www.asa-ev.de/asa.htm>
- <sup>20</sup> <http://www.ows.be/>
- <sup>21</sup> Johan Gemoets, PRODEM, VITO (2000)
- <sup>22</sup> <http://www.steinmuller-valorga.fr>
- <sup>23</sup> <http://w2.amiens.com>
- <sup>24</sup> OVAM, Nico Vanaken, mei 2004
- <sup>25</sup> RW BECK (2004), Anaerobic digestion feasibility study
- <sup>26</sup> <http://62.27.58.13/en/en.jsp>
- <sup>27</sup> Santen H., Seifermann T. (2003). Untersuchungen zur Vorbehandlung von Abfällen vor der Vergärung mittels Perkolation nach dem ISKA®-Verfahren. Proceedings van het Kasseler Afvalforum 2003.
- <sup>28</sup> Brochure ter beschrijving van het ISKA®-concept, gedownload van de website: <http://www.iska-gmbh.de>.
- <sup>29</sup> Persbericht van 12 februari 2003: Districts of Ludwigsburg, Enzkreis and Rottweil engage T-plus for garbage disposal.

- 
- 30 <http://www.vagron.nl>
- 31 [http://www.grontmij.nl/projecten/project\\_detail.asp?id=389](http://www.grontmij.nl/projecten/project_detail.asp?id=389)
- 32 [http://www.vvav.nl/nw\\_AF\\_0303\\_Vagron.html](http://www.vvav.nl/nw_AF_0303_Vagron.html)
- 33 <http://www.bta-technologie.de/files/infostart-e.htm>
- 34 <http://62.27.58.13/en/en.jsp>
- 35 J. Theunis, A. Van der Linden, L. Int Panis, P. Claeys, R. Torfs (2003). Actualisatie van de Vito studie rond verwerking van restafval toegepast op de verwerking van restafval in de Provincie Limburg. Studie in opdracht van LISOM (Vertrouwelijk).
- 36 Besluit van de Vlaamse regering van 5 maart 2004 inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen
- 37 Persmededelingen van Herhof-Umwelttechnik GmbH van 10/05/2002 en 6/11/2003, beschikbaar op de website <http://www.herhof.de>
- 38 [http://www.herhofenvironmental.com/stabilat/track\\_record.asp](http://www.herhofenvironmental.com/stabilat/track_record.asp)
- 39 <http://www.nehlsen.de>
- 40 Forum Hochkalorik Brandenburg, Workshop. Potsdam, 29/30 april 2003
- 41 <http://www.ecodeco.it/>: de engelse versie van deze website is nog niet klaar.
- 42 <http://www.shanks.co.uk/> (de meeste informatie is afkomstig van: Shanks Group's information leaflet introducing the Mechanical Biological Treatment process, dat gedownload kan worden op deze website)
- 43 <http://www.eastlondonwaste.gov.uk/html/download/qas.htm>
- 44 [http://watchdognews.net/article\\_news/0073.htm](http://watchdognews.net/article_news/0073.htm)
- 45 <http://www.paschiambiente.it/NR/rdonlyres/964D7100-47D5-40AE-B886FA4699ABC60/1162/ProductsandServices.pdf>
- 46 [http://www.iea.org/tech/fbc/pdf/year\\_2002\\_final.pdf](http://www.iea.org/tech/fbc/pdf/year_2002_final.pdf)
- 47 <http://www.landfill.co.za/dome.html>
- 48 <http://www.tvt-uvt.tu-dresden.de/Takt/dbv/anwend.html>
- 49 <http://www.schwarting-umwelt.de>
- 50 DPU en BZL (2000). Studie zu den Abfallwirtschaftlichen und Ökologischen Auswirkungen einer Abfallverwaltungsvorschrift (Abfall VwV) vertretenen Rechtspositionen
- 51 <http://www.faber-ambra.de/engl/start.htm>
- 52 <http://www.eurec.de/new-web/web-en/produkte.htm>
- 53 <http://www.ccp-waste.de/>
- 54 <http://www.put.at>
- 55 <http://www.rumen.fi/>
- 56 S. Striewski, Th. Pretz (2003). THE TEXAN PROCESS - TREATMENT BY EXTRACTION AND ANAEROBIC DIGESTION - OF MUNICIPAL SOLID WASTE (MSW). Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry, issue 2(2), May-June 2003; dit artikel kan gedownload worden op volgende website: <http://www.ifa.rwth-aachen.de/new/index.html>
- 57 [http://vkw-anlagenbau.at/e\\_content.htm](http://vkw-anlagenbau.at/e_content.htm)
- 58 <http://www.iut.at/deutsch/basep.htm>
- 59 Brightstar Environmental, Solid Waste and Energy Recycling Facility, SWERFTM
- 60 <http://www.brett.co.uk/swerf/>
- 61 Persberichten Energy Developments Limited van 21 juli 2003 en 6 november 2003
- 62 <http://www.sotec.de/en/index.html>
- 63 <http://www.vadeb.nl/>
- 64 <http://www.mg-lee.de/english/nbsp/index.html>
- 65 [http://www.u-nord.de/ak\\_insolvenz.htm](http://www.u-nord.de/ak_insolvenz.htm)
- 66 [http://www.uni-weimar.de/Bauing/wbbau/studium/zusatz/exkursionen/\\_gfxWW62/bild13g.html](http://www.uni-weimar.de/Bauing/wbbau/studium/zusatz/exkursionen/_gfxWW62/bild13g.html)
- 67 [http://www.agsm.it/struttura/home/fr\\_home.asp](http://www.agsm.it/struttura/home/fr_home.asp): informatie enkel beschikbaar in het Italiaans.
- 68 <http://www.horstmann-group.com/main.html>
- 69 <http://www.reculture.se>
- 70 Schwager G., Whiting K. (2003). Progress towards commercializing waste gasification: A worldwide status report, Juniper.
- 71 Dr. Whiting K. (2003). If society rejects incineration of solid wastes what are the technical alternatives? Juniper.
- 72 Jacobs A., Wellens B., Dijkmans R. (2003). Gids afvalverwerkingstechnieken, Uitgave 2, Academia Press, Gent.



- 
- 73 Göerner, K (2003) Waste Incineration European State of the Art and New Developments, University of Essen, Germany
- 74 Brem G. (2003). Advanced waste incineration concepts, TNO-MEP, Nederland.
- 75 [http://www.vonrollinova.ch/site/deutsch/dokumentation/pdf/vri\\_aquaroll\\_d.pdf](http://www.vonrollinova.ch/site/deutsch/dokumentation/pdf/vri_aquaroll_d.pdf)
- 76 Indaver (2003). Indaver, naar een duurzaam afvalbeheer: Infosessie roosteroven doel; 25/11/2003.
- 77 Juniper Consultancy Services (2000). Pyrolysis & gasification of waste: on worldwide business review, ISBN 0-9534305-8-8.
- 78 ADEME (2002). Thermolyse – pyrolyse: point sur les applications au traitement des déchets menagers.
- 79 Mededeling Drost U., Thermoselect, Waste Symposium Sheffield, june 29 – july 2 2003.
- 80 Dr W. Kaiser and M. Shimizu high-temperature gasification, The Thermoselect process, Waste Management World, november-December 2004
- 81 Fontana A., Jung C. (2000). Thermal treatment of waste: Pyrolysis, ULB in opdracht van OVAM.
- 82 <http://www.thide.com/UK/societe/reference>
- 83 <http://www3.gov.gg/content/government/panel-of-inquiry/submission-from-thide-environment/>
- 84 A J, Potts LGA (2003). Small scale advances thermal treatment within an integrated approach to municipal solid waste management, Engeland.
- 85 <http://www.compactpower.co.uk>
- 86 Malkow T. (2003). Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal, Institute for Energy, The Netherlands.
- 87 Dr. Ir. Boerritger H. (2000). Implementation of thermal processes for feedstock recycling of bromine and antimony, with energy recovery, from plastics waste of electrical and electronic equipment (WEEE), Phase I: Literature survey/status update, evaluation, and ranking of combustion, gasification, and pyrolysis based technologies.