



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.tno.nl

T 055 549 34 93

F 055 549 98 37

TNO-rapport

2006-A-R0336/B

**Vergelijking kosten/baten van verwerking
van huishoudelijk restafval in een AVI en
een nascheidingsinstallatie**

Datum	november 2006
Auteur(s)	R.N. van Gijlswijk A.M.M. Ansems
Projectnummer	034.64359
Trefwoorden	vergelijking kosten/baten model AVI model nascheiding huishoudelijk restafval
Bestemd voor	EcoVerpakkingen

Alle rechten voorbehouden.

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

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

Samenvatting

Bij de keuze van een proces voor de verwerking van grijs huishoudelijk afval spelen de kosten van de verschillende alternatieven een belangrijke rol; zo ook bij de keuze tussen een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) en een nascheidingsinstallatie. Een vergelijking is alleen te rechtvaardigen, als de kosten met een overeenkomstige methodiek worden bepaald en als de invulling van de essentiële parameters op overeenkomstige wijze geschiedt.

Het doel van de onderhavige studie is dat de opbouw van de werkelijke kosten van de verwerking van grijs huishoudelijk afval in een (model) AVI en in een (model) nascheidingsinstallatie inzichtelijk worden gemaakt. Daartoe zijn de werkelijk kosten berekend, inclusief de kosten/baten van de externe verwerking van reststromen en waardevolle fracties, zoals bodemassen, afgescheiden metalen en afgescheiden kunststoffen.

De verwerking van grijs huishoudelijk afval in de (model) AVI kost € 90 per ton en de verwerking ervan in een (model) nascheidingsinstallatie kost € 58 per ton.

De berekende kosten zijn afhankelijk van de gebruikte gegevens en de keuzes, die zijn gemaakt. De factoren, die het meest van belang zijn, zijn:

- voor de AVI; rentepercentage, afschrijvingstermijn, prijs voor de levering van elektriciteit;
- voor de nascheiding; opbrengst kunststoffen, vergoeding voor de afzet van subcoal, verwerkingskosten van de sorteerrisic en het digestaat.

Resultaten van uitgevoerde gevoeligheidsanalyses met betrekking tot de genoemde factoren zullen meer inzicht geven in de spreiding van de berekende totale kostprijzen.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Uitgangspunten kosten/batenanalyse	5
3	Beschrijving model AVI	7
4	Beschrijving model nascheidingsinstallatie	9
5	Resultaten	11
5.1	Verwerkingskosten	11
5.2	Factoren die de verwerkingskosten sterk beïnvloeden.....	12
6	Conclusies	14
7	Literatuur	15
8	Ondertekening	16
	Bijlage(n)	
	1 Samenstelling grijs huishoudelijk afval	
	2 Schema AVI	
	3 Schema nascheidingsinstallatie	
	4 Details kostenberekeningen AVI	
	5 Details kostenberekeningen nascheidingsinstallatie	

1 Inleiding

Bij het kiezen van een verwerkingsproces voor grijs huishoudelijk afval, inclusief verpakkingen, worden de kosten van de processen met elkaar vergeleken. Dit geldt ook als afvalverbranding in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) wordt vergeleken met nascheiding. Zo'n vergelijking is alleen te rechtvaardigen, als de kosten met een overeenkomstige methode zijn berekend en als de invulling van essentiële parameters op overeenkomstige wijze is geschied. Het AVI-tarief is niet geschikt voor een dergelijke vergelijking, omdat de afschrijvingskosten van een AVI niet of slechts gedeeltelijk worden meegerekend bij het vaststellen van dit tarief. Daarnaast is bekend dat de reststoffen van de verbranding een gevaarlijk afval-karakter kunnen hebben en ook als zodanig verwerkt dienen te worden, met de bijbehorende kosten. Vanwege vrijstelling kan een verlaagd tarief worden berekend. Voor reststoffen van nascheiding moet een vergelijkbaar regime gelden.

Het doel van deze studie is dat de opbouw van de werkelijke kosten van de verwerking van grijs huishoudelijk afval in een (model) AVI en in een (model) nascheidingsinstallatie inzichtelijk wordt gemaakt.

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten voor de kosten/batenanalyse uiteen gezet. In de hoofdstukken 3 en 4 worden achtereenvolgens de model AVI en de model nascheidingsinstallatie beschreven. De resultaten staan in hoofdstuk 5, gevolgd door de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 6.

2 Uitgangspunten kosten/batenanalyse

Bij de kosten/batenanalyse van de AVI en de nascheidingsinstallatie is een aantal randvoorwaarden in acht genomen. Onderstaande tabel geeft de belangrijkste keuzes weer, welke gelden voor zowel AVI als nascheiding.

Tabel 2.1 Uitgangspunten

Afschrijving	volledig
Afschrijvingstermijn gebouwen	15 jaar
Afschrijvingstermijn machines	10 jaar
Rentepercentage	5%
Berekeningswijze afschrijvingskosten	annuïteit
Kosten personeel	€ 48.000,- per werknemer
Samenstelling grijs huishoudelijk afval	gemiddeld Nederland [1]
Capaciteit installaties	460 kiloton/jaar

De bedrijfstijd van de installaties is zoveel mogelijk gelijk gehouden. Dit betekent in het geval van de AVI dat er volcontinu wordt gedraaid, met een beschikbaarheid van 90%. Effectief wordt er 7884 uur per jaar gedraaid. Voor de nascheiding is uitgegaan van een bedrijfstijd van 6 dagen per week, 24 uur per dag, met een beschikbaarheid van 85% (effectief 6382 uur per jaar).

De gemiddelde samenstelling van het grijs huishoudelijk afval in Nederland is als uitgangspunt genomen voor de berekening van de verwerkingskosten (SenterNovem Sorteeraanlyses 2004 [1]). De samenstelling is van belang, omdat deze de grootte van de afgescheiden deelstromen bepaalt; wanneer zich meer aluminium in het afval bevindt, zal ook de hoeveelheid afgescheiden aluminium groter worden. De grootte van de afgescheiden deelstromen is weer van belang voor de berekening van de verwerkingskosten. De gebruikte afvalsamenstelling is opgenomen in bijlage 1.

Als basisjaar voor de investeringen van de installaties is 2005 gekozen. Dit betekent dat alle kostengedallen uit de literatuur zijn omgerekend naar de waarden voor 2005, uitgaande van een vaste inflatie van 2,4% per jaar. Dit percentage is gebaseerd op het gemiddelde consumentenprijsindexcijfer volgens CBS Statline voor de periode 1993 - 2004.

Om economische voor- of nadelen door verschillen in schaalgrootte waar mogelijk teniet te doen, is gekozen voor een capaciteit van 460 kton per jaar, voor zowel de AVI als de nascheidingsinstallatie. Voor de AVI komt dit overeen met de capaciteit van de verbrandingsinstallatie van Alkmaar, waarop ook de cijfers uit literatuurbron [2] zijn gebaseerd. Twee van de drie bestaande nascheidingsinstallaties in Nederland hebben een capaciteit van 230 kton per jaar (indien 6 dagen per week in bedrijf). Voor de verwerking van 460 kton per jaar wordt voor 2 lijnen van 230 kton per jaar gekozen, gekoppeld aan een opgeschaalde installatie voor de behandeling van de organische natte (rest)fractie.

Gebruikte kostengegevens uit de literatuur kunnen gelden voor een installatie met een andere capaciteit dan hiervoor vermeld. In deze studie is gekeken of de kosten direct verband houden met de doorzet van de installatie (bijvoorbeeld het verbruik van chemicaliën bij de rookgasreiniging van een AVI, of de opbrengsten van de verkoop van metalen uit bodemassen of uit de nascheidingsinstallatie). In dat geval zijn de kostencijfers lineair geschaald naar de beoogde capaciteit. In alle andere gevallen is een vaste rekenregel toegepast: De kosten uit de literatuur worden vermenigvuldigd met de capaciteitsverhouding tot de macht 0,6 (thermische / chemische installaties) of 0,8 (mechanische installaties) [8]. Wanneer de investeringskosten in de literatuur bijvoorbeeld 5 M€ bedragen voor een thermische installatie met een doorzet van 300 kton per jaar, geldt voor een capaciteit van 460 kton/jaar een investering van $5 \times (460/300)^{0,6} = 6,46$ M€.

3 Beschrijving model AVI

De modellering van de AVI is grotendeels gebaseerd op het in 2001 voor Novem geschreven AVI 2005 rapport [2]. Hierbij is gekozen voor het scenario “huidige AVI”: Een fictieve AVI welke is afgeleid van een moderne Nederlandse AVI, vergelijkbaar met de AVI in Alkmaar (state-of-the-art). De installatie bestaat uit 3 lijnen met elk een capaciteit van 25 ton per uur. Details als ketelcondities en rookgasreinigingsstappen zijn terug te vinden in het AVI 2005 rapport en worden in dit rapport niet besproken. Een schema van de installatie is opgenomen in bijlage 2.

Voor deze studie is de capaciteit per lijn aangepast van 25 naar 19,4 ton per uur, hetgeen bij een beschikbaarheid van 90% overeenkomt met 460 kiloton per jaar. De onderste stookwaarde van het afval bedraagt 11,6 MJ/kg (zie bijlage 1). Tabel 3.1 geeft enkele kenmerken van de model AVI.

Tabel 3.1 Kenmerken van de model AVI, gebaseerd op [2]

Kentallen	AVI 2005 [2]	Deze studie	Eenheid
Beschikbaarheid	7884	7884	uur/jaar
Capaciteit AVI zoals in model	3	3	lijnen
	25	19,4	ton/uur per lijn
	75	58,3	ton/uur
	591,3	460,0	kton/jaar
Afschrijvingsperiode investeringen	15	15	jaar
Rente	5,0	5,0	%
Annuïtaire afschrijving	9,63	9,63	% per jaar
Personeel	93	80	fte
Kosten per werknemer	38571	48000	€/jaar
Personeelskosten	3,59	3,84	M€/jaar
Stookwaarde afval	9,46	11,59	MJ/kg
Bruto elektrisch rendement	26,0	26,0	%
Netto elektrisch rendement	23,2	23,2	%
Elektriciteitsproductie	45,7	43,6	MW
Basisvergoeding elektriciteit	31,76	35,20	€/MWh
MEP ¹ vergoeding elektriciteit	9,53	10,56	€/MWh
Totale vergoeding elektriciteit	41,29	45,76	€/MWh
Opbrengsten elektriciteit	14,9	15,7	M€

¹ MEP: Stimuleringsregeling Milieukwaliteit ElektriciteitsProductie

Voor de berekening van de jaarlijkse kosten voor onderhoud en verzekeringen is met respectievelijk 3,0% en 1,5% van de investeringen gerekend.

De totale investeringskosten bedragen 337 M€. De afzet van bodemas kost 10,1 €/ton, resulterend in een bedrag van 0,7 M€ per jaar. Verwerking van vliegaskost € 124/ton, verwerking van filterkoek en sproeidroogzout € 250/ton. De totale jaarlijkse kosten voor verwerking van vliegaskost, filterkoek en sproeidroogzout bedragen 3,4 M€. Ferro en non-ferrometalen brengen respectievelijk € 60 en € 600 euro per ton op; vermenig-

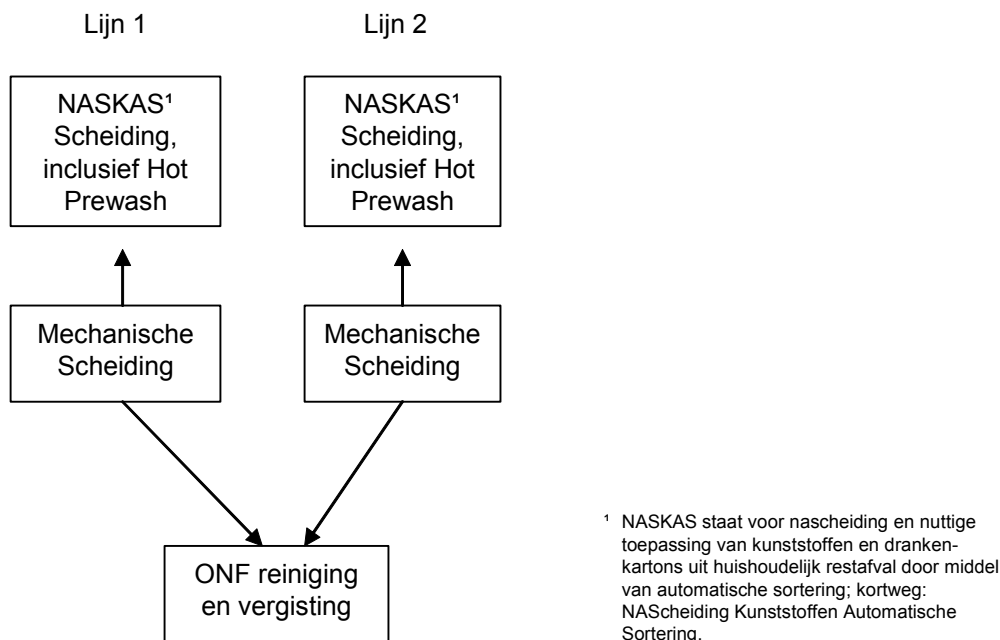
vuldigd met de afgescheiden hoeveelheden resulteert dat in opbrengsten van respectievelijk 700 k€/jaar en 260 k€/jaar.

Omdat de MEP-vergoeding recent ter discussie is komen te staan, is ook een berekening uitgevoerd waarbij deze is weggelaten (zie 5.2).

Bijlage 4 bevat de gedetailleerde kostenberekeningen.

4 Beschrijving model nascheidingsinstallatie

De nascheidingsinstallatie is als volgt gemodelleerd: zie figuur 4.1.



Figuur 4.1 Opbouw model nascheidingsinstallatie

De twee gescheiden lijnen kunnen elk 230 kton huishoudelijk restafval per jaar scheiden. De was- en vergistingsinstallatie voor de organische natte fractie (ONF) is gedimensioneerd op een aanvoer van 460 kton/jaar. Dat wil zeggen, dat de capaciteit toereikend is om de ONF fractie uit de jaarlijkse aanvoer van 460 kton afval te verwerken. Uitgebreide schema's van de nascheidingsinstallatie zijn gegeven in bijlage 3.

De mechanische scheiding is opgebouwd naar voorbeeld van de installatie van de VAGRON in Groningen en van de Omrin in Heerenveen. Een schema van deze installaties is opgenomen in bijlage 3.

De volgende bronnen zijn gebruikt voor modellering en kostenberekeningen:

- MER rapportage Sscheidings- en BewerkingsInstallatie (SBI) Friesland [5];
- Correspondentie met Omrin;
- Model Breda [4];
- T2000-projecten nv VAM [3];
- Naskas project [6].

Voor de was- en vergistingsinstallatie voor ONF is eveneens gebruik gemaakt van de MER van de SBI Friesland alsmede informatie verkregen van Omrin. De gegevens zijn geëxtrapoleerd voor de grotere capaciteit volgens de rekenregels beschreven in hoofdstuk 2.

De NASKAS sortering is gemodelleerd zoals beschreven in [6]. Bijlage 3 bevat een doorloopschema.

Voor onderhoud en verzekering is jaarlijks 4,0% [6] en 1,5% van het totale investeringsbedrag gerekend. De laatste waarde is conform het percentage voor de AVI [2].

De afgescheiden fracties leveren baten op bij de afzet ervan: Ferro € 60,- per ton; non-ferro € 600,- per ton; PE/PP recyclaten € 180,- per ton; gewassen en gebaalde PET-flessen € 200,- per ton; Subcoal pellets € 0,- per ton.

De vergistingsinstallatie is uitgerust met een gasmotor waarmee elektriciteit wordt opgewekt. Een deel hiervan wordt teruggeleverd aan het net voor € 45,76 per MWh inclusief MEP-vergoeding. Ook voor de nascheiding is een kostenberekening gemaakt zonder deze vergoeding.

De sorteerresten van de NASKAS sortering worden verbrand in een AVI voor de in hoofdstuk 5 gepresenteerde kostprijs. Het digestaat dat overblijft na de vergisting van de organische natte fractie, wordt gedeeltelijk gestort en gedeeltelijk opgewerkt volgens het Hydrostab procédé, tegen een gemiddelde kostprijs van € 46 euro.

Gedetailleerde informatie over de kostenberekeningen is opgenomen in bijlage 5.

5 Resultaten

5.1 Verwerkingskosten

De (totale) kosten voor de verwerking van grijs huishoudelijk afval in een model afvalverbrandingsinstallatie zijn weergegeven in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Verwerkingskosten grijs huishoudelijk afval in de AVI

Vaste kosten	Kosten per jaar (M€)	Kosten per ton afval (€)
Kapitaalslasten	32,78	71,26
Verzekering	5,10	11,09
Onderhoud	10,21	22,19
Personeel	3,84	8,35
Variabele kosten		
Chemicaliën totaal	1,24	2,70
Eigen verbruik elektriciteit	1,88	4,09
Verwerking reststoffen totaal	4,15	9,03
Diversen	0,69	1,49
Variabele opbrengsten		
Elektriciteit (bruto)	-17,5	-38,02
IJzer	-0,69	-1,51
Non-ferro metalen (Al)	-0,26	-0,57
Totale netto kosten	35,97	90,11

Te zien is dat rente en aflossing, dus de kapitaalslasten, alsmede onderhoudskosten in belangrijke mate bijdragen aan de kostprijs per ton afval. De opbrengsten van de levering van elektriciteit zorgen daarnaast voor een significante verlaging van de kostprijs. De totale netto verwerkingskosten voor verbranding bedragen ca. € 90 per ton.

Bij de model nascheidingsinstallatie liggen de accenten anders, zoals weergegeven in tabel 5.2. De kosten voor de verwerking van de reststromen, die alsnog in een AVI worden verbrand, wegen in deze situatie het zwaarst, gevolgd door de kapitaalslasten. De afzet van de kunststoffen en de metalen en de levering van elektriciteit (uit vergisting) zorgen voor opbrengsten, resulterend in een verlaging van de verwerkingsprijs per ton. Het niet scheiden en verwerken van kunststoffen zou daarentegen hebben geresulteerd in kosten.

De totale netto verwerkingskosten voor nascheiding bedragen ca. € 58 per ton grijs huishoudelijk afval. Ten opzichte van de AVI-kosten is dat 36% lager.

Tabel 5.2 Verwerkingskosten grijs huishoudelijk afval in de nascheidingsinstallatie

Vaste kosten	Kosten per jaar (M€)	Kosten per ton afval (€)
Kapitaalslasten	11,88	25,81
Onderhoud	3,70	8,05
Verzekering	1,39	3,02
Personeel	3,50	7,62
Variabele kosten		
Elektriciteit	0,57	1,23
Aardgas	0,57	1,23
Gasverwarming en diesel shovel	0,52	1,14
Verwerking sorteerrest in AVI	9,60	20,87
Digestaat naar stort of Hydrostab	2,50	5,43
Variabele opbrengsten		
IJzer	-0,92	-2,00
Non-ferro metalen (Al)	-0,66	-1,44
PE/PP recyclaten	-3,92	-8,52
PET-flessen	-0,97	-2,10
Subcoal pellets	0,00	0,00
Elektriciteitslevering aan net	-1,13	-2,46
Totale netto kosten	26,62	57,88

5.2 Factoren die de verwerkingskosten sterk beïnvloeden

De resultaten van de berekeningen in deze studie leiden tot de conclusie dat het verwerken van grijs huishoudelijk afval in een nascheidingsinstallatie, met NASKAS en ONF vergisting, goedkoper is dan het verbranden ervan in een AVI, uitgaande van de werkelijk gemaakte kosten.

Dit resultaat is afhankelijk van de gebruikte gegevens en de keuzes die gemaakt zijn.

Om aan te tonen dat nascheiding werkelijk significant goedkoper is, zijn bij de nascheiding conservatieve aannames gemaakt. Er is aangenomen dat afzetbare stromen van de scheiding worden afgezet via beschikbare kanalen; er zijn eventueel nog kostenbesparingen te realiseren.

Een aantal factoren is belangrijk gebleken voor de hoogte van de totale kosten van de AVI en die van de nascheiding. Hieronder zijn ze per verwerkingsroute uiteengezet.

Invloedsfactoren AVI:

- Rentepercentage; er is gerekend met 5% rente. Doordat de kapitaalslasten bij de AVI een groot aandeel vormen van de totale kosten, stijgen deze totale kosten sterker bij een hogere rente dan de totale kosten van de nascheiding.
- Afschrijvingstermijn; vanwege hoge kapitaalslasten is de afschrijvingstermijn voor gebouwen en die voor de verbrandingsinstallatie van grote invloed op de totale kosten.
- Verkoop van elektriciteit; de marktprijs kan variëren en de hoogte van de MEP-vergoeding zou in de toekomst kunnen veranderen. Zonder MEP-vergoeding wordt de kostprijs per ton voor de AVI € 97,94 en voor de nascheiding € 58,16.
- Het rendement van de elektriciteitsopwekking.

- Afzet bodemas; in deze studie wordt ervan uitgegaan dat het bodemas voldoet aan de N2-norm van het Bouwstoffenbesluit. Nuttig toepassen is dan toegestaan, en volgens [2] kost de afzet dan ca. € 10 per ton. Een deel van het bodemas in Nederland voldoet nog niet aan de N2-norm, en dient dan te worden gestort voor een tarief van ca. € 50 per ton. In dat geval stijgen de AVI-kosten.
- Samenstelling afval; met name de stookwaarde van het afval is bij de AVI van belang, omdat deze rechtstreeks de elektriciteitsopbrengst beïnvloedt. Ook van invloed zijn de hoeveelheden ijzer en aluminium in het afval, welke opbrengsten genereren.
- Onderhoudskosten; er is gerekend met een jaarlijkse kostenpost van 3% van de totale investeringskosten.

Invloedsfactoren nascheiding:

- Opbrengst afzet kunststoffen; de marktprijs voor de kunststofrecyclaten kan variëren.
- Verwerkingskosten sorteerrest; er wordt aangenomen dat de NASKAS sorteerrest wordt verwerkt in een AVI. Mogelijk zijn er goedkopere alternatieven voor de afzet, bijvoorbeeld de inzet van de sorteerrest als brandstof.
- Verwerkingskosten digestaat; alternatieve afzetmogelijkheden kunnen duurder of goedkoper zijn dan de huidige wijze, het gedeeltelijk storten en het gedeeltelijk stabiliseren en toepassen. Het digestaat kan bijvoorbeeld worden gestookt als biomassa.
- Afzet subcoal pellets; nu wordt aangenomen dat de pellets kostenneutraal worden afgezet. Indien er wel kosten of opbrengsten aan de afzet verbonden zouden zijn, is de invloed op de totale kosten voor nascheiding relatief groot, omdat het om een relatief grote hoeveelheid materiaal betreft.
- Samenstelling afval; het aandeel van enkele waardevolle fracties, zoals ijzer, aluminium en kunststoffen, is van belang voor de opbrengsten.
- Rentepercentage; bij een stijging van het rentepercentage ontwikkelen de kosten voor nascheiding zich relatief gunstig ten opzichte die voor de AVI.
- Afschrijvingstermijn; de kosten van nascheiding ten opzichte van die van de AVI worden relatief gunstiger bij kortere afschrijvingstermijnen.

6 Conclusies

In deze studie zijn de werkelijke kosten van de verwerking van grijs huishoudelijk afval in een (model) AVI en in een (model) nascheidingsinstallatie berekend en is de opbouw van de kostprijzen inzichtelijk gemaakt. In de berekende kosten zijn de kosten/baten van de externe verwerking van reststromen, zoals assen en afgescheiden metalen en kunststoffen, inbegrepen.

De verwerking van grijs huishoudelijk afval in de (model) AVI kost € 90 per ton. De verwerking in de (model) nascheidingsinstallatie kost € 58 per ton.

Voor de AVI wordt de grootste bijdrage aan de kostprijs geleverd door de kapitaalslasten (€ 71 per ton afval), de onderhoudskosten (€ 22 per ton afval) en de opbrengst van de verkoop van elektriciteit (€ 34 per ton afval, na aftrek van eigen verbruik).

Voor de nascheidingsinstallatie spelen naast kapitaalslasten (€ 26 euro per ton afval) ook de externe verwerking van reststromen (€ 21 per ton afval) en de opbrengsten van kunststoffen en metalen (€ 14 euro per ton afval) een relevante rol.

De berekende kosten zijn afhankelijk van de gebruikte gegevens en de keuzes die gemaakt zijn. De factoren die het meest van belang zijn, zijn:

- Voor de AVI; rentepercentage, afschrijvingstermijn en de prijs voor de levering van elektriciteit.
- Voor de nascheiding; opbrengst van de kunststoffen, verwerkingskosten van sorteerrest en digestaat en de vergoeding voor de afzet van subcoal pellets.

Resultaten van gevoeligheidsanalyses met betrekking tot de genoemde factoren geeft meer inzicht in de mogelijke spreiding van de berekende totale kostprijzen.

7 Literatuur

- [1] Samenstelling van het huishoudelijk restafval - Resultaten sorteeranalyses 2004, SenterNovem, april 2005.
- [2] Rijpkema, B. et al., AVI 2005: Evaluatie van huidige en toekomstige technologische ontwikkelingen voor de roosteroven voor het verbranden van huishoudelijk afval, TNO-MEP, september 2001.
- [3] Arninkhof, M. et al., T2000-projecten n.v. VAM – “Terugwinning van kunststoffolie uit huishoudelijk afval en bedrijfsafval” en “Vergassen van huishoudelijk kunststofafval”, september 1997 (vertrouwelijk).
- [4] De kosten van het inzamelen, scheiden en herverwerken van de afvalstromen volgens model Breda, Coopers & Lybrand, juni 1994.
- [5] Be- en verwerking van afvalstoffen op de Wierde, Deelrapport milieueffectrapportage scheiding en ONF-bewerking, Afvalsturing Friesland NV, Leeuwarden, april 1999.
- [6] NASKAS project - Nascheiding en nuttige toepassing van kunststoffen en drankenkartons uit huishoudelijk restafval door middel van automatische sortering, fase 1 - onderzoek naar de technische en economische haalbaarheid, Rentech Consult B.V., januari 2005.
- [7] Correspondentie met dhr. H. Smink, Omrin, 2005 – 2006.
- [8] Aid in the Management and European Comparison of Municipal Solid Waste Treatment methods for a Global and Sustainable Approach (AWAST), deliverable D6: Methodology for the determination of production costs and full costs of Municipal Solid Waste treatments, februari 2004.

8 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

EcoVerpakkingen

Namen en functies van de projectmedewerkers:

R.N. van Gijlswijk

A.M.M. Ansems

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

n.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

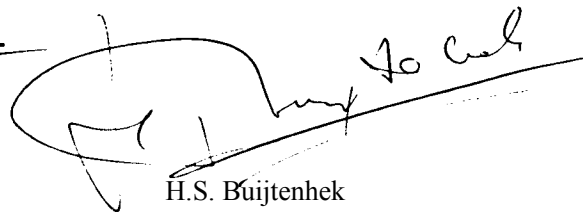
juli – november 2006

Ondertekening:



A.M.M. Ansems
projectleider

Goedgekeurd door:



H.S. Buijtenhek
team manager

1 Samenstelling grijs huishoudelijk afval

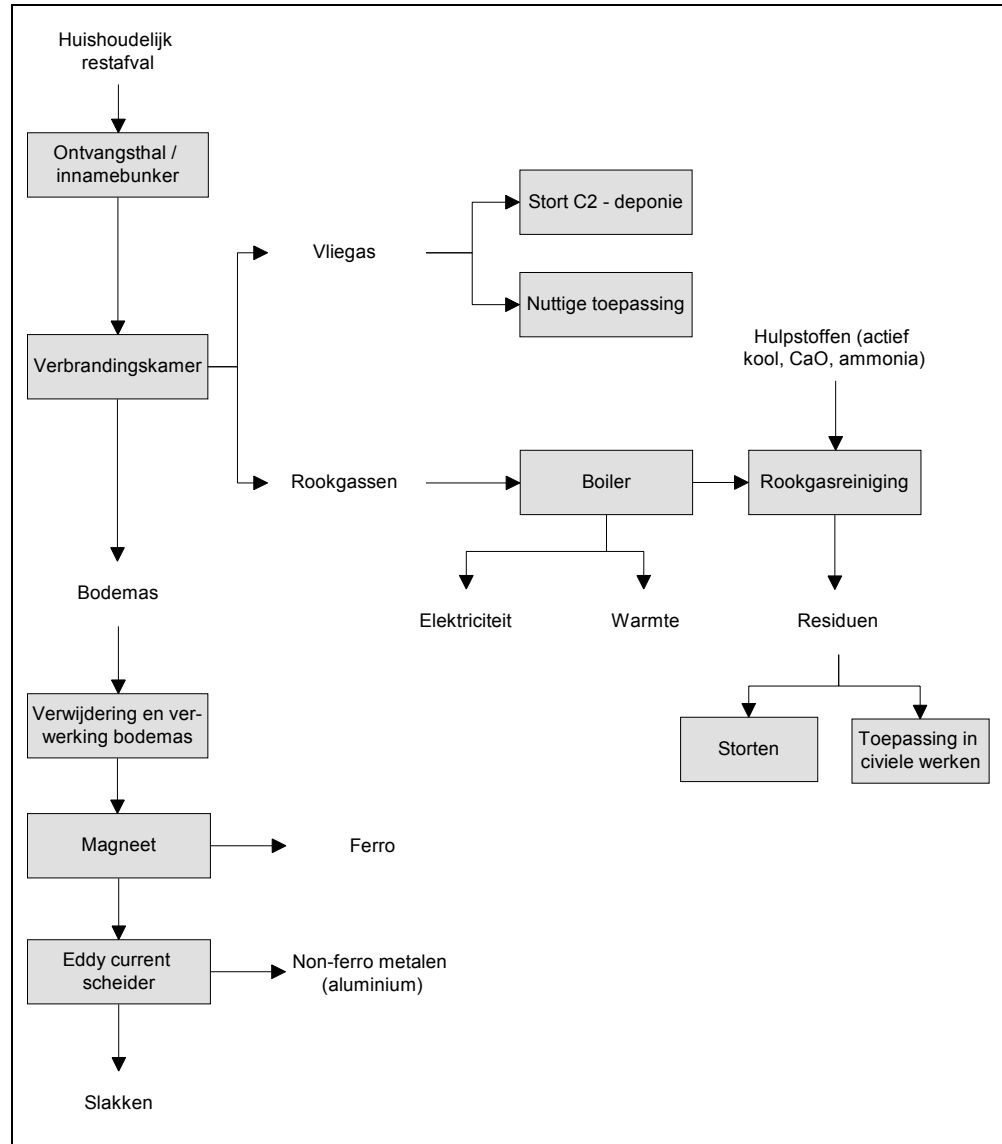
De gebruikte samenstelling, waarmee gerekend is, is gebaseerd op gegevens van SenterNovem [1].

Tabel B1.1 Samenstelling grijs huishoudelijk afval

Component	2004 [1] (%)	Calorische waarde (MJ/kg) [2]
GFT	34,9	3,39
Oud papier en karton	25,9	9,99
Kunststoffen	19,0	34,20
Glas	3,6	0,00
Ferro	3,5	0,00
Non-ferro	0,4	0,00
Textiel	2,5	14,26
Hout	3,2	14,60
Divers brandbaar	3,3	15,39
Divers onbrandbaar	3,8%	0,00
Totaal / gemiddeld	100%	11,6

2 Schema AVI

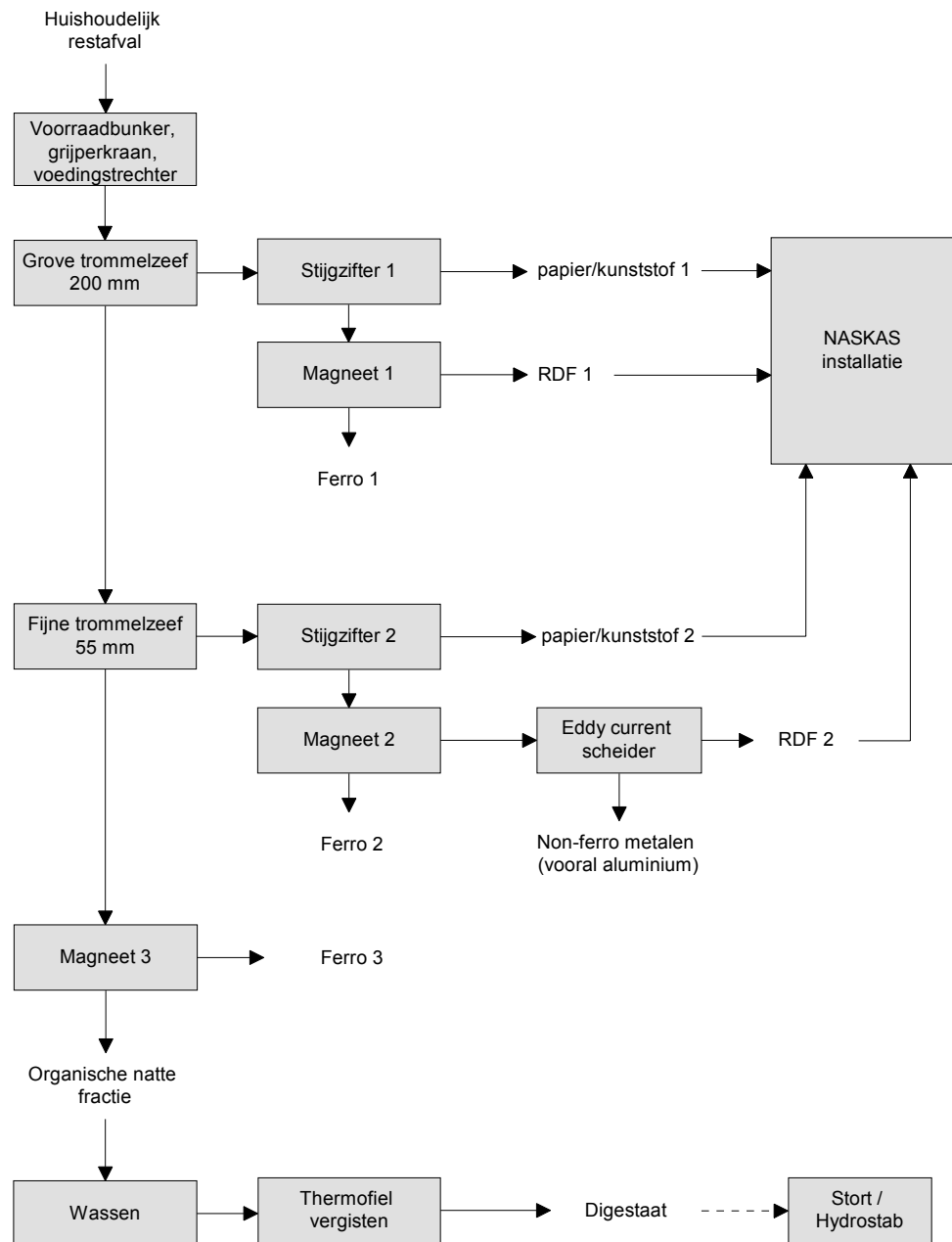
De model afvalverbrandingsinstallatie is als volgt opgebouwd, zie figuur B2.1.



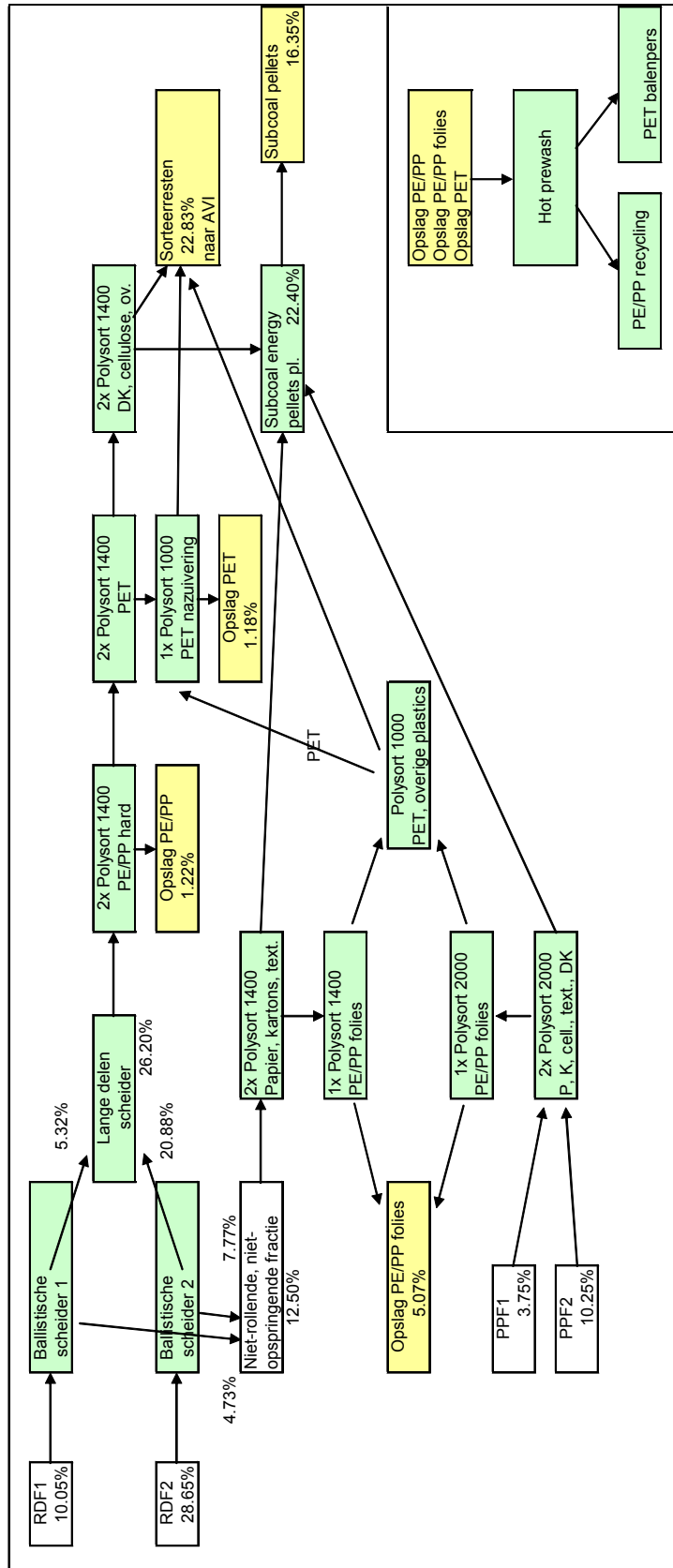
Figuur B2.1 Schema AVI

3 Schema nascheidingsinstallatie

De nascheidingsinstallatie bestaat uit een mechanische scheiding, een was- en vergistingsstap voor ONF en een NASKAS sortering. De eerste twee onderdelen worden getoond in figuur B3.1. Het NASKAS schema is gegeven in figuur B3.2.



Figuur B3.1 Schema nascheiding



Figuur B3.2 Schema NASKAS [7]

4 Details kostenberekeningen AVI

In tabel B4.1 worden enkele kenmerken van de model-AVI getoond.

Tabel B4.1 Kenmerken model-AVI

Kenmerken	
Basis	AVI 2005 rapport [2]
Gekozen scenario	"Huidige AVI"; zie [2]
Ketelcondities	400°C, 40 bar
Installatie rookgasreiniging	Selectieve niet-katalytische reductie (SNCR)
Norm luchtemissies	Besluit luchtemissies afvalverbranding
Norm bodemkwaliteit	N2 (Bouwstoffenbesluit)
Beschikbaarheid	90%
Prijspeil AVI 2005 studie	2001
Prijspeil deze studie	2005
Inflatie	2,40%

In de huidige studie zijn een aantal aanpassingen gemaakt op het scenario "Huidige AVI", beschreven in het AVI 2005-rapport. De capaciteit is verlaagd naar 460 kton/jaar en de kosten zijn omgerekend naar het prijspeil van 2005. In tabel B4.2 zijn een aantal kenmerken weergegeven, waarbij ook de verschillen met het AVI 2005-rapport zichtbaar zijn gemaakt.

Tabel B4.2 Kenmerken huidige studie en AVI 2005 [2]

Kentallen	AVI 2005	Deze studie	Eenheid	Opmerkingen
Bedrijfstijd	7884	7884	uur/jaar	90%
Aantal verbrandingslijnen	3	3	lijnen	
Capaciteit per lijn	25	19,4	ton/uur	
Capaciteit totaal	75	58,3	ton/uur	
	591,3	460,0	kton/jaar	naar HVC Alkmaar
Hoeveelheid personeel	93	80	fte	capaciteitscorrectie
Kosten per werknemer	38571	48000	€/jaar	[6; 7]
Personeelskosten	3,59	3,84	M€/jaar	capaciteits- en inflatiecorrectie
Afschrijvingsperiode investeringen	15	15	jaar	[2]
Rente	5,0	5,0	%	
Annuitaire afschrijving	9,63	9,63	% per jaar	
Stookwaarde afval	9,46	11,59	MJ/kg	[1; 2]
Bruto elektrisch rendement	26,0	26,0	%	
Netto elektrisch rendement	23,2	23,2	%	
Bruto elektriciteitsproductie	51,2	48,9	MW	Afhankelijk van
Intern elektriciteitsverbruik	5,5	5,3	MW	stookwaarde en
Netto elektriciteitsproductie	45,7	43,6	MW	capaciteit
Basisvergoeding elektriciteit	31,76	34,93	€/MWh	inflatiecorrectie
REB terugsluizing elektriciteit	9,53	10,48	€/MWh	inflatiecorrectie
Totale vergoeding elektriciteit	41,29	45,40	€/MWh	
Bruto opbrengsten elektriciteit	16,7	17,5	M€	
Eigen verbruik elektriciteit	1,8	1,9	M€	
Opbrengsten elektriciteit	14,9	15,6	M€	

Alle capaciteitscorrecties zijn uitgevoerd met de extrapolatiefactor 0,6 . In dit geval is de capaciteitscorrectiefactor $(460,0 / 591,3)^{0,6} = 0,86$. De inflatiecorrectie is 10% (2005 t.o.v. 2001).

Tabel B4.3 toont de investeringskosten van de AVI. De getallen zijn afgeleid uit het AVI 2005 rapport [2].

Tabel B4.3 Investeringskosten AVI

Investeringskosten	AVI 2005 (M€)	Deze studie (M€)
Gebouwen en infrastructuur	38,7	36,6
Shredders	3,3	3,1
Rooster	22,2	21,0
Ketel	48,7	46,0
Rookgasreiniging	38,8	36,7
Turbines/generatoren	27,4	25,9
Bodemasbehandeling	4,4	4,2
Emissiemeetapparatuur	1,8	1,7
Luchtvoorverwarming	0,3	0,3
Rookgasrecirculatie	0,4	0,3
Procesbeheersing	53,8	50,9
Onvoorzien/risico/winst	48,0	45,4
Indirecte investeringen (bouwrente, vergunningen)	72,0	68,1
Investeringskosten totaal	359,8	340,2

De jaarlijkse investeringslasten zijn berekend met behulp van het percentage voor annuïtaire afschrijving, zoals getoond in tabel B4.2. Voor een totale investering van 340,2 M€, een rente van 5% en een afschrijvingstermijn van 15 jaar bedragen de jaarlijkse lasten: 9,63% van 340,2 M€, oftewel 32,8 M€.

Om de variabele kosten en opbrengsten te kunnen berekenen, is kennis nodig over het gehalte inert materiaal in het afval en de verdeling ervan over de diverse uitgaande fracties. Tabel B4.4 geeft de percentages inert en de hoeveelheden ervan.

Tabel B4.4 Distributie inert materiaal over de diverse fracties in de voeding van de AVI

Fractie	Samenstelling afval (%)	Vochtgehalte in fractie (%)	Asgehalte in fractie (%ds)	Asgehalte in totaal afval	Hoeveelheid inert (kt/jaar)
GFT	34,9	56,5	22,8	0,035	16,0
papier	25,9	26,8	9,9	0,019	8,6
kunststoffen	19,0	10,0	5,0	0,008	3,9
glas	3,6	1,7	99,0	0,035	16,1
Ferro: verpakkingen	2,3	5,8	95,4	0,021	9,5
Ferro: rest	1,2	5,8	95,4	0,011	5,0
Non-ferro: rigide verpakkingen	0,3	5,8	95,4	0,002	1,1
Non-ferro: rest	0,1	5,8	95,4	0,001	0,3
textiel	2,5	20,6	3,9	0,001	0,4
hout	3,2	14,5	2,3	0,001	0,3
divers: brandbaar	3,3	14,7	14,4	0,004	1,8
divers: onbrandbaar	3,8	0,0	99,0	0,038	17,3
Totaal	100			0,175	80,3

De variabele kosten zijn weergegeven in tabel B4.4.

Tabel B4.4 Variabele kosten en opbrengsten AVI

Item	Kosten (M€)	Opmerkingen
Chemicaliën totaal	1,24	[2]; voor capaciteit en inflatie gecorrigeerd
Afzet/verwerking reststoffen totaal (bodemas, vliegias, filterkoek, sproeidroogzout)	4,15	[2]; voor capaciteit en inflatie gecorrigeerd
<i>Afzet/verwerking bodemas</i>	<i>0,7</i>	<i>[2]; f 20,- per ton, gecorrigeerd voor inflatie en capaciteit. 72,3 kton/jaar.</i>
<i>Afzet/verwerking vliegias</i>	<i>1,0</i>	<i>[2]; f 249,- per ton, gecorrigeerd voor inflatie en capaciteit. 8,0 kton/jaar.</i>
Diversen	0,7	[2]; voor capaciteit en inflatie gecorrigeerd

Voor de variabele kosten is de capaciteitscorrectie lineair. Bij een verdubbeling van de capaciteit wordt het verbruik aan chemicaliën en de productie van reststoffen immers verdubbeld.

Uit de hiervoor gepresenteerde cijfers kunnen de jaarlijkse kosten van de model AVI worden berekend. Ook wordt inzicht verkregen in de opbouw van de verwerkingskosten per ton; zie tabel B4.5.

Tabel B4.5 Resultaten kostenberekeningen AVI

Vaste kosten	Kosten per jaar (M€)	Kosten per ton afval (€)
Kapitaalslasten	32,78	71,26
Civiel (gebouwen, infrastructuur, engineering)	3,53	7,67
Shredder	0,30	0,65
Oven: rooster	2,03	4,40
Oven: ketel	4,44	9,64
Turbine/generator	2,49	5,42
Rookgasreiniging, schoorsteen, rg genel.	3,76	8,18
Bodemasbehandeling	0,41	0,88
Overige kosten	15,83	34,42
Verzekering	5,10	11,09
Onderhoud	10,21	22,19
Personeel	3,84	8,35
Variabele kosten	Kosten per jaar (M€)	Kosten per ton afval (€)
Verwerking reststoffen totaal	4,15	9,03
kosten verwerking bodemas	0,72	1,57
kosten verwerking elektrofilteras	1,00	2,17
kosten verwerking filterkoek	2,43	5,29
kosten verwerking sproeidroogzout	0,00	0,00
Eigen elektriciteitsverbruik	1,88	4,09
Chemicaliën totaal	1,24	2,70
Diversen	0,69	1,49
Variabele opbrengsten	Baten per jaar (M€)	Baten per ton afval (€)
Elektriciteitsproductie	17,5	38,02
IJzer	0,69	1,51
Non-ferro metalen (Al)	0,26	0,57
Totale netto kosten	41,45	90,11

5 Details kostenberekeningen nascheidingsinstallatie

Het model van de nascheidingsinstallatie is in grote lijnen gebaseerd op de installaties van Omrin in Heerenveen en Vagron in Groningen, bestaande uit een mechanische scheiding en een was- en vergistingsstap voor de organische natte fractie. Deze opzet is voor deze studie aangevuld met een installatie voor kunststofsortering volgens het NASKAS concept. Teneinde een verwerkingscapaciteit te verwezenlijken, die gelijk is aan die van de model AVI (zie bijlage 4), is uitgegaan van twee lijnen voor de mechanische scheiding en de kunststofsortering. De was- en vergistingsinstallatie is opgeschaald naar de juiste capaciteit.

Enkele kentallen van de model nascheidingsinstallatie zijn weergegeven in tabel B5.1. Omdat een deel van de informatie afkomstig is van Omrin, zijn de oorspronkelijke gegevens van Omrin ook in de tabel opgenomen.

Tabel B5.1 Kentallen model-nascheiding

Kentallen		Omrin	Deze studie	Eenheid/ opmerkingen
Bedrijf		5	6	dagen per week
Ploegendienst		3	3	ploegen per dag
Beschikbaarheid		71	73	%
Bedrijfstijd per jaar		6257	6382	uur/jaar
Capaciteit per lijn		215	230	kton/jaar
Aantal lijnen		1	2	
Capaciteit totaal		215	460	kton/jaar
Onderhoud			4,0	%
Verzekeringen			1,5	%
Personeel	Mechanische scheiding	18	36	2 lijnen
	NASKAS	10	20	2 lijnen
	ONF vergisting	17	17	geen extra personeel
Personeelskosten			48000	€/werknemer/jaar
<i>Afschrijving</i>				
Rente			5	%
Installaties	Afschrijvingstermijn		10	jaar
	Annuïteit		13,0	%
Huisvesting	Afschrijvingstermijn		15	jaar
	Annuïteit		9,6	%
Grond	Afschrijvingstermijn		-	jaar
	Annuïteit		5,0	%

De mechanische scheiding resulteert in een aantal fracties die intern of extern verder worden verwerkt, zie figuur B3.1. De efficiëncies waarmee gerekend is, zijn weergegeven in tabel B5.2; de tabel dient horizontaal gelezen te worden.

Tabel B5.2 Distributie afvalfracties door mechanische scheiding

Fractie	Massa (kton)	Massa (%)	ONF (%)	RDF (%)	Ferro (%)	Non-ferro (%)	Papier/plastic (%)
Organisch	160,5	35	80	15			5
Ferro: verpakkingen	10,6	2,3		5	95		
Ferro: rest	5,5	1,2		5	95		
Non-ferro: rigide verpakkingen	1,2	0,3		20		80	
Non-ferro: rest	0,4	0,1	40	28		32	
Glas	16,6	4	90	10			
Steenachtig	0	0	90	10			
Overig niet-brandbaar	17,5	4	60	40			
Papier/karton	119,1	26	5	70			25
Hout	14,7	3	5	85			10
Kunststoffen	87,4	19	5	30			65
Overig brandbaar	26,5	6	5	85			10
Totaal (kton)	460	100	166	179	15	1	99
(%)			36,2	38,8	3,3	0,2	21,5

De verdelingspercentages in tabel B5.2 zijn ingeschat door TNO, waarbij het totale volume van de uitgaande fracties zoals in [5] genoemd, in het oog is gehouden.

De brandbare fracties (RDF1 + RDF2) en de papier/plastic fracties (PPF1 + PPF2), zie figuur B3.1, worden verder gesorteerd in de NASKAS installatie. De massabalans van de NASKAS installatie is opgenomen in figuur B3.2.

In deze studie is beoogd een kostenverdeling voor de nascheidingsinstallatie te maken, zodat inzichtelijk wordt welke posten de grootste bijdrage leveren aan de verwerkingsprijs per ton. Omdat er geen literatuurbron is die een consistente set kostencijfers bevat voor de model nascheiding zoals hier beschreven, is gebruik gemaakt van meerdere bronnen. Hierna is per deelinstallatie aangegeven welke bronnen zijn gebruikt, en hoe de gegevens zijn verwerkt.

1. Mechanische scheiding

De totale investeringskosten voor gebouwen en apparatuur van de SBI Friesland zijn bekend: 9 M€ in 2001, hetgeen overeenkomt met 10,8 M€ in 2005; de verdeling tussen gebouwen en apparatuur bedraagt 50%/50%. De investeringen zijn geëxtrapoleerd naar die voor een installatie met een capaciteit van 460 kton/jaar. Voor de gebouwen betekent dit dat de kosten vermenigvuldigd zijn met een factor $2^{0,6}$; kosten voor engineering, elektrische installaties en de installaties voor de ONF vergisting zijn vermenigvuldigd met een factor $2^{0,8}$; de kosten van de overige installaties zijn met een factor 2 vermenigvuldigd (er zijn twee gescheiden lijnen). Op deze wijze zijn de jaarlijkse kapitaalslasten berekend. Met behulp van informatie uit andere bronnen (zie tabel B5.3) is een nadere opsplitsing gemaakt voor de diverse apparaten. Dit is uitgevoerd in drie stappen:

- 1) De verzameling van investeringskosten uit de literatuur verzamelen;
- 2) Correctie van deze kosten, wat betreft capaciteit en referentiejaar (zie tabel B5.3);
- 3) Alle berekende kosten worden herleid naar de investeringskosten voor apparatuur van de SBI.

Tabel B5.3 Bronnen kostencijfers nascheiding

Bron	Lit.	Capaciteit	Correctie-factor	Referentie-jaar	Correctie-factor
Correspondentie met Omrin	-	215	2*	2005	-
Model Breda	[4]	20	2 . 4,33	1993	1,33
T2000-projecten nv VAM	[3]	n.v.t.	(stuks)	1997	1,19
NASKAS project	[6]	200 / 230	2	2003	1

*) de werkelijke doorzet van de SBI Friesland is afhankelijk van de aanvoer; maximale capaciteit is 230 kton/jaar. Dit komt overeen met de beoogde capaciteit per lijn in dit model.

De capaciteitscorrectie is gelijk aan de verhouding van de beoogde capaciteit en de capaciteit in literatuur tot de macht 0,6 (mechanische installaties) of 0,8 (chemische installaties). Hierbij zijn de twee lijnen gescheiden gehouden.

2. NASKAS installatie

De kostencijfers van de installatie voor automatische sortering van kunststoffen en drankenkartons zijn integraal overgenomen uit het NASKAS onderzoek [6]. Omdat de getallen recent zijn, is geen correctie toegepast. De berekening van de afschrijving is uitgevoerd conform de annuïteitenmethode, resulterend in de lasten zoals weergegeven in tabel B5.1.

3. ONF vergisting

Voor de was- en vergistingsinstallatie is eveneens het totale investeringsbedrag van Omrin (SBI Friesland) gebruikt [7]. Het investeringsbedrag is gelijk verdeeld over gebouwen en apparatuur. Er is geen uitsplitsing gemaakt over de verschillende processtappen, omdat onvoldoende informatie beschikbaar is.

Tabel B5.4 geeft een gedetailleerd overzicht van de kosten.

Tabel B5.4 Overzicht (investerings)kosten van de nascheidingsinstallatie

Item	Kosten (M€)	Kosten per jaar (€)	Bron
Mechanische scheiding			
Huisvesting			
Grond	0,81	40458	[4]
Gebouw	4,32	415762	[4]
Hekwerk/wegen	0,13	12993	[4]
Onvoorzien	0,13	12993	[4]
Weegbrug	0,27	25985	[4]
Sociale voorzieningen	0,27	25985	[4]
Installaties			
Grove trommelzeef	1,18	153193	[4]
Fijne trommelzeef	1,18	153193	[4]
Stijgzifter 1	0,08	10191	[3]
Stijgzifter 2	0,08	10191	[3]
Magneetscheider 1	0,22	28724	[4]
Magneetscheider 2	0,22	28724	[4]
Magneetscheider 3	0,22	28724	[4]
Eddy current	0,59	76597	[4]
Balenpers	0,17	21702	[3]
Transportbanden (15 stuks)	0,76	98731	[3]
Overige investeringen			
Bunkeropvoerband	1,03	133363	[4]
Zakkenscheurder	0,89	114895	[4]
Persvakken met pers	2,57	333406	[4]
Shovel	0,44	57447	[4]
Onvoorzien (apparatuur)	1,16	150236	[4]
Engineering	1,01	130788	[4]
Elektrische installaties	1,26	163485	[4]
Onderhoud		760449	[4]
Verzekering		285168	[4]
Personeel		1728000	[6;7]
NASKAS			
Gebouwen	1,52	146028	[6]
Apparatuur	17,91	3094961	[6]
Engineering, procurement	1,42	244930	[6]
Onvoorzien	1,75	301968	[6]
Onderhoud		903555	[6]
Verzekering		338833	[6]
Personeel		960000	[6]
ONF vergisting			
Gebouwen	23,71	2283933	[7]
Apparatuur	23,71	3526610	[7]
Onderhoud		2037520	[7]
Verzekering		764070	[7]
Personeel		816000	[7]

Met behulp van de cijfers, gepresenteerd in tabel B5.4, kunnen de jaarlijkse kosten worden berekend van de model-nascheiding. Ook kan inzicht worden verkregen in de opbouw van de verwerkingskosten per ton; zie tabel B5.5.

Tabel B5.5 Resultaten kostenberekeningen nascheidingsinstallatie

Vaste kosten	Kosten per jaar (M€)	Kosten per ton afval (€)
Kapitaalslasten algemeen / mechanische scheiding	2,28	4,95
Gebouwen	0,83	1,80
Installaties	0,60	1,31
Overige investeringen	0,85	1,84
Kapitaalslasten Naskas	3,79	8,23
Kapitaalslasten ONF vergisting	5,81	12,63
Gebouwen	2,28	4,97
Installaties	3,53	7,67
Onderhoud	3,70	8,05
Verzekering	1,39	3,02
Personeel	3,50	7,62
Variabele kosten	Kosten per jaar (M€)	Kosten per ton afval (€)
Gasverwarming en diesel shovel	0,52	1,14
Aardgas NASKAS	0,57	1,23
Elektriciteit	0,57	1,23
Verwerking sorteerrest in AVI	9,60	20,87
Digestaat naar stort of Hydrostab	2,50	5,43
Variabele opbrengsten	Baten per jaar (M€)	Baten per ton afval (€)
IJzer	0,92	2,00
Non-ferro metalen (Al)	0,66	1,44
PE/PP recyclaten	3,92	8,52
PET-flessen	0,97	2,10
Subcoal pellets	0,00	0,00
Elektriciteitslevering aan net	1,13	2,46
Totale netto kosten	26,62	57,88