

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^{de} kaderprogramma, 1998-2002.

De gebruikte *beoordelingsmethodiek* werd oorspronkelijk ontwikkeld voor de studie³ ‘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 2003¹ 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 rapport² 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

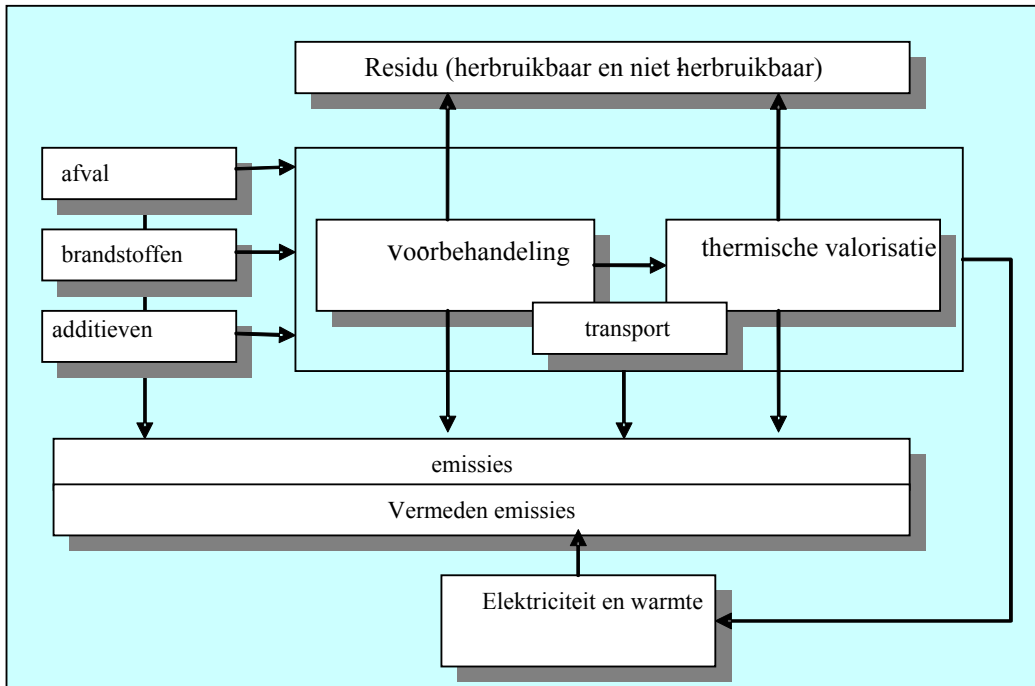
De evaluatiemethodiek werd ontwikkeld voor de beoordeling van verwerkingsinstallaties voor huishoudelijk restafval of gelijkgesteld niet-specifiek categorie II bedrijfsafval.

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

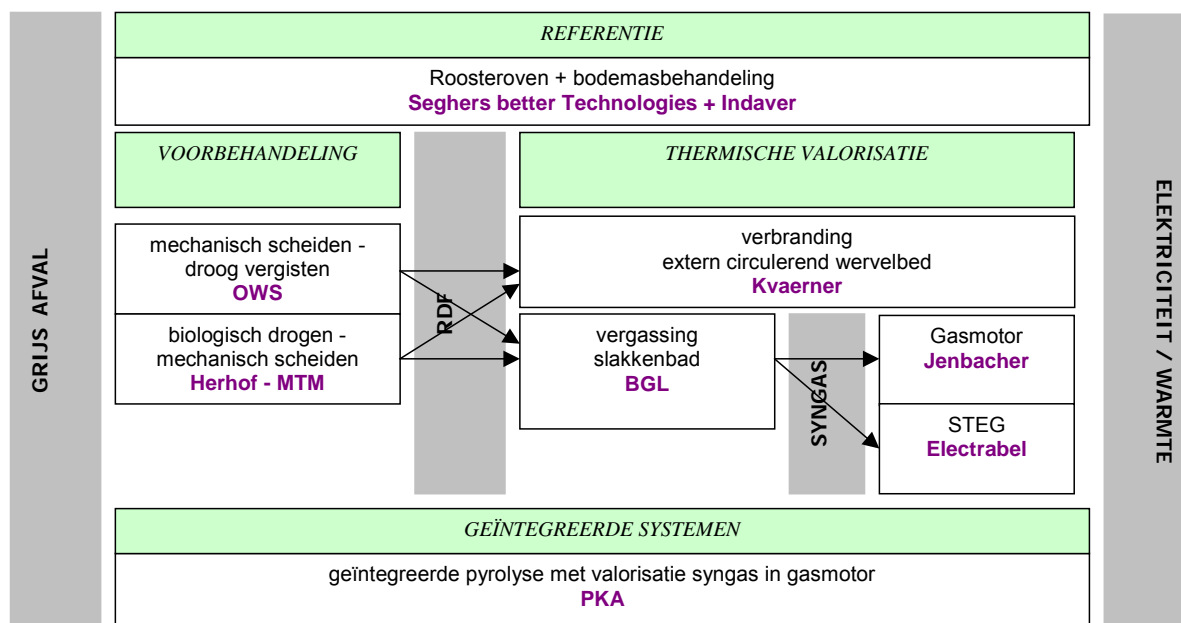
Er wordt voor elk van de verwerkingsscenario's een evaluatie gemaakt voor de aspecten procesbeheersing, veiligheid, betrouwbaarheid, onderhoud en flexibiliteit. Een aanvullend criterium is de betrouwbaarheid of marktgevoeligheid van de afzetroute voor het geproduceerde RDF.

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.



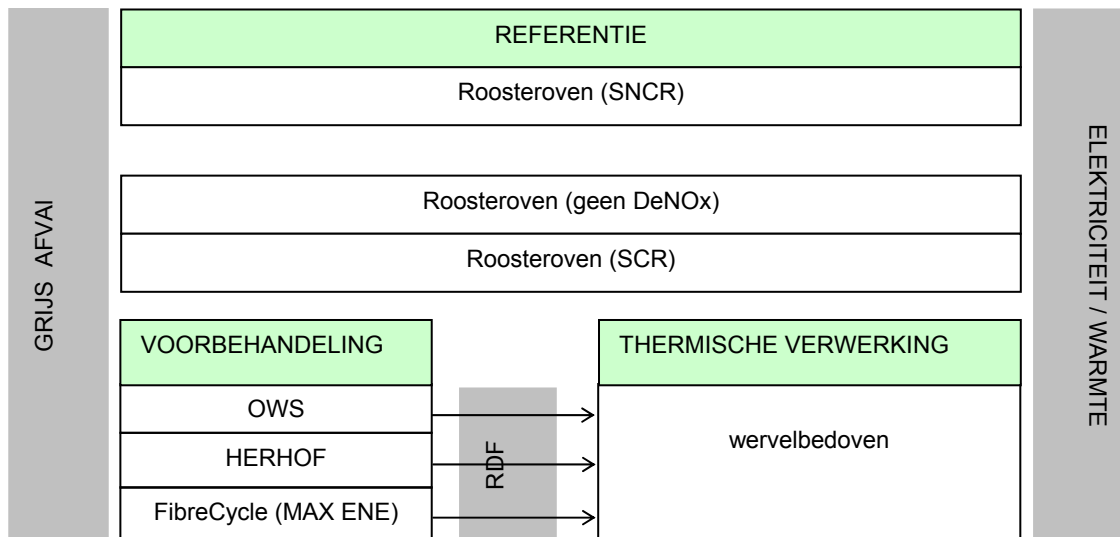
Figuur 2: overzicht geselecteerde afvalverwerkingstechnieken en gecontacteerde leveranciers voor bevraging uit restafvalstudie

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 1997-1998⁴. 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 studie¹ 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 %
organisch afval	45,2	75,3	24,1	16.119	2.164	1.855			37,5	5,7
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
papier en karton	16,4	15,9	10,6	17.313	14.181	13.048			39,4	6,2
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
glas	4,8	1,1	100,0		-26	-26				
glas verpakking	4,11	1,25	100		-30	-30				
glas andere	0,73		100							
metalen	5,1	3,8	100,0		-91	-91				
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				
kunststoffen	9,1	10,7	3,6	39.958	35.432	33.900			71,8	7,9
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
textiel	2,17	22,99	2,06	19.681	14.599	12.953	4,66	26,6	46,4	9,8
KGA	0,32	25,33	17,54	34.440	25.102	24.011	5,52	18,1	64,2	6,7
gemengde fractie	7,6	35,9	22,3	16.807	9.909	8.795			38,5	8,0
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
fractie overige	6,08	5,93	22,17	23.905	22.344	21.086	3,65	34,2	42	6,13
inerte restfractie	3,16	34,72	62,35	6.235	3.229	2.787	7,03	39,6	18,2	3,1
vuilniszakken		17,09	8,2	33.190	27.104	25.778	4,53	5	77,8	7,33
Totaal gewogen gemiddelde	99,98	42,6	31,1	17740	9148	8464			36,7	5,4

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
totaal DS	573,48	180,04	23,13	8,26	413,00	347,90	77,13	59,53

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 CO₂) 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 emissiefactor² 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 m³/ton afval. Voor het wervelbed wordt 9500 m³/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) ²
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 CO₂

De CO₂-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 CO₂.

² 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 , SO₂, stof en dioxines

polluent		RO	RO SNCR	RO SCR	WBO
NO _x	mg/Nm ³	400	200	80	130
SO ₂	mg/Nm ³	10	10	5	10
stof	mg/Nm ³	2,3	2,3	2,3	2,3
dioxines	ng TEQ/Nm ³	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_x installatie (RO SNCR). Als variatie op dit referentiescenario werd een roosteroven met katalytische deNO_x (RO SCR) opgenomen. In deze studie wordt ter illustratie eveneens een roosteroven zonder deNO_x 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
emissies	kg/ton afval		
CO ₂	7,64E+02	7,64E+02	7,64E+02
NO _x	2,12E+00	1,06E+00	4,24E-01
SO ₂	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
recuperatie	kg/ton afval		
metalen	34	34	34
ferro	32	32	32
non ferro	3	3	3
mineralen	81	81	81
bodemassen	81	81	81
organische	n/a	n/a	n/a
te storten			
mineralen	150	150	150
bodemassen	112	112	112
vliegassen	21	21	21
rookgasreinigingsresidu	17	17	17

Tabel 8: roosteroven, energiein- en -output

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

5.2 Voorbehandelingsinstallaties

In de restafvalstudie werden twee voorbehandelingsinstallaties bestudeerd. In 2003 werd een studie⁵ 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
emissies	kg/ton afval		
CO ₂	1,81E+02	1,13E+02	
NO _x	7,23E-02		
SO ₂	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
recuperatie	kg/ton afval		
metalen	45	49	46
ferro	39	39	39
non ferro	6	10	7
mineralen	136	61	48
inert	52	61	48
zand	84		
organische	70	n/a	n/a
voor bodemverbetering	70		
	MJ/ton afval		
calorische fracties	7059	8887	5981
biogas	1816		
RDF	5243	8887	
vezel			5981
plastiek			2505
residu			672
te storten	kg/ton afval		
mineralen	15	0	0
residu	15		
organische	83	0	0
slibkoek	83		

Tabel 11: voorbehandeling, energiein- en -output

	OWS	HERHOF	FibreCycle
energie input	MJ/ton afval		
olie			17
gas		141	1512
diesel		7,2	
	kWh/ton afval		
elektriciteit	84	100	30
energie output	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
emissies	kg/ton afval		
CO ₂	4,56E+02	7,65E+02	7,56E+02
NO _x	4,53E-01	6,01E-01	6,97E-01
SO ₂	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
recuperatie	kg/ton afval		
metalen	45	49	46
ferro	39	39	39
non ferro	6	10	7
mineralen	160	101	92
inert	52	61	48
zand	84		
bodemassen			6
bedassen	15	26	25
ketelassen	9	14	14
organische	70	n/a	n/a
voor bodemverbetering	70		
te storten			
mineralen	42	69	53
residu	14,9		
bodemassen			8
vliegassen			2
cycloonassen	26	45	43
rookgasreinigingsresidu	15	25	25
organische	83	n/a	n/a
slibkoek	83		

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

	OWS + WBO	HERHOF + WBO	FibreCycle + WBO & RO
energie input	MJ/ton afval		
olie			35
gas	6	150	1522
diesel		7	
	kWh/ton afval		
elektriciteit	128	169	106
energie output	kWh/ton afval		
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 (BUWAL⁶ en ETH⁷-database in SimaPro 5⁸)

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 99⁹ 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 ₂ , NH ₃ en stof
Schade door klimaatverandering	schade door klimaatveranderingen	CO ₂ , CH ₄ en N ₂ 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 ₂ , en NH ₃
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.

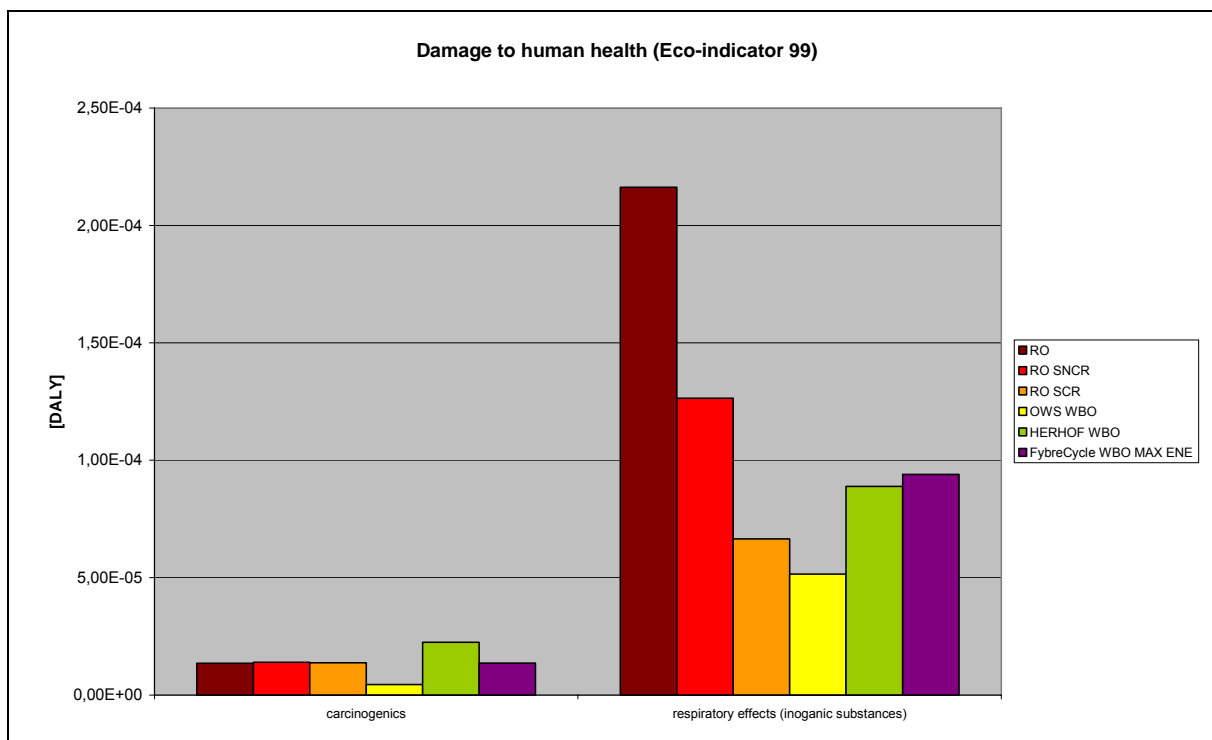
In de berekeningen van de milieupacten in de restafvalstudie werden de impacten door Cr-emissies voor de afvalverwerkingstechnieken berekend in de veronderstelling dat Cr werd uitgestoten onder de vorm van Cr(III). De impacts door Cr emissies van de elektriciteitsinstallaties werden daarentegen berekend 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.^{10,11,12,13}

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 roosterovens, 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_x zijn doorslaggevend. Voor de roosterovens zien we die impact van het toepassen van een deNO_x, en ook het type deNO_x. 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_x-emissies per ton afval, en hoe hoger de impact.

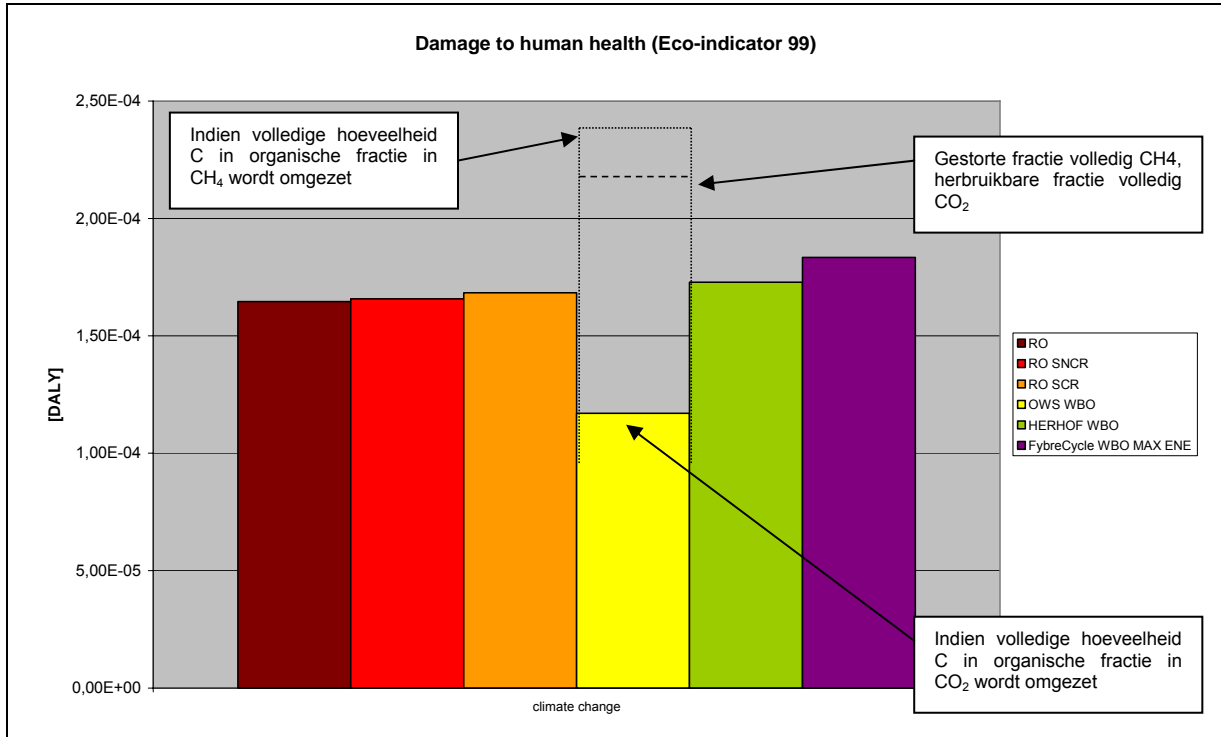


Figuur 4: schade aan menselijke gezondheid door kankerverwekkende en anorganische stoffen, vergelijking van de scenario's

Figuur 5 geeft de *schade aan menselijke gezondheid door klimaatsverandering* weer. Deze impactcategorie wordt gedomineerd door de emissies van CO₂ en, indien van toepassing, CH₄. 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_x, 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 CH₄ 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 CO₂. In een sensitiviteitsanalyse werd een variant berekend waarbij alle C in deze organische fracties wordt omgezet in CH₄ (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 CO₂. Indien we deze veronderstellingen doorrekenen (gestorte fractie volledig CH₄, gebruikte fractie volledig CO₂) 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 CO₂).

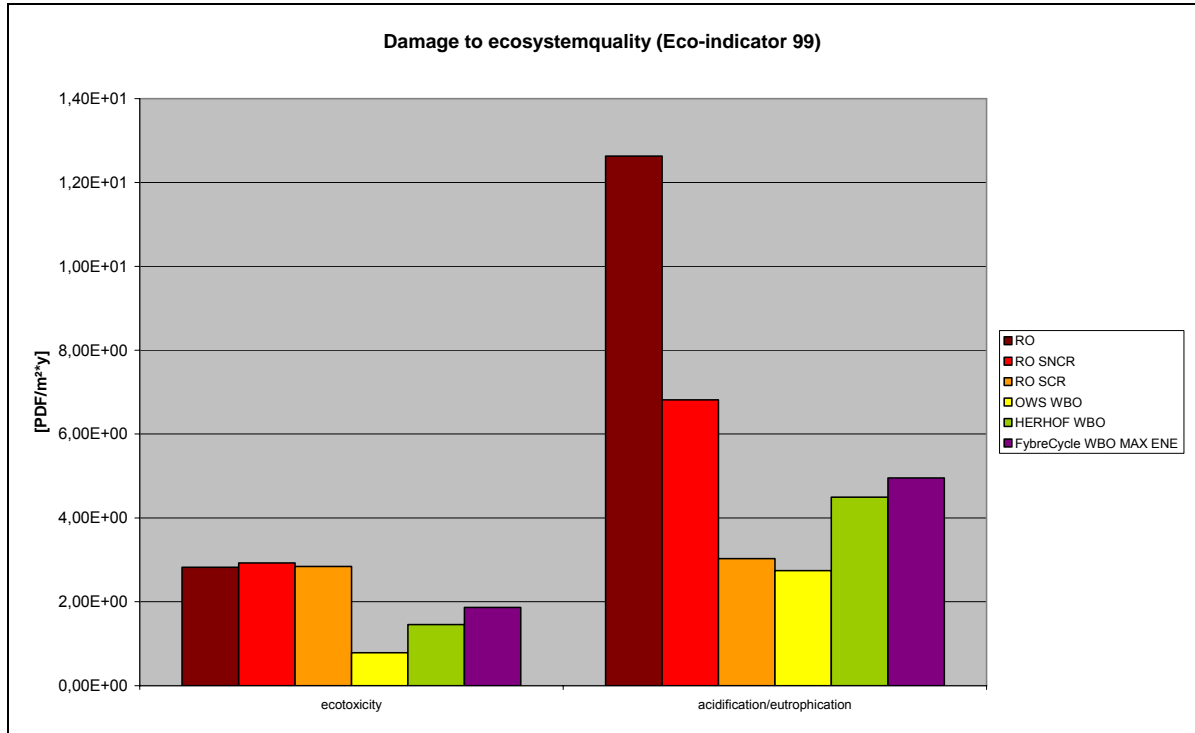


Figuur 5: schade aan humane gezondheid door klimaatsverandering, vergelijking van de scenario's

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.

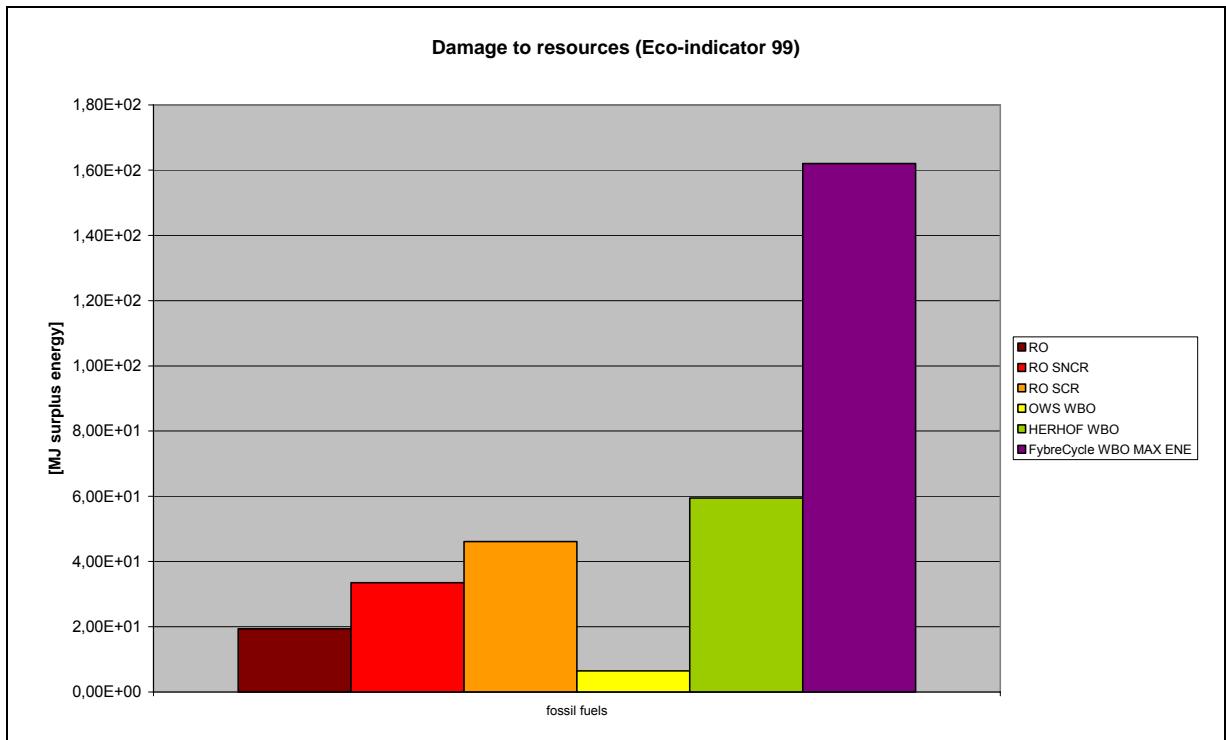
Schade door emissie van verzurende/vermestende stoffen wordt voornamelijk veroorzaakt door de emissie van NO_x . We zien dus een gelijkaardig beeld als bij de impactcategorie schade door anorganische stoffen. De verschillen kunnen op dezelfde manier verklaard worden. Bij de scenario's met roosterovens, zien we de invloed van de 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. Vermijden 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
human health [DALY]						
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
damage to Ecosystem Quality (PDF/m²yr)						
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
resources (MJ surplus)						
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_x 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_x 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_x, 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_x zijn de milieu-impacts gelijkaardig. De roosteroven zonder deNO_x sluit de rij.

6.2 Energie

6.2.1 Inleiding

De analyse met Eco-indicator 99⁹ 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 ^{Error! Bookmark not defined.} 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_x 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_x zijn lager dan die van de roosteroven zonder deNO_x.

Uit de gegevens blijkt dat de voorbehandeling van OWS gecombineerd met een wervelbed een gelijkaardige netto-elektriciteitsproductie geeft dan de roosterovens met deNO_x. 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_x significant hoger is dan die van de overige systemen. Dit rendement is vergelijkbaar voor de roosteroven-scenario's met deNO_x 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.

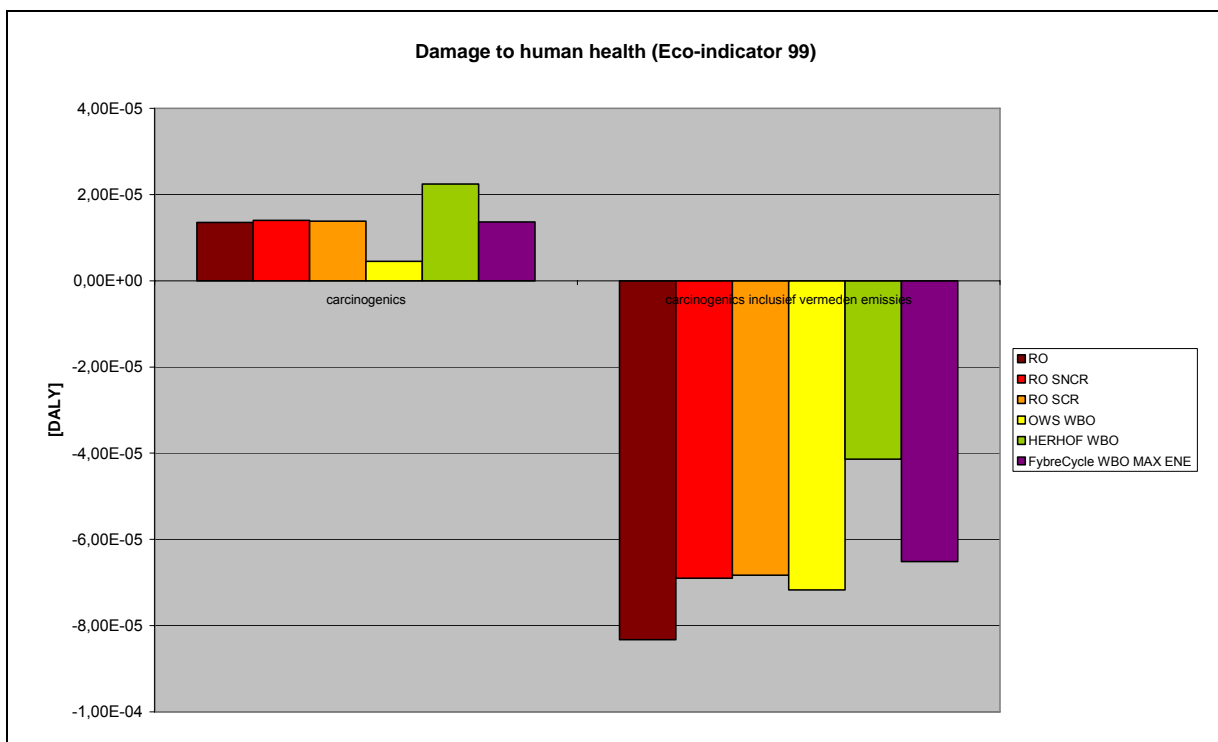
Er werd voor deze optie gekozen omdat in de modelberekeningen (eco-indicator 99), wanneer er elektriciteit van het net wordt gebruikt, eveneens het gemiddelde Belgische elektriciteitspark wordt gebruikt.

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_x vermijdt de meeste emissies. De verschillen tussen beide roosterovens met deNO_x, het OWS-scenario en het FibreCycle-scenario zijn verwaarloosbaar. Het HERHOF-scenario vermijdt de minste emissies.

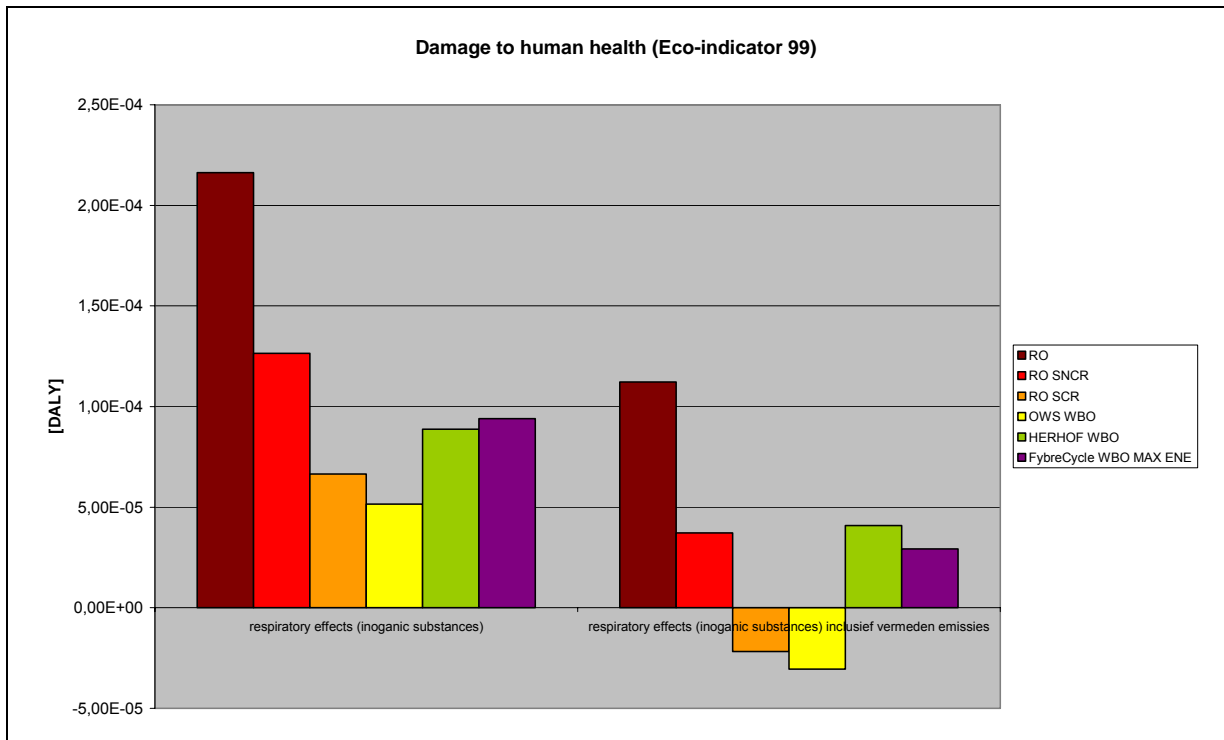


Figuur 8: schade aan menselijke gezondheid door kankerverwekkende inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's

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.

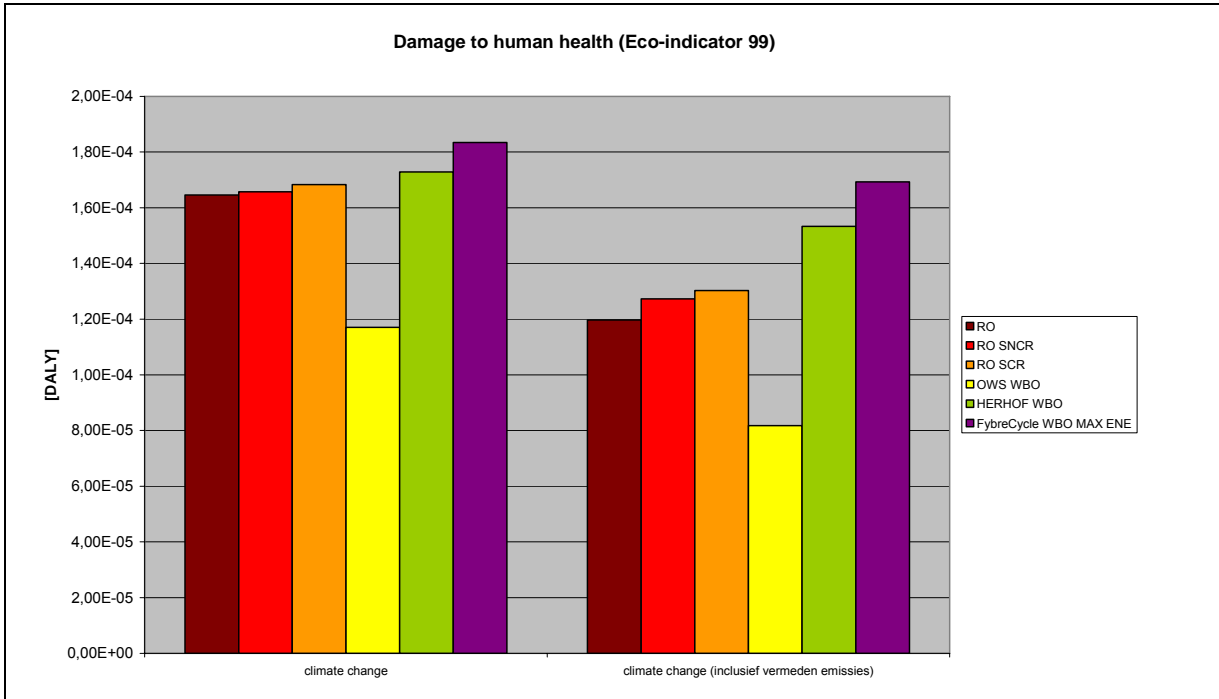
De volgorde van de roosteroven met SNCR, het HERHOF-scenario en het FibreCycle-scenario wijzigt. Voor twee scenario's, de roosteroven met SCR en het OWS-scenario worden de impacts negatief.

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.



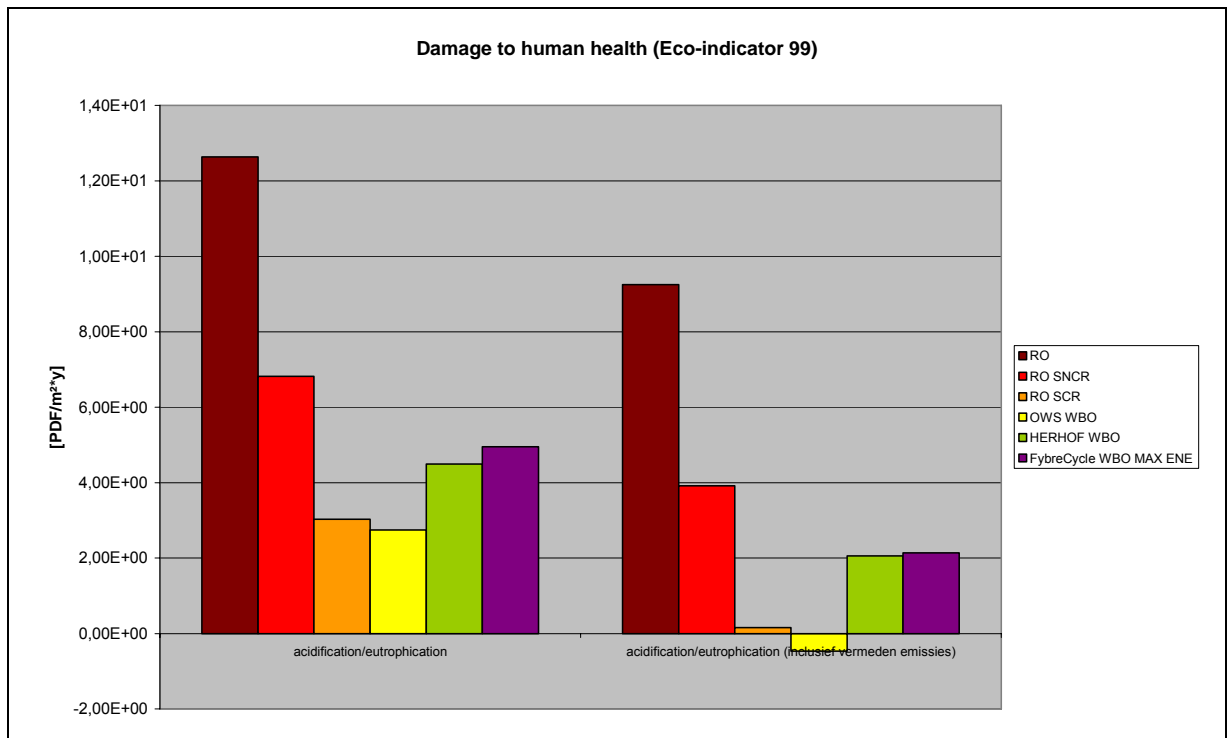
Figuur 10: schade aan humane gezondheid door klimaatsverandering, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's

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.



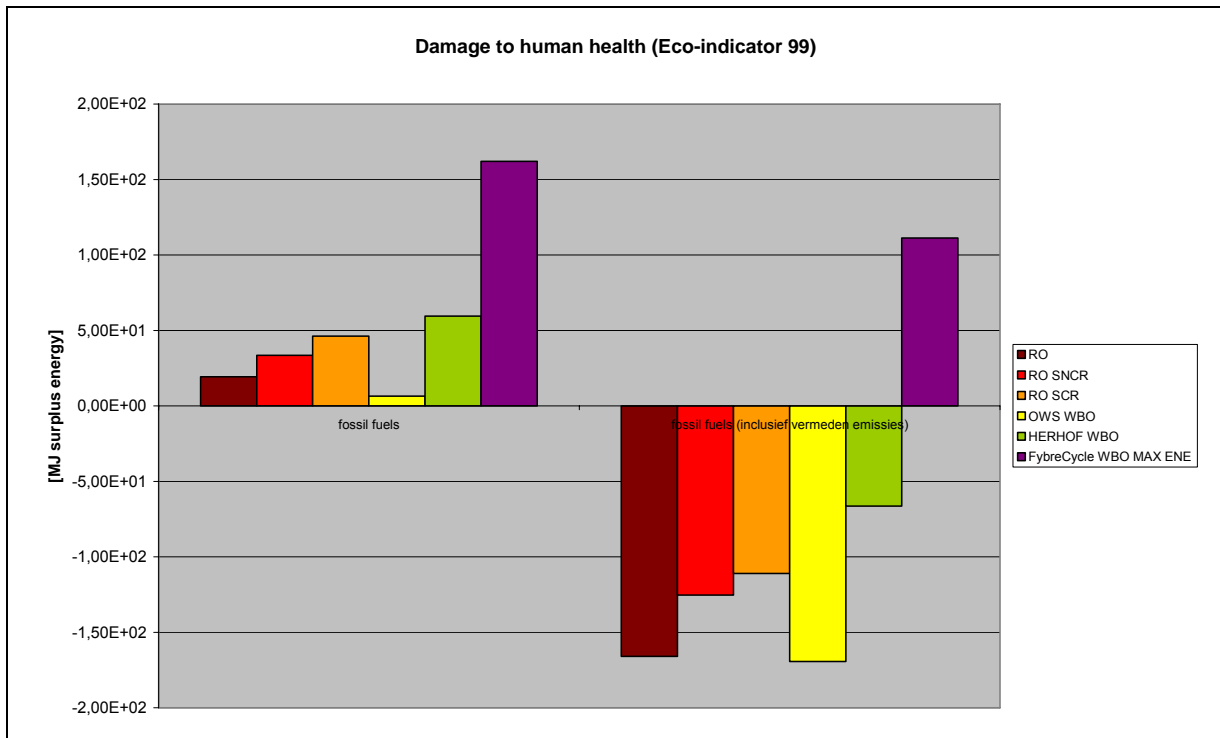
Figuur 11: schade aan het ecosysteem door ecotoxische stoffen, inclusief vermeden emissies, vergelijking van de scenario's

Voor de 'impact op ecosystemen door verzuring en vermisting' zien we hetzelfde effect dan bij schade door anorganische stoffen (en SO₂ 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
human health [DALY]						
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
damage to Ecosystem Quality (PDF/m²yr)						
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
resources (MJ surplus)						
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_x. 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_x installatie, het HERHOF- en FibreCycle-scenario. De score van de roosteroven zonder deNO_x 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_x-installatie. De roosterovens met deNO_x en het FibreCycle-scenario volgen. Het HERHOF-scenario vermijdt het minste schade voor deze categorie. De roosteroven zonder deNO_x 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_x, waarbij de SCR licht beter scoort. Daarna komen het HERHOF en FibreCycle-scenario. De roosteroven zonder deNO_x 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 praktijkgegevens¹⁴. 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.

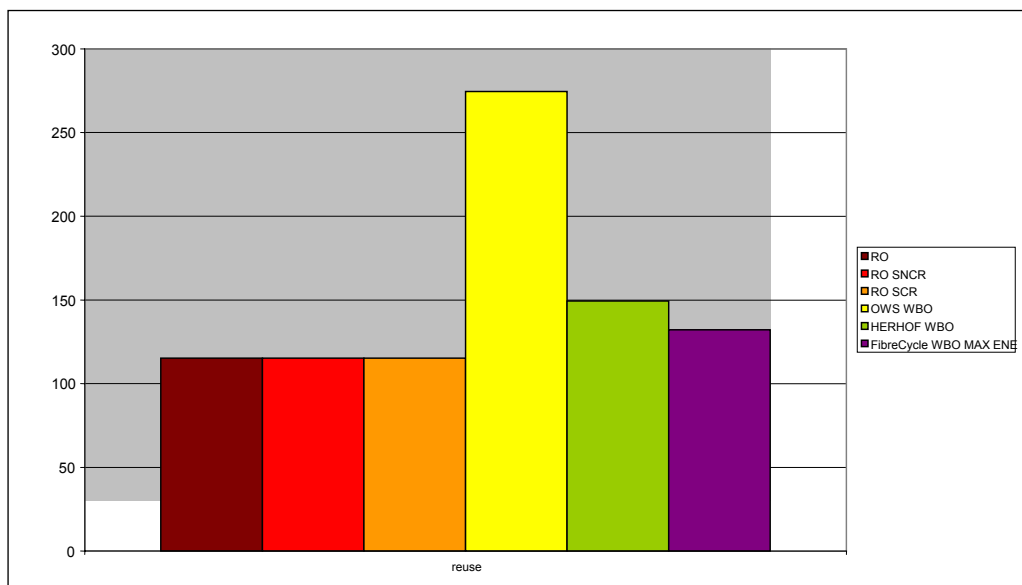
Voor de roosteroven dienen de fracties afkomstig van de rookgasreiniging, de ketelassen en de fractie 0 – 2 mm te worden gestort. Voor de wervelbedoven wordt in de berekeningen uitgegaan van de veronderstelling dat de cycloonassen en het rookgasreinigingsresidu worden afgevoerd naar een stortplaats.

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

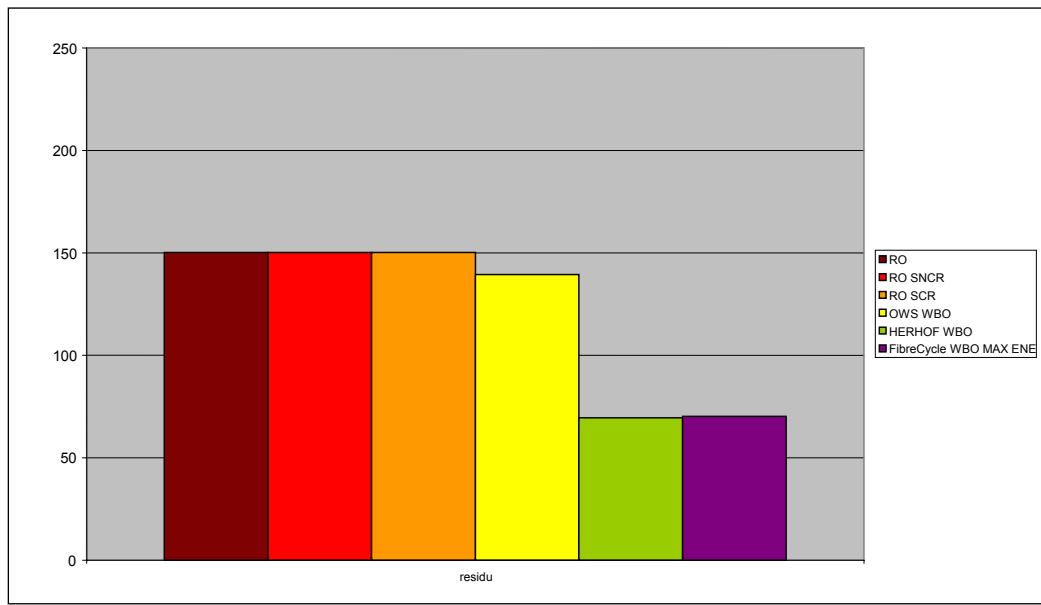
De voorbehandelinginstallaties produceren meer herbruikbare fracties. De installatie van OWS is de techniek met de hoogste materiaalopbrengst. Deze techniek is er dan ook op gericht zo veel mogelijk herbruikbaar materiaal af te scheiden uit het huishoudelijk afval. Dit wordt weergegeven in volgende grafiek (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 te 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_x zijn de milieu-impacts gelijkaardig. De roosteroven zonder deNO_x sluit de rij.

Voor het evaluatiecriterium energie blijkt dat het netto elektrisch rendement van de roosteroven zonder deNO_x significant hoger is dan dit van de overige systemen. De rendementen van de roosterovens-scenario's met deNO_x 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_x, waarbij de SCR licht beter scoort. Daarna komen het HERHOF en FibreCycle-scenario. Ook hier scoort de roosteroven zonder deNO_x 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.