

**MILIEUEFFECTRAPPORT  
LANDELIJK AFVALBEHEERPLAN**

**Achtergronddocument A22  
Uitwerking "shredderafval"**

Afval Overleg Orgaan  
2002



## Inhoud

|   | <b>blz.</b>                                     |    |
|---|---|----|
| 1 | Inleiding                                       | 4  |
| 2 | Samenstelling shredderafval                     | 5  |
| 3 | Verwerkingsalternatieven                        | 8  |
| 4 | Procesbeschrijvingen en systeemgrenzen          | 9  |
| 5 | Storten   | 11 |
|   | 5.1 Procesbeschrijving                          | 11 |
|   | 5.2 Massabalans                                 | 12 |
|   | 5.3 Ruimtebeslag                                | 12 |
|   | 5.4 Transport                                   | 12 |
|   | 5.5 Energie                                     | 13 |
|   | 5.6 Bedrijfsmiddelen                            | 13 |
|   | 5.7 Emissies                                    | 13 |
| 6 | Meestoken in AVI                                | 16 |
|   | 6.1 Inleiding                                   | 16 |
|   | 6.2 Procesbeschrijving                          | 17 |
|   | 6.3 Massabalans                                 | 18 |
|   | 6.4 Ruimtebeslag                                | 20 |
|   | 6.5 Transport                                   | 20 |
|   | 6.6 Energie                                     | 21 |
|   | 6.7 Bedrijfsmiddelen                            | 22 |
|   | 6.8 Emissies                                    | 22 |
| 7 | Pyrolyse, vergassen en smelten                  | 25 |
|   | 7.1 Inleiding                                   | 25 |
|   | 7.2 Procesbeschrijving                          | 27 |
|   | 7.3 Massabalans                                 | 29 |
|   | 7.4 Ruimtebeslag                                | 31 |
|   | 7.5 Transport                                   | 31 |
|   | 7.6 Energie                                     | 31 |
|   | 7.7 Bedrijfsmiddelen                            | 31 |
|   | 7.8 Emissies                                    | 32 |
| 8 | TwinRec   | 35 |
|   | 8.1 Inleiding                                   | 35 |
|   | 8.2 Beschouwde rookgasreinigingsconfiguratie    | 35 |
|   | 8.3 Procesbeschrijving                          | 36 |
|   | 8.4 Massabalans                                 | 40 |
|   | 8.5 Ruimtebeslag                                | 41 |
|   | 8.6 Verwerkingskosten                           | 41 |
|   | 8.7 Transport                                   | 42 |
|   | 8.8 Energie                                     | 42 |
|   | 8.9 Bedrijfsmiddelen                            | 44 |
|   | 8.10 Emissies                                   | 46 |
|   | Literatuur                                      | 50 |
|   | Verantwoording stortgasberekeningen             | 54 |
|   | Achtergronden verwerkingsoptie pyrolyse/smelten | 62 |

## 1 INLEIDING

In het MER voor het LAP worden beheersalternatieven voor diverse afvalstoffen vergeleken, waarbij gebruik wordt gemaakt van Levens Cyclus Analyse (LCA). Alle LCA-berekeningen worden uitgevoerd voor 1 ton afval.

In de LCA-berekeningen m.b.t. de afvalbeheersalternatieven worden diverse processen meegenomen. Om LCA-berekeningen te kunnen uitvoeren dient onder meer de volgende informatie beschikbaar te zijn:

- de samenstelling van de afvalstof;
- het energieverbruik van de in de LCA meegenomen processen;
- het bedrijfsmiddelenverbruik van de in de LCA meegenomen processen. Onder bedrijfsmiddelen worden in dit verband verstaan chemicaliën, water, etc.;
- de emissies naar de milieucompartimenten lucht, oppervlaktewater en bodem van de in de LCA meegenomen processen.

Componenten (verontreinigingen) aanwezig in het afval kunnen diverse wegen "bewandelen" en vervolgens het milieu belasten, bijvoorbeeld het milieucompartiment "lucht" via de rookgassen van een verbrandingsinstallatie of het milieucompartiment "bodem" via uitloging bij het storten of nuttig toepassen van reststoffen na afvalverwerking.

Om de emissies van componenten naar de milieucompartimenten lucht, oppervlaktewater en bodem te kunnen bepalen, dienen de massabalansen op componentniveau bekend te zijn van diverse processen, zoals van afvalscheiding, afvalverbranding, rookgasreiniging, etc.

Ook zullen tijdens het afvalverwerkingstraject stoffen worden vernietigd en nieuwe stoffen ontstaan. Zo worden bij verbranding diverse organische verbindingen in het afval vernietigd en worden bijvoorbeeld NO<sub>x</sub> gevormd. Naast componentgebonden emissies worden derhalve ook procesgebonden emissies onderscheiden.

De in de LCA-berekeningen gebruikte informatie wordt in het navolgende gepresenteerd voor de afvalstroom "**shredderafval**".

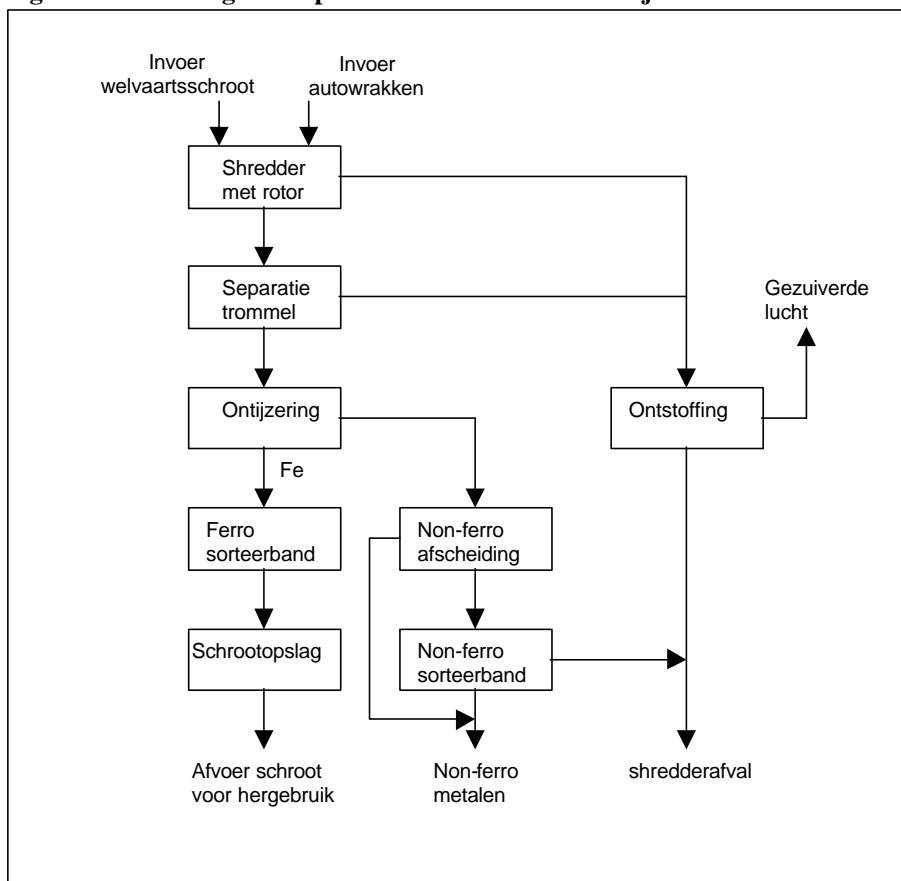
## 2 SAMENSTELLING SHREDDERAFVAL

Shredderafval ontstaat bij opwerking van afvalstromen met een hoog gehalte aan ferro-schroot, maar ook met een dusdanig hoog gehalte aan niet-metallische materialen, dat directe afzet bij schroothandel en/of herverwerkers niet mogelijk is. Het gaat vooral om:

- autowrakken (85 kton/jaar);
- gruis (180 kton/jaar);
- sloopmetalen (40 kton/jaar);
- schroot uit slakken van bijvoorbeeld AVI's (35 kton/jaar).

Het afval wordt bij een shredderbedrijf bewerkt met als doel verwijdering van de niet-metallische componenten, die daarbij als shredderafval overblijven. Het gezuiverde schroot wordt afgezet bij herverwerkers, zoals Nedstaal in Alblasterdam. Een algemeen processchema van de opwerking is weergegeven in figuur 2.1.

**Figuur 2.1** Algemeen processchema shredderbedrijf



Aangevoerd schroot wordt met een shredder c.q. hamermolen verkleind (geshredderd), waarna het maalgoed met een windzifter wordt gescheiden in een 'lichte fractie' en een 'zware fractie'. Beide fracties worden met een magneet ontijzerd. Uit de zware fractie worden met Eddy Current scheiding non-ferro metalen geïsoleerd. Wat overblijft zijn de ongewenste afvalcomponenten uit beide fracties, die samen als shredderafval worden afgevoerd. De ongewenste componenten uit de lichte fractie worden eveneens 'lichte fractie' genoemd. Restmateriaal uit de zware fractie wordt als zwaar vuil aangeduid.

In tabel 2.1 is de in deze studie aangehouden samenstelling van het shredderafval weergegeven (TNO-MEP, 2000).

**Tabel 2.1; Aangehouden samenstelling van shredderafval naar afvalcomponenten**

|                            | lichte fractie | zwaar vuil | somproduct |
|----------------------------|----------------|------------|------------|
| Bijdrage aan shredderafval | 81%            | 19%        |            |
| Samenstelling deelfractie: |                |            |            |
| Metalen                    |                |            |            |
| - Fe                       | 0,6%           | 1,0%       | 0,7%       |
| - Cu                       | 0,6%           | 3,6%       | 1,2%       |
| - Ov. non ferro metalen    | 2,1%           | 2,6%       | 2,2%       |
| PUR                        | 2,9%           | 0,5%       | 2,4%       |
| Ov. Kunststoffen           | 20,8%          | 38,9%      | 24,2%      |
| Rubber, autoband           |                | 1,3%       | 0,2%       |
| Rubber, ov.                | 2,4%           | 18,1%      | 5,4%       |
| Textiel                    | 3,8%           | 0,2%       | 3,1%       |
| Hout/board                 | 3,5%           | 3,6%       | 3,5%       |
| Papier                     | 0,5%           |            | 0,4%       |
| Zeefrest < 10 mm           | 62,4%          | 25,2%      | 55,3%      |
| - waarvan Cu               | 0,7%           | 4,4%       | 1,4%       |
| - waarvan Al               | 0,7%           | 1,2%       | 0,8%       |
| - waarvan Fe (en Cr en Zn) | 8,0%           | 0,5%       | 6,6%       |
| Overig                     |                | 5,0%       | 0,9%       |
|                            | 99,6%          | 100,0%     | 99,7%      |

De zeefrest < 10 mm bestaat voornamelijk uit as, deels metalen, deels materialen als glas, beton (contragewichten in wasmachines), slak van verbrandingsinstallaties en zand van het terrein van het shredderbedrijf.

De samenstelling naar afvalcomponenten kan sterk variëren, gezien de samenstellingen die in andere bronnen worden gegeven. Zo zou volgens (ECN, 1999) en (ECN, 1997) shredderafval voor maar liefst 27% uit rubber en voor 11% uit rubber bestaan. Omdat in (TNO, 2000), naast autowrakken en welvaartsschroot, ook schroot uit slakken en industrieel schroot zijn meegenomen (de laatste twee stromen bevatten weinig tot geen brandbaar materiaal), lijkt het waarschijnlijk dat (TNO, 2000) een betrouwbaarder bron is dan (ECN, 1999) en (ECN, 1997). Het kan ook zijn dat (ECN, 1999) en (ECN, 1997) uitgaan van oudere gegevens, bijvoorbeeld uit een tijd waarin verwijdering van autobanden bij sloopbedrijven nog geen algemene ingang had gevonden. Dat zou verklaren waarom shredderafval volgens (ECN, 1999) en (ECN, 1997) voor meer dan een kwart uit rubber zou bestaan. Tegenwoordig worden alle via de ARN aangeboden wrakken vooraf gestript van banden (ECN, 2000a) zodat het aanbod aan rubber bestaat uit wat rubberstrips in auto's en onderdelen van witgoed.

Er is onvoldoende kwantitatieve informatie gevonden om de variatie in samenstelling ook daadwerkelijk te vertalen naar een specifieke gevoeligheidsanalyse.

Tabel 2.2 geeft de in deze studie aangehouden chemische samenstelling. De aangehouden samenstelling is afkomstig uit dezelfde bron als de samenstelling naar afvalcomponenten (TNO-MEP, 2000).

**Tabel 2.2; Aangehouden chemische samenstelling van shredderafval (alle cijfers in % of ton/ton)**

| <b>component</b> | <b>aangehouden samenstelling</b> |
|------------------|----------------------------------|
| - C              | 38,76 %                          |
| - H              | 5,19 %                           |
| - O              | 6,08 %                           |
| - N              | 1,05 %                           |
| - S              | 0,66 %                           |
| - halogenen      | 1,97 %                           |
| Br               | 0,16 %                           |
| Cl               | 1,77 %                           |
| F                | 0,04 %                           |
| - vocht          | 4,99 %                           |
| - as             | 41,13 %                          |
| As               | 6,56E-06                         |
| Cd               | 4,18E-05                         |
| Co               | 2,58E-05                         |
| Cr               | 0,07 %                           |
| Cu               | 2,76 %                           |
| Hg               | 7,79E-07                         |
| Mo               | 4,28E-05                         |
| Ni               | 0,05 %                           |
| Pb               | 0,18 %                           |
| Sb               | 0,07 %                           |
| Se               | 4,75E-06                         |
| Sn               | 0,06 %                           |
| V                | 3,80E-05                         |
| Zn               | 0,81 %                           |
| Fe               | 6,41 %                           |
| Al, Mg, RVS      | 2,71 %                           |
| overig stof      | 28,00 %                          |

Wat opvalt aan de samenstelling is de hoge concentraties aan zware metalen. Elementen als Cu, Cr, Ni, Pb, Sn, Sb en Zn waarvan de concentratie normaliter kan worden uitgedrukt in mg/kg komen in shredderafval in een duizend maal hogere concentratie voor. Voor koper is de verklaring dat het deeltjes van elektriciteitskabels en spoelen betreft. Voor de andere metalen zullen er vergelijkbare redenen voor de hoge concentraties zijn. Zink komt bijvoorbeeld voor als afwerklaag op carrosserietaal om corrosie tegen te gaan. Het wordt daarnaast onder meer gebruikt als versteviging in banden. Chroom wordt gebruikt om het oppervlak van producten als velgen en wioldoppen te verfraaien. Nikkel kan een onderdeel zijn van roestvrij staal. Tin is mogelijk aanwezig als soldeer. In wat voor vorm lood en antimoon mogelijk in shredderafval voorkomen is minder duidelijk. Antimoon is misschien een onderdeel van elektriciteitskabels. Bekend is dat in distributiekabels antimoon wordt gebruikt in de vulling tussen de koperaders. Lood is misschien een onderdeel van accu's. Kabelafval en accu's horen echter niet in shredderafval thuis.

Hoe deze metalen voorkomen is van belang wanneer nog in het shredderafval aanwezig schroot wordt afgescheiden. In deze studie is aangenomen dat chroom en zink voornamelijk als onderdeel van ferro-schroot worden afgescheiden en dat Ni als onderdeel van roestvrij staal bij afscheiding van non-ferro-schroot wordt geïsoleerd. Aangenomen is dat lood als deeltjes van meerdere millimeters aanwezig is en dat die deeltjes bij afscheiding van non-ferro-schroot worden geïsoleerd.

### 3 VERWERKINGSALTERNATIEVEN

Bij het shredderen van autowrakken en welvaartschroot worden zoveel mogelijk ferro en non-ferro metalen afgescheiden. Dit komt enerzijds de opbrengsten ten goede en beperkt anderzijds de hoeveelheid shredderafval die ter verwerking moet worden afgevoerd. Elke shredderinstallatie beschikt over zowel een ferro sorteerlijn als een non-ferro sorteerlijn.

Momenteel wordt het shredderafval voornamelijk **gestort**. Er zijn stookproeven uitgevoerd waarbij partijen shredderafval zijn gemengd met huishoudelijk- en bedrijfsafval en vervolgens zijn verbrand in een hoogcalorische **afvalverbrandingsinstallatie**.

Ook dient een aantal nieuwe thermische conversietechnieken zich aan:

#### *Pyrolyse/vergassen/smelten*

Gibros PEC biedt een concept (**PEC**) aan dat is gebaseerd op een combinatie van pyrolyse en vergassing. Gibros PEC is de Nederlandse licentiehouders van dit concept, oorspronkelijk ontwikkeld door Pyrolyse Kraft Anlagen (PKA) in Duitsland. Het concept is door Gibros PEC aangepast en verbeterd. Er is vergunning aangevraagd voor vier PEC-installaties in Nederland, waarin onder meer shredderafval verwerkt zal worden.

#### *Vergassen met naverbranding*

Alstom Power biedt onder de naam **TwinRec** een door EBARA uit Japan ontwikkeld concept aan, gebaseerd op een combinatie van lage temperatuur vergassing en hoge temperatuur verbranding. Er zijn in Japan 4 installaties gerealiseerd en er is één installatie in aanbouw. In enkele installaties wordt shredderafval verwerkt.

#### *Reactor-oxydatieproces*

Aarding Energo heeft in Amsterdam een bescheiden pilot-installatie gerealiseerd om het zogenaamde reactor-oxydatieproces te beproeven. Dit proces is nog niet op praktijkschaal bedreven. Op basis van de proeven in Amsterdam is door Aarding Energo onder meer een massa- en energiebalans voor het reactor-oxydatieproces opgesteld. Daarbij is evenwel nadrukkelijk aangegeven dat de balansen volstrekt niet representatief zijn voor een full-scale proces. Ook is door Aarding Energo opgemerkt dat de verstrekte gegevens niet gebruikt kunnen worden voor de beoordeling van het reactor-oxydatieproces of voor een vergelijking van het proces met andere processen. De verkregen informatie is bovendien onvoldoende om een LCA te kunnen uitvoeren.

Gelet op het bovenstaande worden 4 verwerkingsalternatieven voor shredderafval d.m.v. een LCA vergeleken:

- storten;
- verbranding in een AVI;
- pyrolyse/vergassen/smelten;
- TwinRec.



#### 4 Procesbeschrijvingen en systeemgrenzen

In het totale afvalbeheertraject voor shredderafval zijn diverse processen te onderscheiden. Het is niet altijd nodig alle processen in de LCA-berekeningen mee te nemen. De LCA-berekeningen worden namelijk uitgevoerd om alternatieven onderling te vergelijken. Bij de procesbeschrijvingen wordt dan ook steeds stapsgewijs weergegeven welke processen wel en niet in de LCA-berekeningen worden opgenomen.

Bij de verwerkingsprocessen ontstaan diverse producten en reststoffen, waarvan enkele nuttig kunnen worden toegepast. Er is dus sprake van vermeden winnings- en productieprocessen van primaire grondstoffen, zodat in de LCA-berekeningen negatieve milieu-ingrepen worden toegerekend. De gevolgen van nuttige toepassing van secundaire grondstoffen worden ook in de LCA meegenomen, tenzij de samenstelling en kwaliteit van (de producten van) de secundaire grondstoffen gelijkwaardig is aan die van (de producten van) uitgespaarde primaire grondstoffen. Als sprake is van genoemde gelijkwaardigheid, dan worden uitsluitend de gevolgen meegenomen van de processen die noodzakelijk zijn om de secundaire grondstoffen om te zetten in economisch verhandelbare producten. Binnen de systeemgrens valt dan nog wel het transport naar de locatie waar verder verwerking of inzet plaatsvindt (inclusief het vermeden transport van niet meer aan te voeren primair materiaal). Er wordt vanuit gegaan dat wanneer er sprake is van gelijkwaardigheid aan primair materiaal, daarna met alle vervolghandelingen een vergelijkbare handeling met primair materiaal wordt vermeden.

##### *Transportafstanden*

Voor het inschatten van de transportafstanden is derhalve gekeken naar marktpotentie van het betreffende alternatief. Met andere woorden: naarmate de verwachting is dat op meerdere plaatsen de betreffende techniek kan worden uitgevoerd, worden de transportafstanden kleiner. Dit geldt evenzeer voor de aanvoer van bedrijfsmiddelen en afzet van stromen naar recycling bedrijven.

In het kader van deze studie wordt derhalve uitgegaan van de in tabel 4.1 opgenomen transportafstanden (heen en terug). Hierbij wordt uitgegaan van ‘aantal locaties’ hetgeen betekent: aantal verwerker, aantal leveranciers bedrijfsmiddelen, afzet kanalen reststromen, etc. Per geval worden, wanneer daar aanleiding voor is, specifieke uitzonderingen van deze tabel expliciet gemotiveerd.

**Tabel 4.1; Gestandaardiseerde transportafstanden**

| Aantal locaties | Gemiddelde transportafstand (heen en terug) |
|-----------------|---|
| 1               | 150   |
| 2               | 100   |
| 3-5             | 75  |
| 6-10            | 50  |
| 11-15           | 40  |
| >15             | 35  |

##### *Waterzuivering*

Voor het verwerken van waterstromen zoals percolaatstromen of waterstromen van het reinigen van apparatuur, wordt voor de ingrepen als ruimtebeslag, energiegebruik, chemicaliëngebruik, etc. gewerkt met een speciaal daartoe ontwikkelde proceskaart in SimaPro. In deze proceskaart zijn dergelijke ingrepen per kuub water opgenomen op basis van de gemiddelde cijfers van een reeks RWZI's. Aangezien de resulterende lozing naar het water te sterk afhangt van de karakteristieken van de afvalstroom om ook hiervoor standaardwaarden te hanteren wordt deze aanpak dus uitsluitend gehanteerd gedaan voor ingrepen als energiegebruik, ruimtebeslag en dergelijke. Voor de uit-

eindelijk resterende lozingen is dus wel een relatie gelegd met de samenstelling van de vrijkomende waterstroom (en is dus geen standaard ingreep pakket gehanteerd) en zijn de in tabel 4.2 gehanteerde zuiveringsrendementen gebruikt.

**Tabel 4.2; Zuiveringsrendementen<sup>1</sup> voor resulterende waterstromen**

| KENMERK                      | WAARDE |
|------------------------------|--------|
| Zuiveringsrendement CZV      | 90%    |
| Zuiveringsrendement BZV      | 97%    |
| Zuiveringsrendement Kj-N     | 89%    |
| Zuiveringsrendement totaal-N | 66%    |
| Zuiveringsrendement totaal-P | 77%    |
| As                           | 80%    |
| Ba                           | 75%    |
| Cd                           | 72%    |
| Co                           | 75%    |
| Cr                           | 89%    |
| Cu                           | 92%    |
| Hg                           | 91%    |
| Mo                           | 75%    |
| Ni                           | 46%    |
| Pb                           | 91%    |
| Sb                           | 75%    |
| Se                           | 75%    |
| Sn                           | 75%    |
| V                            | 75%    |
| W                            | -      |
| Zn                           | 75%    |

<sup>1</sup> Bron: (Zuiveringsschap Limburg, 1998) en eigen aannames voor Ba, Co, Mo, Sb, Se, Sn en V

## 5 STORTEN

### 5.1 Procesbeschrijving

#### A. Transport shredderafval

Het shredderafval wordt per vrachtwagen-aanhanger-combinatie vervoerd naar de verwerkingsinrichting.

#### B. Beschrijving representatieve stort

Het shredderafval wordt los (= onverpakt) gestort in een stort voor niet-gevaarlijk afval. Gezien de praktijk bij ARN en gezien de opmerking in (Ovem-RLB, 2000) dat onder andere shredderafval wordt gebruikt voor afsluiting van de stort na elke werkdag wordt shredderafval in praktijk als niet-gevaarlijk afval gestort.

De meeste bestaande stortplaatsen bestaan uit één compartiment, zodat ook in deze studie is uitgegaan van deze situatie. De exploitatieduur bedraagt 10 - 20 jaar (AOO, 1991; Ovem-RLB, 2000). Gestort afval wordt na gemiddeld 2 jaar afgedekt met een tijdelijke en lokale afdeklaag van 25 cm tot 100 cm klei of gerijpte baggerspecie (TNO-MEP, 1995; Afvalzorg, 2001; Van der Wiel, 2001; CE, 1996). De gemiddelde eindhoogte van het afval in de stort bedraagt circa 15 meter (AOO, 1991; Ovem-RLB, 2000). De tijdelijke afdeklaag is niet gasdicht, zodat een deel van het in de stort gevormde stortgas ontsnapt.

Na exploitatie en na zetting van het afval in de stort wordt een eindafdichting aangebracht. De eindafdekking is (vrijwel) gasdicht. Het zetten van het afval is in feite inklinking door druk van het afvalpakket en door biologische omzetting van organisch materiaal. Er wordt gemiddeld 5 jaar gewacht na beëindiging van de exploitatie met aanbrengen van de eindafdekking (TNO-MEP 1995; Afvalzorg, 2001; van der Wiel, 2001). Te vroeg aanbrengen van de eindafdekking verhoogt de kans op beschadiging van de eindafdichting door verzakking van de ondergrond.

Enkele nieuwere stortplaatsen en in voorbereiding zijnde stortplaatsen zijn opgebouwd uit meerdere compartimenten, die ieder binnen enkele jaren gevuld zijn (van der Wiel, 2001). Door de kortere exploitatietijd van de afzonderlijke compartimenten kan het afval eerder worden afgedekt met een eindafdekking, zodat minder stortgas ontsnapt.

#### C. Stortgaswinning

Door omzetting van afbreekbaar organisch materiaal gevormd stortgas ontsnapt in de eerste twee jaar volledig naar de atmosfeer. Na opbrengen van de tijdelijke bovenafdichting wordt circa 50% gewonnen en deels nuttig toegepast, deels afgefakkeld. Nuttige toepassing vindt meestal plaats door toepassing in gasmotoren. De overige 50% van het gevormde gas wordt deels (10% van niet gewonnen gas) geoxideerd in de tijdelijke afdichting en ontsnapt verder naar de atmosfeer. Na aanbrengen van de definitieve bovenafdichting ontsnapt vrijwel geen gas meer. Het gevormde gas wordt volledig gewonnen en deels nuttig toegepast, deels afgefakkeld (zie verder bijlage 2).

#### D. Percolaatbehandeling

Percolaat wordt onderin de stort verzameld middels een systeem van geperforeerde buizen en in de praktijk of direct op het riool geloosd of gezuiverd en daarna in de meeste gevallen alsnog op het riool geloosd (Ovem-RLB, 2000; van der Wiel, 2001). De eigen reiniging bestaat meestal uit een biologische, anaërobe zuivering, gedimensioneerd op de verwijdering van stikstof. Het slib wordt in de regel op de eigen stort gebracht.

De aanwezigheid en opbouw van de zuivering hangt af van de lokale capaciteit van de regionale RWZI, van de beschikbaarheid van ontvangend oppervlaktewater en van de aard en kwaliteit van het ontvangende water. Daarnaast zijn ook de omvang van de percolaatstroom en de grootte van de stort van belang. In de praktijk wordt het meeste afval gestort op grotere stortplaatsen met een eigen reiniging, waarna het gereinigde water op riool wordt geloosd. Gelet op de uniformiteit in het MER-LAP is hier uitgegaan van één zuiveringsstap.

## 5.2 Massabalans

Er wordt circa 27 kg stortgas geproduceerd, terwijl daarnaast circa 585 kg of 0,585 m<sup>3</sup> percolaat per ton gestort afval vrijkomt. De vrijkomende hoeveelheid stortgas is geschat op basis van de aanname dat 60% van het hout en papier in shredderafval wordt omgezet. Dat 60% van het potentieel afbreekbare materiaal daadwerkelijk wordt omgezet is een ervaringsfeit voor Nederlandse stortplaatsen. Er is in de studie aangenomen dat het textiel in shredderafval vooral bestaat uit synthetische vezels, gezien de herkomst van het shredderafval (er wordt weinig wol of katoen gebruikt in auto-interieurs). De overige componenten (kunststoffen, rubber, anorganisch materiaal) worden in het geheel niet omgezet. Voor de berekening van de geproduceerde hoeveelheid stortgas wordt verder verwezen naar bijlage 2.

De vrijkomende hoeveelheid percolaat is berekend uitgaande van een jaarlijkse infiltratie van 300 mm aan neerslag en een blootstellingsduur van gemiddeld 13 jaar (periode met tijdelijke of zonder afdekking). Er is in tegenstelling tot in andere achtergronddocumenten bij het LAP uitgegaan van een periode van 13 jaar i.p.v. 15 jaar om consistent te blijven met de uitgangspunten voor de stortgasberekening. Het voor de berekening benodigde ruimtebeslag wordt in de volgende paragraaf besproken.

## 5.3 Ruimtebeslag

Voor het storten van 1 ton shredderafval is uitgegaan van een bulkdichtheid in de stort van circa 1.000 kg/m<sup>3</sup>, de gemiddelde bulkdichtheid van afval in een stort (AOO, 1991). De bulkdichtheid van los gestort shredderafval is circa 500 kg/m<sup>3</sup>, maar het afval wordt in de stort door de machines en door het bovenliggende afval gecompriemd. Er is bij het berekenen aangenomen dat het afval in de stort een hoogte van 15 meter heeft, exclusief onder- en bovenafdichtingen. Het resulterende ruimtebeslag 7,67 m<sup>2</sup>\*jaar per ton shredderafval.

## 5.4 Transport

Er zijn in Nederland ruim 20 stortplaatsen (AOO/VVAV, 2000) zodat, conform de in hoofdstuk 4 gegeven uitgangspunten voor transportafstanden voor transport van shredderafval naar de stort uitgegaan is van een afstand van 35 km.

## **5.5 Energie**

### 5.5.1 Stortgas

Door inzet van een (beperkt) deel van het uit shredderafval geproduceerde stortgas wordt 8 MJe/ton shredderafval geproduceerd. Er is uitgegaan van een elektrisch rendement van 32% (VVAV, 1997). De berekening van de geproduceerde hoeveelheid elektriciteit is gegeven in bijlage 2.

Afzuigen van stortgas en reiniging van het percolaat vergen respectievelijk 1,1 en 0,4 MJe/ton shredderafval. De berekening van het verbruik van de stortgasventilator is gegeven in bijlage 2. De schatting van het verbruik voor percolatuivering is berekend uitgaande van informatie van een anaërobe zuiveringsinstallatie, gedimensioneerd op stikstofverwijdering van Delta, een Zeeuws waterschap (Delta, 2001). Het specifieke elektriciteitsverbruik van deze installatie bedraagt 0,5 kWh/m<sup>3</sup> afvalwater.

De netto elektriciteitsproductie bedraagt 6,5 MJe/ton shredderafval.

### 5.5.2 Storten

In het kader van deze LCA wordt aangenomen dat het storten van 1 ton materiaal 60 MJ aan energie kost. Dit is gerelateerd aan het diesilverbruik van het in te zetten materieel. Dit betekent dat voor de verwerking van 1 ton shredderafval eveneens 60 MJ aan energie nodig is.

## **5.6 Bedrijfsmiddelen**

Bij storten worden geen bedrijfsmiddelen gebruikt in de exploitatiefase. De voor onderafdichting en bovenafdichting gebruikte zand, bentoniet en HDPE-folie zijn conform de gehanteerde afbakening onderdeel van de installatie en worden niet meegenomen.

## **5.7 Emissies**

### 5.7.1 Emissies van stortgas

De emissies die gepaard gaan met de vorming en benutting van stortgas uit shredderafval worden in tabel 5.1 gegeven (details van berekeningen in bijlage 2). Er is rekening gehouden met oxidatie van 10% van het niet afgezogen stortgas in de tijdelijke afdekking, conform de berekeningsmethode voor de nationale CH<sub>4</sub>-emissie.

**Tabel 5.1; Totale emissies van stortgas na benutting/verwijdering (in kg/ton shredderafval)**

|                                 | ontsnapt | gasmotor | fakkelt  | som      |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| CH <sub>4</sub>                 | 0,45     | 0,01     |          | 0,46     |
| NMVOG                           | 4,70E-04 |          |          | 4,70E-04 |
| Benzeen                         | 4,70E-06 |          |          | 4,70E-06 |
| Tolueen                         | 8,06E-05 |          |          | 8,06E-05 |
| CFK-11                          | 1,26E-04 |          |          | 1,26E-04 |
| CFK-12                          | 4,21E-05 |          |          | 4,21E-05 |
| C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> | 3,24E-05 |          |          | 3,24E-05 |
| C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>  | 3,24E-05 |          |          | 3,24E-05 |
| H <sub>2</sub> S                | 7,39E-05 |          |          | 7,39E-05 |
| HCl                             |          | 1,89E-04 | 2,48E-03 | 2,67E-03 |
| HF                              |          | 3,36E-05 | 4,41E-04 | 4,75E-04 |
| SO <sub>2</sub>                 | 1,29E-04 | 2,79E-04 | 3,66E-03 | 4,07E-03 |
| NO <sub>x</sub>                 |          | 2,99E-03 | 8,19E-03 | 1,12E-02 |
| N <sub>2</sub> O                |          | 1,99E-04 |          | 1,99E-04 |
| CO                              |          | 4,98E-03 | 3,27E-03 | 8,26E-03 |
| Dioxines                        |          | 8,72E-11 | 1,15E-09 | 1,23E-09 |

### 5.7.2 Percolaat, emissies naar water en bodem

Het percolaatwater dat uit de stort komt bestaat uit in de stort geïnfiltreerd neerslag, 585 liter/ton shredderafval. Neerslag die in het stort infiltreert zal op zijn weg door het stort verontreinigen opnemen, waaronder verontreinigen uit het shredderafval. Omdat er geen analysesresultaten aangetroffen zijn van uitloogproeven met shredderafval, wordt ervan uitgegaan dat shredderafval in de stort zich gedraagt als huisvuil. Voor de belasting van het percolaat door shredderafval is een door TNO-MEP voor huisvuil opgesteld 'model' gehanteerd (TNO-MEP, 2001). In dit MER is ervan uitgegaan dat van het percolaat 99,8% wordt opgevangen en 0,2% weglekt via de onderafdichting. Zoals eerder aangegeven is vanwege de continuïteit uitgegaan één reinigingsstap voor het afgevangen percolaat. De reinigingsefficiëncy's van die stap zijn gegeven in tabel 5.2.

Daarnaast is vanwege de aanwezigheid in shredderafval van afbreekbaar organisch materiaal rekening gehouden met de emissie van COD, stikstofverbindingen en fenolen. Voor de berekening is uitgegaan van een vaste concentratie van 12 g/l aan COD, 0,92 g/l stikstof en 50 µg/l aan fenolen.

**Tabel 5.2; Samenstelling percolaat vóór en na percolaat zuivering en emissies naar bodem**

| Component                        | Samenstelling afval gram/ton | naar percolaat |          | concentratie g/l | reinigingsrendement percolaat zuivering | naar RWZI gram/ton | naar bodem gram/ton   |
|----------------------------------|------------------------------|----------------|----------|------------------|---|--------------------|-----------------------|
|                                  |                              | percentage     | gram/ton |                  |   |                    |                       |
| As                               | 7                            | 0,20%          | 0,01     | 2,24E-05         | 80%                                     | 2,62E-03           | 2,19 <sup>E</sup> -05 |
| Ba                               |                              |                |          |                  | 75%                                     |                    |                       |
| Br                               | 1.558                        |                |          |                  |   |                    |                       |
| Cd                               | 42                           | 0,10%          | 0,04     | 7,15E-05         | 72%                                     | 1,17E-02           | 6,97 <sup>E</sup> -05 |
| Co                               | 26                           |                |          |                  | 75%                                     |                    |                       |
| Cr                               | 703                          | 0,03%          | 0,21     | 3,61E-04         | 89%                                     | 2,32E-02           | 3,52 <sup>E</sup> -04 |
| Cu                               | 27.550                       | 0,001%         | 0,28     | 4,71E-04         | 92%                                     | 2,20E-02           | 4,59 <sup>E</sup> -04 |
| Hg                               | 1                            | 0,06%          | 0,0005   | 7,99E-07         | 91%                                     | 4,20E-05           | 7,79 <sup>E</sup> -07 |
| Mn                               |                              |                |          |                  |   |                    |                       |
| Mo                               | 43                           |                |          |                  | 75%                                     |                    |                       |
| Ni                               | 513                          |                |          |                  | 46%                                     |                    |                       |
| Pb                               | 1.805                        | 0,02%          | 0,36     | 6,17E-04         | 91%                                     | 0,03               | 6,02 <sup>E</sup> -04 |
| Sb                               | 736                          |                |          |                  | 75%                                     |                    |                       |
| Se                               | 5                            |                |          |                  | 75%                                     |                    |                       |
| Sn                               | 599                          |                |          |                  | 75%                                     |                    |                       |
| V                                | 38                           |                |          |                  | 75%                                     |                    |                       |
| Zn                               | 8.075                        | 0,15%          | 12,11    | 2,07E-02         | 75%                                     | 3,0                | 2,02 <sup>E</sup> -02 |
| Cl                               | 17.670                       | 6%             | 1060,20  | 1,81E+00         |   | 1.058              | 1,8                   |
| F                                | 437                          |                |          |                  |   |                    |                       |
| SO <sub>4</sub> /SO <sub>2</sub> | 6.555                        | 0,60%          | 39,33    | 6,72E-02         |   | 39,3               | 6,56 <sup>E</sup> -02 |
| Fe                               | 64.129                       |                |          |                  |   |                    |                       |
| Al, Mg, RVS                      | 27.093                       |                |          |                  |   |                    |                       |
| overig stof                      | 279.972                      |                |          |                  |   |                    |                       |
| COD                              |                              |                | 7,02     | 1,20E+01         | 80%                                     | 1,40E+00           | 1,17 <sup>E</sup> -02 |
| Phenol                           |                              |                | 0,00     | 5,00E-05         | 80%                                     | 5,84E-06           | 4,88 <sup>E</sup> -08 |
| N-totaal                         |                              |                | 0,54     | 9,20E-01         | 80%                                     | 1,07E-01           | 8,97 <sup>E</sup> -04 |

## 6 MEESTOKEN IN AVI

### 6.1 Inleiding

In dit MER is verbranden in een AVI gekozen als één van de vier beschouwde technieken, omdat er wel eens meestookproeven zijn uitgevoerd bij ARN. Het is echter de vraag of in alle AVI's verbranden van shredderafval een reële optie is. Gezien de hoge stookwaarde en gezien het feit dat de stookwaarde van de momenteel bij AVI's aangeboden afvalmix (10 MJ/kg) al hoger is dan het ontwerp punt van veel (vooral oudere) AVI's zal het percentage shredderafval dat kan worden meegeestookt op z'n best beperkt zijn. Uit een kort telefonisch interview onder een aantal moderne AVI's blijkt dat exploitanten inderdaad niet direct zitten te springen om shredderafval vanwege eerdergenoemde hoge stookwaarde. Het is goed denkbaar dat een aantal exploitanten shredderafval niet zal accepteren. De meest waarschijnlijke afnemers zijn ARN, HVC en AVI Moerdijk. In de studie is aangenomen dat de modernere AVI's eventueel shredderafval zullen accepteren, maar dat de oudere AVI's (GeVuDo, Roteb, AVIRA, SITA Roosendaal) dat niet zullen doen.

**Tabel 6.1; Overzicht ontwerp specificaties Nederlandse AVI's (VVAV-II)**

|                | begrenzing capaciteit   |                       | stookwaarde (GJ/ton) |          |             |
|----------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|----------|-------------|
|                | mechanisch<br>(ton/uur) | thermisch<br>(GJ/uur) | maximaal             | minimaal | ontwerppunt |
| ARN            | 30                      | 435                   | 16                   | 9,2      |             |
| - lijn 1       |                         |                       |                      |          | 15,5        |
| - lijn 2       |                         |                       |                      |          | 13,5        |
| AVIRA          | 45                      | 378                   | 13,1                 | 6,5      |             |
| - lijn 1 en 3  |                         |                       |                      |          | 8,4         |
| - lijn 2       |                         |                       |                      |          | 9,4         |
| HVC            | 55,5                    | 555                   | 15                   | 6        | 10,0        |
| AVI Amsterdam  | 100                     | 1040                  | 12                   | 6        | 8,8         |
| AVR            | 147,5                   | 1393                  | 13,9                 | 6,7      |             |
| - lijn 1 t/m 6 |                         |                       |                      |          | 7,5         |
| - lijn 7       |                         |                       |                      |          | 9,3         |
| GEVUDO         | 30                      | 252                   | 10,3                 | 6,2      | 8,4         |
| ROTEB          | 76                      | 452                   | 12                   | 6        | 8,4         |
| GAVI           | 72                      | 648                   | 14                   | 7,6      | 14,0        |
| AVI Twente     | 36                      | 360                   | 13,5                 | 6        | 10          |
| Moerdijk       | 89                      | 875                   | 15                   | 7,1      | 11          |



De specificaties van de beschouwde AVI's zijn gegeven in 6.2.

**Tabel 6.2; Specificaties rookgasreiniging Nederlandse AVI's**

|                | DeNO <sub>x</sub> | RGR-systeem | actieve kool? | rendementen voor huisvuil |           |
|----------------|-------------------|-------------|---------------|---------------------------|-----------|
|                |                   |             |               | elektrisch                | thermisch |
| ARN*           | SCR               | droog       | ja            | 21%                       |           |
| AVIRA          | SNCR              | droog       | ja            | 18%                       | 37%       |
| HVC*           | SCR               | droog       | ja            | 20%                       |           |
| AVI Amsterdam* | SNCR              | droog       | ja            | 18%                       |           |
| AVR*           | SCR               | nat         | ja            | 20%                       | 20%       |
| GEVUDO         | SCR               | nat         | ja            | 9%                        |           |
| ROTEB          | SCR               | nat         | ja            | 14%                       |           |
| GAVI*          | SNCR              | droog       |               | 23%                       |           |
| AVI Twente*    | SCR               | droog       | ja            | 18%                       |           |
| Moerdijk*      | SCR               | nat         | ja            | 27%                       |           |
| HVR Roosendaal | SCR               | droog       | ja            |                           | 33%       |

(\*) in deze studie beschouwd

## 6.2 Procesbeschrijving

### A. Transport shredderafval

Het shredderafval wordt per vrachtwagen-aanhanger-combinatie vervoerd naar de afvalverbrandingsinrichting en vanaf het stortbordes in de bunker gestort. De afvalopslagvoorzieningen worden geventileerd en de afgezogen ventilatielucht wordt zoveel mogelijk toegepast als verbrandingslucht voor de verbrandingsoven.

### B. Opslag en mengen shredderafval

Het shredderafval wordt met behulp van de poliepkraan van de bunker gemengd met het andere afval in de bunker en wordt met de kraan vervolgens in de invoertrechter van de roosteroven gedeponeerd. Aan de onderzijde van de trechter wordt het afval in de vuurhaard geschoven.

### C. Verbranden afval

In de vuurhaard wordt het afval via de verdeeltafel op het rooster geschoven. Het rooster is horizontaal of schuin opgesteld en bestaat uit een aantal segmenten, die ten opzichte van elkaar bewegen. De bewegingen van de segmenten zorgen ervoor dat het opgebrachte afval over het rooster wordt getransporteerd en tegelijkertijd steeds om en om wordt gekeerd, waardoor een betere uitbrand wordt bereikt.

Op het rooster gebracht materiaal droogt in het eerste deel van het rooster en ontbrandt pas op het tweede of derde roostersegment. Bij ontbranding dissocieert brandbaar materiaal door de hoge temperatuur in de vuurhaard in vluchtige verbindingen en kool, waarna de vluchtige verbindingen snel en de kool langzaam door zuurstof uit de verbrandingslucht worden geoxideerd. Voor de verbranding benodigde lucht wordt door het rooster geblazen (primaire verbrandingslucht) en boven het rooster toegevoegd (secundaire lucht). De primaire lucht wordt in ondermaat toegevoegd waardoor het materiaal op het rooster feitelijk wordt vergast. Werken met onderstoichiometrische primaire lucht beperkt de vorming van NO<sub>x</sub>. Volledige verbranding van de vluchtige componenten vindt boven het rooster plaats door reactie met de secundaire verbrandingslucht.

Nog aanwezige ingekoold materiaal gloeit uit in de uitbrandzone aan het eind van het rooster. De overblijvende slak wordt in de ontslakker opgevangen en naar de opwerking getransporteerd.

#### D. Terugwinning energie in de ketel

De hete rookgassen die ontstaan bij verbranding worden door een ketel geleid om stoom te produceren. Met de stoom en een turbinegenerator wordt vervolgens elektriciteit geproduceerd.

#### E. Rookgasreiniging

Conform de in het LAP gehanteerde uitgangspunten (zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP) is uitgegaan van een afvalwatervrije rookgasreiniging bestaande uit: een elektrofilter, een sproei-droger met nageschakeld elektrofilter, een meertraps natte wasser en een doekfilter met injectie van actieve kool. Voor shredderafval wordt, gelet op het feit dat juist ARN, HVC en AVI-moerdijk de installaties zijn waar shredderafval met de grootste waarschijnlijkheid terecht kan, uitgegaan van een SCR-DeNO<sub>x</sub>-installatie.

#### F. Opwerking slakken

Voor het nuttig kunnen toepassen van de slakken worden de slakken opgewerkt en vervolgens afgevoerd naar een werk. De opwerking bestaat uit breken, zeven en afscheiding van ferro en non-ferro-schroot.

Tijdens stookproeven in 1996 uitgevoerd bij ARN B.V., waarbij 10% shredderafval werd bijgemengd, zijn monsters genomen van de bodemas. Op basis van de uitgevoerde milieuhygiënische kwaliteitscontrole in het kader van certificering van de AVI-bodemas blijkt dat bijstoken van shredderafval niet leidt tot overschrijdingen op de norm voor nuttige toepassing in ongebonden funderingen.

#### G. Behandeling ketelas en vliegas

Conform de in de LCA van het LAP gehanteerde standaard berekeningsformats (zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP) is aangenomen dat vliegas en ketelas koud worden geïmmobiliseerd en worden gestort.

#### H. Rookgasreinigingsresidu

Conform de in dit MER gehanteerde uitgangspunten (zie achtergronddocument A1) is aangenomen dat rookgasreinigingsresidu in big bags wordt afgevoerd en op een deponie wordt gestort.

### **6.3 Massabalans**

Tabel 6.3 bevat een overzicht van de hoeveelheden producten en reststoffen die ontstaan bij de verwerking van 1 ton afval in een AVI. In de tabel is ook aangegeven welke hoeveelheden reststoffen moeten worden gestort.

De in tabel 6.3 vermelde hoeveelheden producten en reststoffen zijn gebaseerd op de verdeling van elementen in de beschouwde afvalstroom, zoals standaard gehanteerd in dit MER (zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP). Hierop is één wijziging aangebracht. Aangenomen is namelijk dat ijzer en koper, aluminium, magnesium en RVS niet verdampen of in vliegas worden afgevoerd, maar uitsluitend in de slak achterblijven. Van deze elementen komt vrijwel alles in het shredderafval voor als stukjes metaal, die te zwaar zullen zijn om bij de in de vuurhaard van een AVI heersende gassnelheid als vliegas te worden afgevoerd. Zand wordt bijvoorbeeld ook niet als vliegas afgevoerd. Bovendien verdampt van deze elementen niets in de vuurhaard, zodat er geen mechanisme is waarmee deze elementen uit de vuurhaard worden verwijderd dan als onderdeel van de slak.

De massabalans voor shredderafval in een AVI is gegeven in tabel 6.3 en de voor shredderafval gehanteerde balans op componentniveau is gegeven in tabel 6.4. De resulterende vrachten naar de vaste restproducten is gegeven in tabel 6.5. Aangenomen is dat ferro-schroot met daarop zink en chroom en non-ferro-schroot met een rendement van 80% uit de bodemas worden afgescheiden.

**Tabel 6.3; Massabalans over verbranding van shredderafval in een AVI**

|                         | omvang stroom<br>(kg/ton afval) | bestemming                           | vervangen primaire<br>grondstof       |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>In:</b>              |                                 |                                      |                                       |
| Afval                   | 1.000                           |                                      |                                       |
| Verbrandingslucht       | 9.425                           |                                      |                                       |
| Suppletiewater          | 881                             |                                      |                                       |
| Actieve kool            | 2                               |                                      |                                       |
| Aardgas                 | 10                              |                                      |                                       |
| NH <sub>3</sub> (25%)   | 17                              |                                      |                                       |
| Ca(OH) <sub>2</sub>     | 16                              |                                      |                                       |
| NaOH (50%)              | 7                               |                                      |                                       |
| <b>Uit:</b>             |                                 |                                      |                                       |
| Rookgassen              | 10.893                          |                                      |                                       |
| Schroot                 | 103                             | recycling                            | ruw ijzer, non-ferro<br>halfabrikaten |
| Slak                    | 307                             | funderingsmateriaal in<br>GWW-sector | zand                                  |
| Vliegas                 | 23,4                            | stort                                |                                       |
| Rookgasreinigingsresidu | 29,5                            | stort                                |                                       |

**Tabel 6.4; Verdeling elementen bij verbranding van shredderafval in een AVI**

| Component   | Samenstelling<br>afval gram/ton | Percentage naar: |        |         |       |
|-------------|---------------------------------|------------------|--------|---------|-------|
|             |                                 | LUCHT            | SLAK   | VLIEGAS | RGRR  |
| As          | 7                               | 0,07             | 85,53  | 13,70   | 0,7   |
| Cd          | 42                              | 0,50             | 50,00  | 45,00   | 4,50  |
| Co          | 26                              | 0,07             | 85,53  | 13,70   | 0,70  |
| Cr          | 703                             | 0,07             | 85,53  | 13,70   | 0,70  |
| Cu          | 27.550                          |                  | 100,00 |         |       |
| Hg          | 1                               | 3,00             |        | 5,00    | 92,00 |
| Mo          | 43                              | 0,07             | 85,53  | 13,70   | 0,70  |
| Ni          | 513                             | 0,07             | 85,53  | 13,70   | 0,70  |
| Pb          | 1.805                           | 0,07             | 85,53  | 13,70   | 0,70  |
| Sb          | 736                             | 0,07             | 85,53  | 13,70   | 0,70  |
| Se          | 5                               | 0,07             | 85,53  | 13,70   | 0,70  |
| Sn          | 599                             | 0,07             | 85,53  | 13,70   | 0,70  |
| V           | 38                              | 0,07             | 85,53  | 13,70   | 0,70  |
| Zn          | 8.075                           | 0,07             | 85,53  | 13,70   | 0,70  |
| Cl          | 17.670                          | 0,20             | 10,00  | 20,00   | 69,80 |
| Br          | 1.558                           | 5,00             | 60,00  | 15,00   | 20    |
| F           | 437                             | 5,00             | 60,00  | 15,00   | 20,00 |
| S           | 6.555                           | 0,30             | 59,70  | 20,00   | 20    |
| Fe          | 64.129                          |                  | 100,00 |         |       |
| Al, Mg, RVS | 27.093                          |                  | 100,00 |         |       |

**Tabel 6.5; vrachten naar vaste verbrandingsproducten (g/ton shredderafval)**

|                 | <b>bodemas</b> | <b>schroot</b> | <b>vliegias</b> | <b>RGRR</b> |
|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-------------|
| As              | 5,99E+00       |                | 9,59E-01        | 4,90E-02    |
| Cd              | 2,10E+01       |                | 1,89E+01        | 1,89E+00    |
| Co              | 2,22E+01       |                | 3,56E+00        | 1,82E-01    |
| Cr              | 6,01E+02       | 4,81E+02       | 9,63E+01        | 4,92E+00    |
| Cu              | 2,76E+04       | 2,20E+04       |                 |             |
| Hg              |                |                | 5,00E-02        | 9,20E-01    |
| Mo              | 3,68E+01       |                | 5,89E+00        | 3,01E-01    |
| Ni              | 4,39E+02       | 3,51E+02       | 7,03E+01        | 3,59E+00    |
| Pb              | 1,54E+03       | 1,24E+03       | 2,47E+02        | 1,26E+01    |
| Sb              | 6,30E+02       |                | 1,01E+02        | 5,15E+00    |
| Se              | 4,28E+00       |                | 6,85E-01        | 3,50E-02    |
| Sn              | 5,12E+02       |                | 8,21E+01        | 4,19E+00    |
| V               | 3,25E+01       |                | 5,21E+00        | 2,66E-01    |
| Zn              | 6,91E+03       | 5,53E+03       | 1,11E+03        | 5,65E+01    |
| Cl              | 1,77E+03       |                | 3,53E+03        | 1,23E+04    |
| Br              | 9,35E+02       |                | 2,34E+02        | 3,12E+02    |
| F               | 2,62E+02       |                | 6,56E+01        | 8,74E+01    |
| SO <sub>4</sub> | 1,17E+04       |                | 3,93E+03        | 3,93E+03    |
| Fe              | 1,28E+04       | 5,13E+04       |                 |             |
| Al, Mg, RVS     | 5,42E+03       | 2,17E+04       |                 |             |
| Overig stof     | 2,65E+05       |                | 1,39E+04        | 7,06E+02    |

De in tabel 6.3 gegeven hoeveelheden verbrandingslucht en rookgas zijn bepaald uitgaande van een O<sub>2</sub>-concentratie van 8% in de droge rookgas. Verder is aangenomen dat de rookgassen na de gasreiniging verzadigd zijn met waterdamp en een temperatuur van 60° C hebben. Het aangehouden zuurstofgehalte is ontleend aan praktijkgegevens over het zuurstofgehalte in de rookgassen bij modernere AVI's.

#### 6.4 Ruimtebeslag

Het ruimtebeslag van de verbrandingsinstallatie van ARN B.V. met een capaciteit van circa 240.000 ton afval per jaar (waarvan 36.000 ton/jaar aan shredderafval) bedraagt circa 30.000 m<sup>2</sup>. een ruimtebeslag van 0,125 m<sup>2</sup>\*jr per ton shredderafval.

Storten van vliegias en rookgasreinigingsresidu vergen een ruimtebeslag van 0,64 m<sup>2</sup>\*jaar per ton shredderafval. Hierbij is uitgegaan van 23,4 kg vliegias en 29,5 kg rookgasreinigingsresidu en van respectievelijk 9,7 m<sup>2</sup>\*jr per ton vliegias en 14 m<sup>2</sup>\*jr per ton rookgasreinigingsresidu (zie ook achtergronddocument A1 bij MER-LAP voor deze kentallen).

#### 6.5 Transport

Tabel 6.5 geeft een overzicht van de aan verwerking met verbranding in een AVI gerelateerde transportbewegingen.

De transportafstand voor aanvoer shredderafval is gekozen conform de in dit MER gehanteerde aannames. Er is aangenomen dat meestoken bij hooguit 7 installaties plaatsvindt. Dit betekent dat wordt uitgegaan van een transportafstand van 75 km. De transportafstanden voor afvoer van restproducten of de vermeden aanvoer van uitgespaarde grondstoffen zijn overgenomen uit relevante proceskaarten die in dit MER worden gebruikt (zie ook achtergronddocument A1 bij MER-LAP).

**Tabel 6.5; Overzicht transportafstanden**

|                                 | land         |                   |                   | water        |                   |                   |
|---------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|-------------------|
|                                 | afstand (km) | hoeveelheid (ton) | resultaat (tonkm) | afstand (km) | hoeveelheid (ton) | resultaat (tonkm) |
| Aanvoer shredderafval           | 75           | 1                 | 75,00             |              |                   |                   |
| Afvoer bodemas                  | 75           | 0,31              | 23,01             |              |                   |                   |
| Afvoer schroot                  | 100          | 0,10              | 10,39             |              |                   |                   |
| Afvoer vliegias (incl. cement)  | 130          | 0,02              | 2,90              |              |                   |                   |
| Afvoer RGR                      | 50           | 0,03              | 1,60              |              |                   |                   |
| aanvoer NaOH en NH <sub>3</sub> | 75           | 0,024             | 1,8               |              |                   |                   |
| aanvoer kalk                    | 50           | 0,016             | 0,8               | 600          | 0,016             | 9,6               |
| deklaag voor RGR-stort          | 35           | 0,02              | 0,69              | 50           | 0,02              | 0,99              |
| Aanvoer vermeden zand           | 35           | -0,31             | -10,74            | 50           | -0,31             | -15,34            |

## 6.6 Energie

### 6.6.1 Het energieverbruik en -productie bij de AVI

Voor het schatten van de uit shredderafval geproduceerde hoeveelheden energiedragers is uitgegaan van de gemiddelde netto rendementen bij de AVI's die voor de verwerking van shredderafval in aanmerking komen (zie paragraaf 6.1). Het gemiddelde netto elektrisch rendement en het gemiddelde netto thermisch rendement van deze 7 AVI's bedragen respectievelijk 21% en 4,4% (CE, 2000c). Uit 1 ton shredderafval wordt 3,35 GJ<sub>e</sub> en 0,7 GJ<sub>th</sub> geproduceerd. Er is geen rekening gehouden met het feit dat bij een afvalstroom met een hoge stookwaarde, zoals shredderafval, het rendement iets hoger is (1% voor elektrisch rendement).

Van de beschouwde AVI's is qua thermische verwerkingscapaciteit 70% uitgerust met een SCR (CE, 2000c). Ter vereenvoudiging is aangenomen dat voor verwarmen van de rookgassen tot de voor de tail end SCR noodzakelijke temperatuur enkel aardgas wordt gebruikt. Dit is niet helemaal conform de praktijk. Bij AVR wordt stoom gebruikt (Haskoning, 1996).

Bij berekenen van het aardgasverbruik is aangenomen dat een temperatuursprong van 30 °C moet worden overbrugd. Er is verder aangenomen dat de specifieke warmte van CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> en N<sub>2</sub> een temperatuurafhankelijke waarde van 1 heeft en de specifieke warmte van waterdamp een temperatuurafhankelijke waarde van 2 heeft. Voor de rookgassenstelling is uitgegaan van met waterdamp verzadigd gas met een zuurstofgehalte in het droge gas van 8 vol%. Op basis van deze aannames is het aardgasgebruik op 260 MJ/ton aan aardgas.

### 6.6.2 Het energieverbruik bij de verwijdering van reststoffen

Storten van vliegias en rookgasreinigingsresidu vergt in totaal 5,3 MJ/ton shredderafval aan brandstof voor mobiele werktuigen en 0,8 MJ<sub>e</sub>/ton shredderafval. De verbruiken zijn berekend met de in dit MER gehanteerde berekeningsformats voor storten van vliegias en droog rookgasreinigingsresidu (zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP).

## 6.7 Bedrijfsmiddelen

Tabel 6.6 geeft een overzicht van de bij verbranding in een AVI verbruikte bedrijfsmiddelen. De verbruiken aan big bag, PE, zand en cement zijn berekend met behulp van berekeningsformats voor dit MER, voor storten van vliegashoudend droog rookgasreinigingsresidu en de toepassing van bodemas in ongebonden funderingen.

**Tabel 6.6 Bedrijfsmiddelenverbruik meestoken shredderafval**

| bedrijfsmiddel                    | verbruik (kg/ton shredderafval) |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Kalk als $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 13,3                            |
| NaOH (50%-opl)                    | 6,6                             |
| $\text{NH}_3$ (25%)               | 16,8                            |
| Actieve kool                      | 2,5                             |
| Big bag                           | 0,1                             |
| PE                                | 0,1                             |
| Zand                              | -282,9                          |
| Cement                            | 2,2                             |

## 6.8 Emissies

### 6.8.1 De emissies van de afvalverwerkingsinrichting

#### *Emissies naar lucht*

Tabel 6.7 geeft een overzicht van de geschatte omvang van emissies naar lucht. De emissies via de rookgassen van zware metalen,  $\text{SO}_2$  en halogenen zijn bepaald met de in tabel 6.4 gegeven verdeling van halogenen, zwavel en zware metalen. De procesgebonden emissies van de AVI zijn bepaald conform de berekeningsformat voor verbranding in een AVI (zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP).

De emissie van  $\text{CO}_2$  betreft alleen de emissie uit koolstof van langcyclische oorsprong. In de gegeven emissie is ook de extra  $\text{CO}_2$ -emissie door inzet van aardgas voor de SCR verdisconteerd.

#### *Emissies naar oppervlaktewater*

Conform de berekeningsformat voor verbranden in een AVI is uitgegaan van een afvalwatervrije rookgasreiniging, zodat geen emissies naar water optreden.

#### *Geen emissies naar bodem*

Gelet op de aanwezige bodembeschermende voorzieningen bij AVI's wordt in de LCA geen rekening gehouden met emissies naar bodem.

**Tabel 6.7; Overzicht emissies naar lucht bij het verbranden van shredderafval in een AVI (alle getallen in mg/ton shredderafval)**

|  | rookgassen AVI | verwaaien vliegias (zie paragraaf 6.8.2) | som                 |
|--|----------------|--|---------------------|
| As                                     | 4,90E-03       | 2,88E-04                                 | 4,90E-03            |
| Cd                                     | 2,10E-01       | 5,67E-03                                 | 2,10E-01            |
| Co                                     | 1,82E-02       | 1,07E-03                                 | 1,82E-02            |
| Cr                                     | 4,92E-01       | 2,89E-02                                 | 4,92E-01            |
| Hg                                     | 3,00E-02       | 1,50E-05                                 | 3,00E-02            |
| Mo                                     | 3,01E-02       | 1,77E-03                                 | 3,01E-02            |
| Ni                                     | 3,59E-01       | 2,11E-02                                 | 3,59E-01            |
| Pb                                     | 1,26E+00       | 7,42E-02                                 | 1,26E+00            |
| Sb                                     | 5,15E-01       | 3,02E-02                                 | 5,15E-01            |
| Se                                     | 3,50E-03       | 2,06E-04                                 | 3,50E-03            |
| Sn                                     | 4,19E-01       | 2,46E-02                                 | 4,19E-01            |
| V                                      | 2,66E-02       | 1,56E-03                                 | 2,66E-02            |
| Zn                                     | 5,65E+00       | 3,32E-01                                 | 5,65E+00            |
| Cl                                     | 3,53E+01       | 1,06E+00                                 | 3,53E+01            |
| Br                                     | 7,79E+01       | 7,01E-02                                 | 7,79E+01            |
| F                                      | 2,19E+01       | 1,97E-02                                 | 2,19E+01            |
| SO <sub>2</sub> / SO <sub>4</sub>      | 3,93E+01       | 1,18E+00                                 | 3,93E+01 / 1,18E+00 |
| Overig stof                            | 0,03           |  | 0,03                |
| CO <sub>2</sub>                        | 1,310          |  | 1,310               |
| NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> ) | 0,57           |  | 0,57                |
| NH <sub>3</sub>                        | 0,03           |  | 0,03                |
| CO                                     | 0,19           |  | 0,19                |
| C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>          | 0,05           |  | 0,05                |
| TCDD TEQ                               | 4,78E-10       |  | 4,77921E-10         |
| fijn stof                              | 0,057          |  | 0,057               |

### 6.8.2 De emissies bij de verwijdering van reststoffen en de nuttige toepassing van secundaire grondstoffen

#### *emissies naar de lucht*

Bij de immobilisatie van vliegias is de kans op enige verwaaiing van vliegias aanwezig. De emissies naar lucht door verwaaiing van vliegias zijn berekend op basis van de (middels de verdeling in tabel 6.4 berekende) samenstelling van de vliegias en conform de proceskaart voor verwijdering van vliegias (zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP). De resulterende emissies zijn opgenomen in tabel 6.7

#### *emissies naar bodem*

Tabel 6.8 geeft de geschatte emissies naar bodem bij storten van vliegias en bij toepassing van bodemas als zandervanger in GWW-werken. De emissies zijn berekend aan de hand van de in tabel 6.5 gegeven samenstelling van beide productstromen en conform de voor toepassing van bodemas en storten van vliegias opgestelde berekeningsformats (zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP).

**Tabel 6.8; Emissies naar bodem uit vlieggas en bodemas (alles in mg/ton shredderafval)**

|                                  | <b>uit bodemas</b> | <b>uit vlieggas</b> | <b>som</b> |
|----------------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| As                               | 2,99E+00           | 9,59E-01            | 3,95E+00   |
| Br                               | 1,05E+01           | 1,89E+01            | 2,94E+01   |
| Cd                               | 1,11E+01           | 7,12E+00            | 1,82E+01   |
| Co                               | 3,01E+02           | 9,63E+01            | 3,97E+02   |
| Cr                               | 1,38E+04           | 0,00E+00            | 1,38E+04   |
| Cu                               | 0,00E+00           | 5,00E-02            | 5,00E-02   |
| Hg                               | 9,75E+02           | 3,12E+02            | 1,29E+03   |
| Mo                               | 2,19E+02           | 7,03E+01            | 2,90E+02   |
| Ni                               | 7,72E+02           | 2,47E+02            | 1,02E+03   |
| Pb                               | 3,46E+03           | 1,01E+02            | 3,56E+03   |
| Sb                               | 2,14E+00           | 5,48E+00            | 7,62E+00   |
| Se                               | 2,56E+02           | 8,21E+01            | 3,38E+02   |
| Sn                               | 1,63E+01           | 1,56E+01            | 3,19E+01   |
| V                                | 3,45E+03           | 1,11E+03            | 4,56E+03   |
| Zn                               | 4,94E+05           | 1,13E+05            | 6,07E+05   |
| Cl                               | 4,67E+02           | 2,34E+02            | 7,01E+02   |
| F                                | 1,31E+02           | 5,90E+02            | 7,21E+02   |
| SO <sub>4</sub> /SO <sub>2</sub> | 3,93E+05           | 4,33E+04            | 4,37E+05   |
| Fe                               | 6,41E+03           |                     | 6,41E+03   |
| Al, Mg, RVS                      | 2,71E+03           |                     | 2,71E+03   |



## 7 PYROLYSE, VERGASSEN EN SMELTEN

### 7.1 Inleiding

De door Gibros PEC aangeboden Product- en EnergieCentrale (PEC) bestaat uit een combinatie van:

- pyrolyse met nageschakeld hoge temperatuur kraken van gasvormige en vluchtige pyrolyseproducten met industriële zuurstof;
- hoge temperatuur vergassing met industriële van asrijke afvalstromen (en pyrolysecokes) in een smelter.

De verschillende thermische onderdelen zijn in Duitsland op commerciële schaal in bedrijf:

- een smelter met een verwerkingscapaciteit van 10.000 ton/jaar is sinds 1990 in bedrijf in Bestwig (BRD) (CE, 1997);
- een gecombineerde pyrolyseproces en gaskraker met een verwerkingscapaciteit van 25.000 ton/jaar is sinds 1994 operationeel in Aalen (BRD) (CE, 1997).

Een PEC is opgebouwd uit meerdere lijnen met een met de installaties in Duitsland vergelijkbare verwerkingscapaciteit.

Zowel bij gaskraker als smelter wordt industriële zuurstof toegepast als oxidant. daardoor ontstaat een middelcalorisch synthese gas, dat in principe zowel als grondstof of als brandstof kan worden toegepast. Als grondstof is het in principe geschikt voor de productie van chemicaliën, die normaliter worden geproduceerd op basis van synthese gas uit aardgas, zoals waterstof, ammoniak, methanol en hogere oxo-chemicaliën. Als brandstof kan het gas worden toegepast in gasturbines, gasmotoren en voor ondervuring in ketels of andere industriële vuurhaarden.

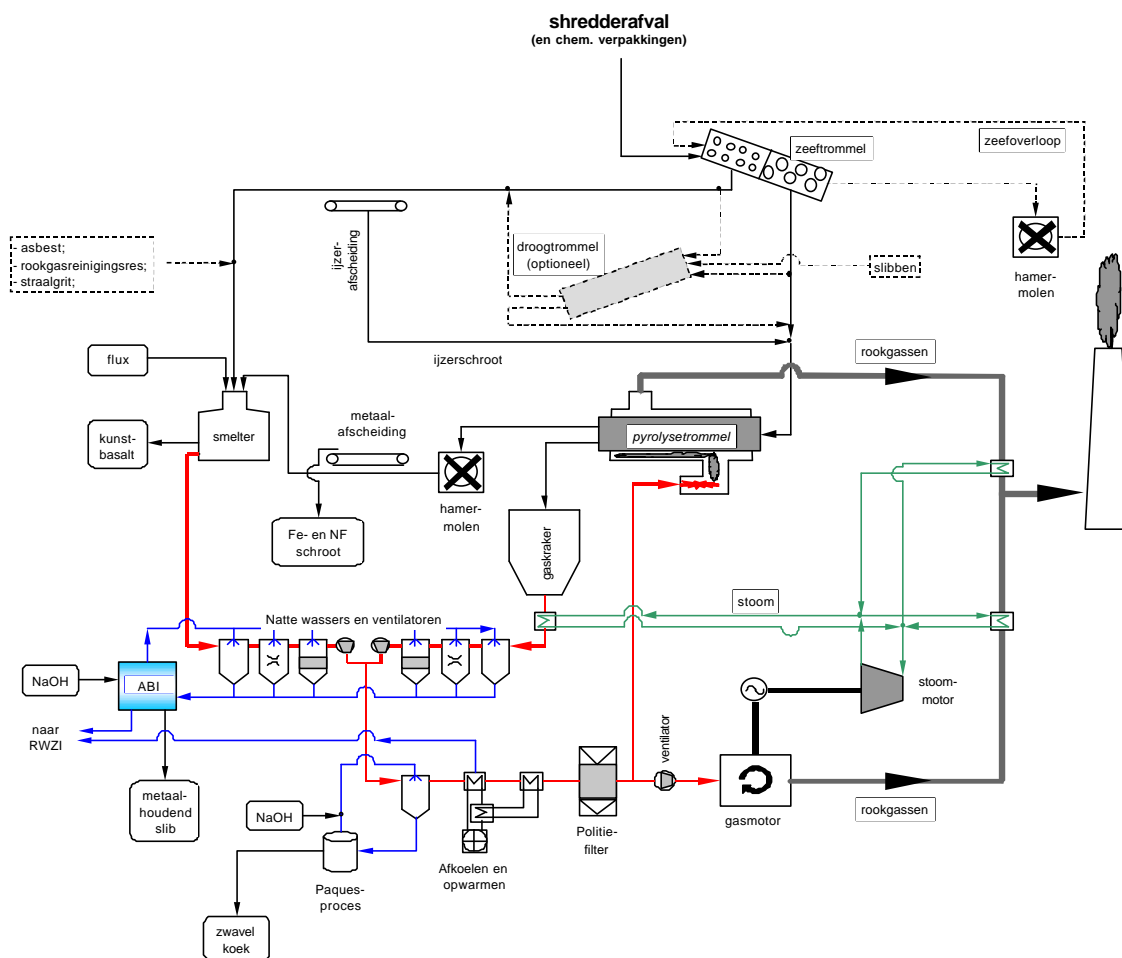
De voorbewerking omvat in ieder geval zeven en kan daarnaast ook shredderen en drogen omvatten. De totale configuratie verschilt al naar gelang de specificaties van het afval.

In Nederland zijn vergunningen aangevraagd voor 3 PEC's. Daarnaast is nog 1 installaties in voorbereiding. De uiteindelijk beoogde verwerkingscapaciteit varieert van zo'n 100 tot 140 kton/jaar per installatie. Bij alle initiatieven wordt in eerste instantie uitgegaan van toepassing van het geproduceerde synthese gas in gasmotoren.

In deze studie is conform de configuratie van de geplande installaties uitgegaan van een PEC met een verwerkingscapaciteit van 120 kton/jaar en van toepassing van het synthese gas in gasmotoren. Zuurstof wordt, conform het ontwerp van de PEC in Rotterdam, in eigen bedrijf opgewekt. Een sterk vereenvoudigd processchema van de beschouwde configuratie is gegeven in figuur 7.1.

De beschouwde configuratie is feitelijk uitgelegd op de productie van synthese gas dat kan worden toegepast als grondstof in de chemische industrie. Vooral om die reden wordt zuurstof met grote zuiverheid toegepast. Daardoor wordt synthese gas verkregen met een vrijwel verwaarloosbaar gehalte aan stikstof.

Figuur 7.1 Processchema PEC



Voor toepassingen van het synthegas als energiedrager zou een eenvoudiger, maar ook een energetisch verder geoptimaliseerde configuratie kunnen worden toegepast. De combinatie pyrolyse-gaskraker bijvoorbeeld komt oorspronkelijk van PKA uit Duitsland. PKA gebruikt voor het kraken van de vluchtige pyrolyseproducten lucht in plaats van zuurstof (OVAM, 2001). Het resulterende gas heeft een voldoende hoge stookwaarde om te kunnen worden ingezet in gasmotoren, terwijl door gebruik van lucht het eigen elektriciteitsverbruik sterk afneemt. Door (verdere terugwinning van warmte uit smeltermas en de rookgassen van de gasmotoren en pyrolysetrommel zou veel meer energie beschikbaar zijn voor bijvoorbeeld elektriciteitsproductie. Voor de smelter zou ook minder zuivere zuurstof gebruikt kunnen worden, geproduceerd met een membraan. Membraanscheiding van lucht vergt minder elektriciteit dan scheiding met een PSA.

## 7.2 Procesbeschrijving

### A. Transport

Shredderafval wordt per vrachtwagen aangevoerd bij de verwerkingsinrichting.

### B. Opslag

Shredderafval wordt tijdelijk opgeslagen op het opstel terrein op worden leeggestort in de stortbunkers die zich in de ontvangsthal bevinden. In de ontvangsthal wordt de lucht afgezogen en via een stoffilter naar buiten geleid.

### C. Voorbewerking

Het shredderafval wordt gezeefd op maaswijdte 10 mm. Drogen is niet nodig vanwege het lage vochtgehalte van het shredderafval (circa 5%). Verkleinen is niet meer nodig, want dat is al gebeurd bij de aanbieder. De zeefdoorval wordt ontijzerd en direct naar de smelter geleid.

Bij hoge concentraties aan ijzer in de voeding kan in principe ook een aparte gesmolten ijzermetaalfase ontstaan, waarin andere metalen oplossen. Omdat ijzer echter grotendeels vooraf wordt afgescheiden, is aangenomen dat dit bij de verwerking van shredderafval niet het geval zal zijn.

### D. Mengen pyrolysevoeding

Voor het krijgen van een constante kwaliteit synthesegas en een effectieve en constante warmteoverdracht in de pyrolysetrommel, is het noodzakelijk om de meeste ingangstromen van tevoren te mengen. Hiervoor worden ingangstromen die voldoen aan de voedingscriteria van de pyrolysetrommel samengebracht in de voedingsbunker.

De flux wordt gekozen met het oog op de gewenste smelteigenschappen van de smelt en het daaruit gevormde "kunstbasalt". Geprobeerd wordt een smelt te verkrijgen met een samenstelling zoals gegeven in de MER voor North Refinery:  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{CaO} \approx 6 : 1 : 1,5$ , waarbij de aard en de toegevoegde hoeveelheid flux wordt bepaald door de chemische samenstelling van de as in het afval. Bij gebrek aan gegevens over de as is in deze studie echter steeds uitgegaan van het gebruik van zand.

### E. Pyrolyse

De zeefoverloop wordt gepyrolyseerd bij een temperatuur van 500 °C. Bij deze temperatuur wordt het brandbare deel van de invoer voor 80 à 90% omgezet in gas en voor de rest in kool (cokes). De niet organische bestanddelen, mineralen en metalen, vormen samen met het kool het pyrolyseresidu. Het gevormde pyrolysegas bestaat uit een breed scala laag- tot hoogkokende organische verbindingen. Het gas wordt door een opening aan het eind van de vergasser gevoerd. Voor ondervuuring van de pyrolysetrommel wordt schoon synthesegas toegepast.

### F. Vergassing vluchtige pyrolyseproducten

Gasvormige en vluchtige pyrolyseproducten worden in een nageschakelde gaskraker bij 1.250 °C onder toevoeging van industriële zuurstof vergast. De zuurstof is in eigen beheer geproduceerd met een PSA (Pressure Swing Absorbtion, een moleculaire zeef met wisselende druk).

#### G. Opwerking pyrolyseresidu

De cokes wordt afgekoeld, waarna de afgekoelde cokes wordt gebroken en ontdaan van ijzer schroot en non-ferro-schroot. Door pyrolyse van aanhangend organisch materiaal, zoals verf, heeft het ferro- en non-ferro-schroot een hoge kwaliteit. Het schroot wordt afgezet bij de handel.

#### H. Vergassing pyrolysecokes en zeefdoorval

De cokes en de zeefdoorval worden met een kleine hoeveelheid flux en met slib van de waterzuivering bij 1.450 °C onder toevoeging van zuurstof vergast in de smelter. As, slib en flux vormen een laag visceuze smelt, die bij afkoelen een kristallijne structuur aanneemt. Het gevormde 'kunstbasalt' voldoet aan de eisen voor secundaire brouwstoffen van kwaliteitsklasse 1. De goede mechanische eigenschappen maken toepassing als funderingsmateriaal of als grindvervanger in beton mogelijk. In beide gevallen moet het materiaal worden gebroken. In deze studie is uitgegaan van toepassing als funderingsmateriaal. Daarbij vervangt het materiaal zand. Transport naar het (grond)werk vindt plaats in afzetcontainers.

#### I. Afkoelen en wassen synthese gas

Synthesegas uit de gaskraker wordt door waterinjectie gekoeld tot 950 °C en vervolgens in een warmtewisselaar verder gekoeld tot 300 °C. De afgestane warmte wordt benut voor de productie van verzadigde stoom van 30 bar. De stoom wordt gebruikt voor de productie van elektriciteit. Synthesegas uit de smelter wordt door waterinjectie in één keer gekoeld tot 300 °C.

Beide synthese gas deelstromen worden vervolgens in achtereenvolgens een quench, venturiwasser en een druppelvanger gereinigd. De gastemperatuur daalt daarbij tot circa 60 °C. In de wassers worden halogenen, meegevoerd stof en verdampte zware metalen (Zn, Pb, Cd, As, etc) afgescheiden.

#### J. Ontzwavelen synthese gas

Beide deelstromen worden vervolgens gecombineerd en aan een vierde wasser toegevoerd, waarin met een licht alkalische oplossing zwavelverbindingen worden uitgewassen. De oplossing met uitgewassen zwavelverbindingen wordt aan een biologisch proces (Paques proces) toegevoerd, waarin de opgeloste zwavelverbindingen worden gereduceerd tot verkoopbaar zwavel, dat onder meer geschikt is voor de productie van zwavelzuur. De zwavel wordt in bigbags naar de afnemer getransporteerd.

#### K. Laatste reiniging synthese gas, toepassing actieve kool

Het synthese gas wordt vervolgens in een condenser in direct contact met gekoeld water verder afgekoeld tot 15 °C om zoveel mogelijk water te condenseren. Het wordt daarna weer opgewarmd tot circa 40 °C, waarna het via een ventilator door een vastbed politiefilter met actieve kool en door een doekfilter wordt geleid. Daarin worden de laatste sporen vluchtige zware metalen, stof en koolwaterstoffen verwijderd. Verbruikt actieve kool wordt afgevoerd in big bags en gestort op een C<sub>2</sub>-deponie.

#### L. Toepassing synthese gas

Het gereinigde synthese gas wordt gebruikt voor ondervuring van het pyrolyseproces en voor elektriciteitsopwekking in gasmotoren. De warmte van de daarbij geproduceerde rookgassen en de warmte van de rookgassen van ondervuring van de pyrolysetrommel worden in warmtewisselaars afgekoeld. De afgestane warmte wordt benut voor de productie van verzadigde stoom van 30 bar. De geproduceerde stoom wordt in een stoommotor benut voor de productie van elektriciteit.

### M. Waterbehandeling

Spui van de natte wassers met een pH van 0,3 met natronloog wordt in een eerste zeefpers ontdaan van vaste deeltjes en wordt daarna met NaOH op een pH van 11 gebracht. De daardoor ontstane neerslag van metaalhydroxiden wordt in een tweede filterpers afgescheiden. De spui wordt tot slot op het riool geloosd.

### N. Afvoer filtraat

Het filtraat van metaalhydroxiden bestaat voornamelijk uit hydroxiden van zink en lood en bevat verder kleine hoeveelheden overige zware metalen. De fractie kan naar verwachting als ertsvervanger worden afgezet bij zinkproducerende bedrijven, zoals Budelco, Britannica Zinc en Union Minière. Transport vindt plaats in bigbags. Het lood zal bij de zinkproductie weer als reststof vrijkomen en wordt waarschijnlijk als secundaire grondstof in de loodindustrie ingezet. Inzet van het slib in de productie van zink en lood leidt tot uitsparing van de emissie van SO<sub>2</sub> uit primair erts.

## 7.3 Massabalans

Tabel 7.1 geeft de massabalans voor shredderafval. In tabel 7.2 is de verdeling van de elementen in shredderafval over de productstromen gegeven.

**Tabel 7.1; Massabalans over de PEC voor shredderafval**

|                                 | omvang stroom (kg/ton afval) | bestemming                                       |
|---------------------------------|------------------------------|--|
| <b>In:</b>                      |                              |  |
| afval                           | 1.000                        |  |
| zuurstof                        | 772                          |  |
| flux                            | 35                           |  |
| suppletiewater                  | 287                          |  |
| NaOH (50%)                      | 76                           |  |
| actieve kool                    | 0,13                         |  |
| <b>Uit:</b>                     |                              |  |
| synthesegas                     | 1.125                        | intern gebruik                                   |
| schroot                         | 97                           | recycling  |
| kunstabasalt                    | 346                          | toepassing als funderingsmateriaal in GWW-sector |
| spui, inclusief halogenen en Na | 582                          | RWZI   |
| metaalhydroxideslib             | 9                            | afzet als ertsvervanger                          |
| zwavelkoek                      | 11                           | afzet als sec. zwavelbron                        |
| actieve kool                    | 0,13                         | stort op C <sub>2</sub> -deponie                 |

Van het ijzer uit de zeefdoorval wordt circa 90% afgescheiden en bijgevoegd aan de zeefoverloop (Gibros-PEC, 2001). Van het ferro-schroot en non-ferro-schroot in de pyrolysecokes wordt naar schatting respectievelijk 99% en 95% geïsoleerd (Gibros-PEC, 2001).

**Tabel 7.2; Verdeling van elementen over productstromen voor shredderafval**

|             | schroot | slak     | actieve kool | metaalhoudend slib | zwavel koek | lucht   | spui voor RWZI |
|-------------|---------|----------|--------------|--------------------|-------------|---------|----------------|
| As          |         | 10,000%  |              | 89,964%            |             | 0,026%  | 0,010%         |
| Br          |         |          |              |                    |             | 0,004%  | 99,996%        |
| Cd          |         | 10,000%  |              | 89,972%            |             | 0,026%  | 0,002%         |
| Co          |         | 100,000% |              |                    |             |         |                |
| Cr          | 85,403% | 14,597%  |              |                    |             |         |                |
| Cu          | 40,332% | 58,475%  |              | 1,193%             |             | 0,001%  |                |
| Hg          |         |          | 19,560%      | 80,000%            |             | 0,440%  | 4,36E-15       |
| Mo          |         | 100,000% |              |                    |             |         |                |
| Ni          | 69,037% | 24,770%  |              | 6,189%             |             | 0,004%  | 1,05E-06       |
| Pb          | 66,248% | 3,375%   |              | 30,359%            |             | 0,018%  | 6,21E-09       |
| Sb          |         |          |              | 99,971%            |             | 99,971% | 1,47E-06       |
| Se          |         | 10,000%  |              | 89,974%            |             | 0,026%  |                |
| Sn          |         | 99,971%  |              |                    |             | 99,971% | 5,85E-19       |
| V           |         | 99,999%  |              |                    |             | 0,001%  |                |
| Zn          | 85,403% | 1,460%   |              | 13,130%            |             | 0,008%  | 8,76E-08       |
| Cl          |         |          |              |                    |             | 0,003%  | 99,997%        |
| F           |         |          |              |                    |             | 0,025%  | 99,975%        |
| S           |         |          |              |                    | 99,965%     | 0,035%  |                |
| Fe          | 90,024% | 9,976%   |              |                    |             |         |                |
| Al, Mg, RVS | 69,832% | 30,168%  |              |                    |             |         |                |
| overig stof |         | 99,999%  |              |                    |             | 0,001%  |                |

Overigens is de in tabel gegeven verdeling van de elementen over de productstromen specifiek voor shredderafval en betreft het de verdeling over de gehele installatie, inclusief voorbereiding. Voor al het materiaal dat niet tijdens de voorbereiding als schroot wordt afgescheiden geldt een iets aangepaste balans en voor meer informatie wordt verwezen naar bijlage 3.

Bij benadering al het brandbare materiaal wordt omgezet in synthesegas. De toegevoegde hoeveelheid zuurstof volgt uit de thermodynamische balans over gaskraker en smelter. Een deel van de gevormde waterdamp condenseert in de gasreiniging. De in het synthesegas achterblijvende hoeveelheid volgt uit de temperatuur tot waar het gas wordt afgekoeld.

Kwik, antimoon, tin, halogenen en zwavel worden voor bijna 100% en zink, lood, cadmium, seleen en arseen worden voor grofweg 90% in het ruwe synthesegas afgevoerd. De meegevoerde verontreinigingen worden vrijwel volledig (> 99%) verwijderd in de gasreiniging. Zink, lood, cadmium en kwik worden voor het grootste deel (kwik nagenoeg volledig) als hydroxideslib uit de spui van de gasreiniging afgescheiden. Zwavel wordt volgens de technologie-aanbieder vrijwel volledig (> 99%) als elementaire zwavel afgescheiden. De halogenen blijven in de spui. De overige elementen en meegesleurde as worden als filtraat afgescheiden en naar de smelter geretourneerd. Aangenomen is dat de spui op het riool wordt geloosd.

De achterblijvende as vormt met de flux een smelt. In deze studie is aangenomen dat de toegevoegde hoeveelheid flux (voor shredderafval) 10% van de gevormde hoeveelheid smelt bedraagt. Het betreft een grove schatting, in verband met onvoldoende informatie over de as-samenstelling van shredderafval.

## 7.4 Ruimtebeslag

Het oppervlak van de PEC-inrichting bedraagt circa 30.000 m<sup>2</sup>. De totale doorzet van de installatie is 247.000 ton. Het ruimtebeslag komt hiermee op 0,12 m<sup>2</sup>\*jaar per ton verwerkt afval

## 7.5 Transport

Tabel 7.3 geeft een overzicht van de aan verwerking van shredderafval in de PEC gerelateerde transporten.

**Tabel 7.3; Overzicht transporten**

|                            | land         |                   |                   | water        |                   |                   |
|----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|-------------------|
|                            | afstand (km) | hoeveelheid (ton) | resultaat (tonkm) | afstand (km) | hoeveelheid (ton) | resultaat (tonkm) |
| Aanvoer shredderafval      | 75           | 1                 | 75,00             |              |                   |                   |
| Aanvoer flux               | 35           | 0,035             | 1,23              | 50           | 0,035             | 1,75              |
| Aanvoer loog (50%)         | 75           | 0,076             | 5,7               |              |                   |                   |
| Afvoer kunstbasalt         | 35           | 0,35              | 12,25             |              |                   |                   |
| Afvoer schroot             | 100          | 0,10              | 9,68              |              |                   |                   |
| Afvoer zwavelkoek          | 75           | 0,01              | 0,75              |              |                   |                   |
| Afvoer actieve kool        | 75           | 1,27E-04          | 0,01              |              |                   |                   |
| Afvoer metaalhydroxideslib | 150          | 0,01              | 1,5               |              |                   |                   |
| Aanvoer vermeden zand      | 35           | -0,35             | -12,11            | 50           | -0,35             | -17,31            |

## 7.6 Energie

Bruto wordt per ton shredderafval in totaal circa 4,4 GJ/ton elektriciteit geproduceerd. Het eigen verbruik bedraagt circa 1 GJ/ton, zodat netto 3,4 GJ elektriciteit aan het net kan worden geleverd, een netto elektrisch rendement van bijna 21%. Het eigen verbruik bestaat voornamelijk uit de elektriciteit geconsumeerd door zuurstofproductie voor de gaskraker en smelter (circa 0,95 GJ/ton) en omvat verder verbruiken door ventilatoren en pompen en door voorbereiding en cokesopwerking.

Voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen naar bijlage 3.

## 7.7 Bedrijfsmiddelen

### *Bedrijfsmiddelenverbruik PEC-installatie*

Het verbruik aan bedrijfsmiddelen is gegeven in tabel 7.1. Het verbruik aan NaOH is rechtstreeks gerelateerd aan de uit het synthese gas afgevangen hoeveelheden zwavel en halogenen.

De geconsumeerde hoeveelheid actieve kool volgt uit de door de actieve kool afgescheiden hoeveelheid kwik en de kwikbelading van de actieve kool bij verwijdering (1.200 mg/kg; DRSB, 2001). Van het kwik uit het afval wordt circa 80% afgescheiden in de natte wassers en circa 20% in het actieve kool filter (Gibros-PEC, 2001).

De hoeveelheid flux volgt uit de gehanteerde vuistregel dat de flux 10% van de geproduceerde slak vormt.

De toegevoegde hoeveelheid suppletiewater is berekend op basis van onderstaande waterbalans. Er is voor de omvang van de spui uitgegaan van een concentratie van 1 mol halogenen per liter (Gibros-PEC, 2001).

Zuurstof wordt niet als bedrijfsmiddel toegerekend omdat het in eigen bedrijf wordt geproduceerd en de daarvoor benodigde elektriciteit in eigen bedrijf wordt opgewekt.

**Tabel 7.3a; Waterbalans voor PEC concept**

|                          |               |
|--------------------------|---------------|
| <b>a) ingevoerd</b>      |               |
| water in NaOH            | 38,0          |
| water gevormd uit NaOH   | 16,2          |
| condensaat               | 208,2         |
| <b>som</b>               | <b>262,4</b>  |
| <b>b) afgevoerd</b>      |               |
| spui                     | -540,9        |
| water in slib            | -4,3          |
| water in zwavelkoek      | -4,4          |
| <b>som</b>               | <b>-549,6</b> |
| <b>c) suppletiewater</b> | <b>287,2</b>  |

*Vermeden bedrijfsmiddelenverbruik*

Tabel 7.4 geeft een overzicht van de door secundaire producten van de PEC uitgespaarde primaire bedrijfsmiddelen en grondstoffen.

**Tabel 7.4; Overzicht uitgespaarde primaire grondstoffen**

| <b>Geproduceerde secundaire grondstof</b> | <b>Vervangen primaire grondstof</b> |
|---|-------------------------------------|
| Kunstabasalt                              | zand                                |
| Ferro-schroot                             | ruw staal                           |
| Non-ferro-schroot                         | halffabrikaat                       |
| Metaalhydroxideslib                       | zinkconcentraat                     |

Daar zwavel in de regel wordt gevormd als bijproduct bij allerlei processen (brandstofontzweving, rookgasreiniging, zinkproductie, ...) wordt er geen vermeden primair zwavel toegerekend.

## 7.8 Emissies

Bij de verwerking van shredderafval middels de PEC moet rekening worden gehouden met:

- de emissies van de PEC-installatie;
- de emissies bij de nuttige toepassing van secundaire grondstoffen.

### 7.8.1 De emissies van de PEC-installatie

Tabel 7.5 geeft de verwachte emissies naar lucht voor verwerking van shredderafval middels het PEC concept. De emissies van halogenen, zwavel, kwik en stofgebonden zware metalen zijn berekend uit de in de middelste kolom gegeven concentraties van deze verontreinigingen in schoon synthesegas en het volume aan schoon gas.



**Tabel 7.5; Verwachte totale emissies via de rookgassen**

|                  | Restvrachten, gemiddeld   |          |
|------------------|---------------------------|----------|
|                  | mg/Nm <sup>3</sup> syngas | kg/ton   |
| SO <sub>2</sub>  | 4                         | 4,59E-03 |
| HCl              | 0,5                       | 5,74E-04 |
| HF               | 0,1                       | 1,15E-04 |
| HBr              | 0,05                      | 5,74E-05 |
| Hg               | 0,003                     | 3,44E-06 |
| Stof             | 5                         | 5,74E-03 |
| As               |                           | 3,1E-06  |
| Cd               |                           | 2,0E-05  |
| Cu               |                           | 1,7E-04  |
| Ni               |                           | 1,7E-05  |
| Pb               |                           | 2,9E-04  |
| Sb               |                           | 3,9E-04  |
| Se               |                           | 2,2E-06  |
| Sn               |                           | 3,1E-04  |
| V                |                           | 4,0E-07  |
| Zn               |                           | 5,6E-04  |
| NO <sub>x</sub>  |                           | 1,2      |
| N <sub>2</sub> O |                           | 0,1      |
| CO               |                           | 2,0      |
| CO <sub>2</sub>  |                           | 1.370    |

De emissies van NO<sub>x</sub>, CO en N<sub>2</sub>O zijn berekend aan de hand van de in tabel 7.6 gegeven emissiefactoren (CE, 2000b). De emissie van CO<sub>2</sub> volgt uit het gehalte aan koolstof van fossiele oorsprong van shredderafval (zie hoofdstuk 2).

**Tabel 7.6; Berekening procesgebonden emissies voor verwerking middels PEC**

|                               | gasmotoren |        | pyrolyseproces |        | som emissies |
|-------------------------------|------------|--------|----------------|--------|--------------|
|                               | g/GJ       | kg/ton | g/GJ           | kg/ton |              |
| brandstofinzet (GJ/ton afval) | 9,9        |        | 1,0            |        |              |
| emissies                      |            |        |                |        | kg/ton       |
| NO <sub>x</sub>               | 120        | 1,2    | 16             | 0,0    | 1,2          |
| N <sub>2</sub> O              | 8          | 0,1    | 0              | 0,0    | 0,1          |
| CO                            | 200        | 2,0    | 20             | 0,0    | 2,0          |

Op basis van de tabellen 2.2 (samenstelling shredderafval), 7.2 (balans) en 4.2 (rendementen RWZI) is te bepalen welke emissies naar water in rekening gebracht moeten worden. In tabel 7.7 is dat uitgewerkt per ton shredderafval. Emissies van minder dan 0,1 mg/ton zijn verder buiten beschouwing gelaten.

**Tabel 7.7; Emissies naar water**

| comp.     | in afval (mg/ton) | naar spui (%) | stroom naar RWZI (mg/ton) | rendement RWZI | ingreep naar water (mg/ton) |
|-----------|-------------------|---------------|---------------------------|----------------|-----------------------------|
| <b>As</b> | 7000              | 0,01          | 0,7                       | 80             | 0,14                        |
| <b>Cd</b> | 42000             | 0,002         | 0,84                      | 72             | 0,24                        |
| <b>Hg</b> | 1000              | 4,36E-15      | -                         | 91             | -                           |
| <b>Ni</b> | 513000            | 1,05E-6       | -                         | 46             | -                           |
| <b>Pb</b> | 1805000           | 6,21E-9       | -                         | 91             | -                           |
| <b>Sb</b> | 736000            | 1,47E-6       | -                         | 75             | -                           |
| <b>Zn</b> | 8075000           | 8,76E-6       | 7,07                      | 75             | 1,77                        |
| <b>Cl</b> | 17760000          | 99,997        | 17754672                  | 0              | 17754672                    |
| <b>Br</b> | 1558000           | 99,996        | 1557937,7                 | 0              | 1557937,7                   |
| <b>F</b>  | 437000            | 99,975        | 436890,8                  | 0              | 436890,8                    |

### 7.8.2 Emissies bij de nuttige toepassing van secundaire grondstoffen

Voor zwavel en metaalslib wordt er vanuit gegaan dat deze gelijkwaardig zijn aan de uitgespaarde grondstoffen, zodat de milieu-ingrepen door nuttige toepassing van deze stoffen niet in de LCA-berekeningen worden meegenomen.

De emissies naar bodem bij gebruik van de geproduceerde slak als zandvervanger in funderingslagen moeten echter wel worden meegenomen.

De emissies door uitloging van kunstbasalt worden gegeven in tabel 7.8. Voor de uitloogpercentages is bij gebrek aan betrouwbare informatie over de uitloogbaarheid van kunstbasalt uitgegaan van percentages voor slak uit het Schwell-Brenn proces (AOO, 1995)<sup>2</sup>.

**Tabel 7.8; Uitloogwaarden synthetisch basalt**

|    | in slak (g/ton afval) | maximale | maximale emissie (g/ton afval) |
|----|-----------------------|----------|--------------------------------|
| As | 1                     | 0,10%    | 0,000624                       |
| Cd | 4                     | 20,00%   | 0,836                          |
| Cr | 103                   | 0,0001%  | 1,51E-04                       |
| Cu | 16.110                | 0,02%    | 3,45E+00                       |
| Mo | 43                    | 0,01%    | 2,25E-03                       |
| Ni | 127                   | 0,01%    | 1,11E-02                       |
| Pb | 61                    | 0,04%    | 2,73E-02                       |
| Se | 0                     | 0,27%    | 0,001279                       |
| Zn | 118                   | 0,10%    | 0,115681                       |

- 2 Bekend is, uit vergelijkbare basaltachtige producten van de verwerking van andere afvalstoffen, dat een smelt-proces zoals hier gebeurt ten aanzien van het beperken van uitloging zeer goede resultaten geeft. In een aantal andere achtergronddocumenten bij MER-LAP is daarom het uitlooggedrag in de normale situatie op nul gesteld en is uitsluitend in het kader van de gevoeligheidsanalyse wel uitloging meegenomen. Dat voor shredderafval een andere lijn is aangehouden blijkt de uitkomst van de LCA-vergelijking echter in het geheel niet te beïnvloeden. In een aparte berekening is namelijk gebleken dat het geheel weglaten van de uitloging voor de pyrolyse/smelt-optie op de totale milieuscore een nauwelijks waarneembare invloed heeft en al helemaal niet uitmaakt op de prestatie van de pyrolyse/smelt-optie ten opzichte van andere verwerkingsopties.

## 8 TWINREC

### 8.1 Inleiding

Het TwinRec concept is gebaseerd op een combinatie van lage temperatuur vergassing en hoge temperatuur verbranding. Het concept is in Japan ontwikkeld door EBARA en wordt in Europa aangeboden door Alstom Power (Alstom Power, 2001). Er zijn drie commerciële installaties operationeel en zeven installaties in aanbouw in Japan. Voor zover bekend zijn er geen operationele commerciële installaties in Europa. De verwerkingscapaciteit van de gerealiseerde installaties varieert van 2 tot 80 MW, verwerkte afvalstromen zijn plastic afval uit elektronicaschroot, shredderafval, RWZI-slib, ziekenhuisafval, huisvuil en RDF.

Omdat een Europese referentie installatie ontbreekt, is in deze studie gewerkt met een inschatting voor een representatieve configuratie. Voor de schaalgrootte is uitgegaan van een verwerkingscapaciteit van 100 kton/jaar. De aangehouden schaalgrootte is afgestemd op de schaalgrootte van de PEC, waarmee het proces concurreert voor in ieder geval de verwerking van hoogcalorisch afval met een hoog percentage aan metalen. verder is voor een 'eerlijke' vergelijking met de PEC aangenomen dat evenals bij de PEC alleen elektriciteit wordt geproduceerd en geen warmte wordt geleverd.

De beschouwde rookgasreinigingsconfiguratie wordt in onderstaande paragraaf nader toegelicht.

### 8.2 Beschouwde rookgasreinigingsconfiguratie

De inschatting van de systeemconfiguratie (met name opbouw rookgasreiniging) is voornamelijk gebaseerd op de opbouw van bestaande installaties van het Schwell Brenn concept. Beide concepten bestaan uit een thermische voorbewerking bij lage temperatuur en een hoge temperatuur verbranding van de niet herverwerkbare voorbewerkingsproducten, waarbij nog aanwezig anorganisch materiaal wordt ingesmolten in een glasachtige slak. De procescondities in de verbrandingsreactor of smeltkamer zijn bij beide processen vergelijkbaar. Bij beide processen wordt bijvoorbeeld een vergelijkbare temperatuur bereikt ( $\pm 1.350$  °C) bij een vergelijkbare luchtfactor (1,2 à 1,3 aan het eind van de reactor; VVAV, 1994). Ook vindt in beide concepten de verbranding plaats bij getrapte luchttoevoer (air staged). Dit alles betekent dat ook het gedrag van de chemische elementen in beide reactoren vergelijkbaar is en eenzelfde rookgasreiniging moet worden toegepast om de rookgasen tot het vereiste niveau te zuiveren. Aangezien de Duitse normen voor rookgassen van AVI's vergelijkbaar zijn met de Nederlandse normen zal een in Duitsland in de praktijk toegepaste rookgasreiniging ook voor de Nederlandse situatie afdoende zijn.

Bij het Schwell Brenn concept wordt uitgegaan van een rookgasreiniging met de volgende componenten (VVAV, 1994; Kozmiensky, 1995):

- elektrofilter voor afvang van vlieggas uit de smeltkamer;
- doekfilter voor indampen spui wassers en eventueel voor afvang van zware metalen en dioxines met actieve kool injectie voor het filter;
- twee natte wassers voor de verwijdering van met name halogenen en zwavel;
- tail end SCR DeNO<sub>x</sub> met bijbehorende warmte wisselaar (warmtewiel);
- doekenfilter of vastbed filter met actieve kool voor de verwijdering van met name vluchtige zware metalen.

De in het elektrofilter afgevangen vlieggas wordt gerecirculeerd. Het vangstrendement is bewust niet al te hoog gehouden om ophoping van vluchtige zware metalen (vooral As, Cd, Pb, Sb, Se, Zn) in de installatie te voorkomen.

In deze studie is uitgegaan van een aangepaste versie van bovenstaande rookgasreiniging. Uitgangspunten voor 'aanpassing' van de bij het Schwell Brenn concept aangeboden rookgasreiniging waren:

- reductie van bedrijfskosten;
- reductie van energieverbruiken en optimalisatie terugwinning van energie uit de rookgassen;
- een eerlijke vergelijking met de optie pyrolyse/smelten (zie hoofdstuk 7).

De in deze studie beschouwde rookgasreiniging omvat:

- een hoge temperatuur elektrofilter;
- een low dust SCR DeNO<sub>x</sub>;
- een sproeidroger met nageschakeld doekfilter met actieve kool injectie voor het filter;
- twee natte wassers voor de verwijdering van met name halogenen en zwavel.

De combinatie van een hoge temperatuur elektrofilter en een low dust SCR blijkt bij AVI's in Zwitserland de helft goedkoper dan de bij het Schwell Brenn concept aangeboden tail end schakeling met bijbehorende warmtewisselaar (Leibacher, 1995). Zowel de investeringskosten als de aan energieverbruiken gerelateerde kosten zijn lager. Er is geen inzet van aardgas nodig om de rookgassen op de voor de katalysator gewenste temperatuur te krijgen, zoals in de tail end schakeling. Ook de drukval is vanwege het ontbreken van een warmtewiel aanzienlijk lager. Door 6 of 7 katalysatorbedden achter elkaar te plaatsen zal er geen ammoniakslip zijn, waardoor er ook geen risico op afzetting van ammoniazouten op rookgasreinigingsapparatuur en ketelwanden is.

Door afscheiding van stof bij hogere temperatuur (300 °C) wordt ook voorkomen dat vluchtige zware metalen zich in de installatie ophopen. Een deel van deze metalen zal vanwege de hogere temperatuur bij het passeren van het filter nog steeds gasvormig zijn en niet worden afgevangen.

### **8.3 Procesbeschrijving**

#### A. Aanvoer shredderafval

Het shredderafval wordt per vrachtwagen-aanhanger-combinatie vervoerd naar de verwerkingsinrichting (circa 16 ton/vracht).

#### B. Opslag shredderafval

Het shredderafval wordt tijdelijk opgeslagen in een gesloten bedrijfshal voorzien van een ventilatiesysteem.

#### C. Voorbewerking

Het shredderafval ondergaat geen voorbewerking, hoewel de afmetingen van het afval niet tot stagnatie in het toevoer kanaal moeten leiden. Afmetingen tot circa 30 cm zijn toelaatbaar. Andere acceptatiecriteria worden niet gesteld.

#### D. Verwerking

Het shredderafval wordt vergast in een door lucht in beweging gehouden wervelbed bij een temperatuur tussen de 500 en 600 °C. Door de hoge specifieke thermische belasting kan de diameter van de vergassingsinstallatie beperkt blijven.

Het brandbare deel van het afval wordt vergast in de vergassingsreactor en valt daar tevens gedeeltelijk uiteen in bodemas dat via de onderkant van de reactor wordt verwijderd en het geproduceerde brandbare gas (synthesegas en zwevende kooldeeltjes) dat via de bovenkant van de reactor wordt afgevoerd naar de naverbrandingsreactor. De lage vergassingstemperatuur in het wervelbed leidt tot langzame, eenvoudig te besturen procescondities.

De bodemas wordt nabewerkt, waarbij metalen en de grovere asdelen (voornamelijk glas, stenen e.d.) worden afgescheiden ten behoeve van hergebruik.

Het geproduceerde synthesegas en de kooldeeltjes worden verbrand in de als een cycloon werkende naverbrandingsreactor bij temperaturen tussen 1350 en 1450°C. De verbranding vindt getrapt plaats, waarbij de luchtfactor varieert van circa 0,9 aan het begin van de reactor tot circa 1,2 tot 1,3 aan het eind van de reactor. Hierdoor wordt NO<sub>x</sub>-vorming beperkt.

De verbrandingswarmte wordt gebruikt om de in de kooldeeltjes aanwezige as en met synthesegas meegesleurde stofdeeltjes te smelten. De smelt wordt onderin de reactor opgevangen en in een waterbad afgeschrokken, waardoor een granulaat met een glasachtige structuur ontstaat. Aanwezige zware metalen zijn vrijwel volledig in de glasachtige matrix ingesloten en vrijwel niet beschikbaar voor uitloging.

De rookgassen uit de smeltkamer worden gemengd met extra lucht om het zuurstofgehalte te verhogen tot de voor BLA vereiste concentratie en passeren een met de smeltkamer geïntegreerde ketel, waarin de warmte van de rookgassen wordt benut voor productie van oververhitte stoom van 400 °C, 40 bar. De gehanteerde bescheiden stoomparameters zijn gekozen in verband met risico's op hoge temperatuur corrosie. De rookgassen worden in de ketel afgekoeld tot circa 180 °C, ongeveer 40 °C boven het dauwpunt van de in de rookgassen aanwezige SO<sub>3</sub>.

#### E. Rookgasreiniging

Bij een temperatuur van 300 °C wordt vliegafval afgevangen met een hoogrendements elektrofilter. Daarna wordt NO<sub>x</sub> verwijderd in een low dust SCR.

De warmte van de uit de ketel tredende rookgassen wordt in een sproeidroger benut voor drogen van slib uit de afvalwaterbehandelingsinstallatie (ABI). Daarnaast wordt circa 200 mg/Nm<sup>3</sup> aan actieve kool geïnjecteerd voor de afvang van vluchtige zware metalen. De actieve kool voorkomt ook ophoping van vluchtige metalen in de rookgasreiniging. Actieve kool en gedroogd slib worden met een hoog rendementen doekenfilter afgevangen, zodat de rookgassen na het doekenfilter vrijwel geen stof meer bevatten (< 1 mg/Nm<sup>3</sup>).

In de daaropvolgende wasser worden halogenen uitgewassen met water. Aan de wasvloeistof is actieve kool toegevoegd voor een eerste afscheiding van vluchtige zware metalen. In de tweede wasser worden SO<sub>2</sub> en nog aanwezige halogenen uitgewassen met een NaOH oplossing. In beide wassers wordt ook kwik grotendeels afgescheiden.

De rookgassen worden via een zogenaamde natte schoorsteen op de atmosfeer geloosd.

#### F. Afvalwaterbehandeling

Waswater van de eerste wasser wordt met Ca(OH)<sub>2</sub> geneutraliseerd en op een pH van 11 gebracht. Daardoor slaat behalve diverse zware metalen ook fluor neer (als CaF<sub>2</sub>). Zware metalen, afgevangen stof en CaF<sub>2</sub> worden afgefilterd en naar de sproeidroger geleid.

De voor uitwassen van SO<sub>2</sub> gebruikte NaOH oplossing wordt nabehandeld met Ca(OH)<sub>2</sub>, waarbij in de wasser gevormd Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> weer wordt omgezet in NaOH onder simultane vorming van Ca-SO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O (Dual Alkaliconcept). De gerecupereerde NaOH wordt ontdaan van nog aanwezig vast materiaal en grotendeels gerecirculeerd naar de tweede wasser. Een kleine hoeveelheid wordt naar de eerste wasser geleid om ophoping van chloor en broom te voorkomen. Gevormd gips (Ca-SO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) wordt nabehandeld om eventueel neergeslagen zware metalen te verwijderen. De wasvloeistof wordt eveneens aan de eerste wasser toegevoerd.

Aangenomen is dat de kwaliteit van het gips voldoende goed is om het te kunnen afzetten als RO-gips. Productie van afzetbaar gips uit SO<sub>2</sub> uit rookgassen vindt behalve bij poederkoolcentrales bijvoorbeeld ook plaats bij de AVI in Hamburg (Bilitewsky, 2000). Siemens biedt voor het Schwell Brenn concept eveneens de mogelijkheid van een rookgasreiniging waarin SO<sub>2</sub> wordt omgezet in afzetbaar gips.

#### G. Terugwinnen metalen

De bodemas van de vergasser bestaat uit metaalschroot en uit grovere asdelen als stenen en stukjes glas. De metalen worden afgescheiden met magneten en Eddy Current scheiding.

#### H. Nuttige toepassing secundaire grondstoffen

##### *Ferro en non-ferro metalen*

Uit de bodemas van de vergasser geïsoleerde metalen worden als schroot afgezet en herverwerkt. Aanhangende organische materialen als verf zijn tijdens vergassing verwijderd door omzetting in synthesegas. De metalen zijn bovendien niet geoxideerd of gesinterd met andere asbestanddelen, waardoor het schroot een hogere kwaliteit heeft als schroot dat uit AVI-slak wordt geïsoleerd.

##### *Granulaat uit smeltkamer*

Het granulaat is bestemd voor hergebruik als bouwstof. Tabel 8.1 geeft de resultaten van de uitloogproeven die met slakgranulaat zijn uitgevoerd op basis van de Duitse norm LAGA Z2 en TaSi, Kl.1. Tabel 8.2 geeft de resultaten van vier uitloogproeven die met slakgranulaat zijn uitgevoerd op basis van de NEN 7343 L/S=10. De analyseresultaten in deze tabellen gelden voor shredderafval, maar er is geen samenstelling opgegeven voor het shredderafval (Alstom Power, 2001).

##### *Bodemas uit de vergasser*

De bodemas uit de vergassingsinstallatie is qua uitloogbaarheid vergelijkbaar met de bodemas zoals die vrijkomt bij de afvalverbrandingsinstallaties. Dat wil zeggen dat ongeveer dezelfde percentages van de elementen in de bodemas van vergasser en van AVI's uitlogen. Als gevolg van het hoge gasdebiet in de wervelbedvergasser vindt een soort windzifting plaats van de bodemas. De fijne fractie is meegenomen in de rookgassen. Metalen zijn eveneens verwijderd. De bodemas kan als bouwstof worden ingezet.

**Tabel 8.1; Resultaten uitloogproeven in vergelijking met de Duitse norm**

| Element              | Eenheid | TwinRec<br>slak granu-<br>laat | TwinRec<br>bodemas uit<br>vergasser | Duitsland<br>hergebruik<br>(LAGA Z2) | Duitsland<br>voor storten<br>(TASi, Kl.1) |
|----------------------|---------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---|
| PH                   | -       | 9.5                            | 10.0                                | 7-13                                 | 5.5-13                                    |
| Geleidbaarheid       | mS/cm   | 0.04                           | 3.52                                | 6                                    | 10  |
| Oplosbaarheid        | gew.%   | n.a.                           | n.a.                                |                                      | 3   |
| As                   | mg/l    | <0.005                         | <0.005                              |                                      | 0.2                                       |
| Pb                   | mg/l    | 0.013                          | 0.04                                | 0.05                                 | 0.2                                       |
| Cd                   | mg/l    | <0.001                         | n.a.                                | 0.005                                | 0.05                                      |
| Cr <sub>totaal</sub> | mg/l    | <0.005                         | n.a.                                | 0.2                                  |   |
| Cu                   | mg/l    | 0.056                          | 0.02                                | 0.3                                  | 1   |
| Ni                   | mg/l    | <0.01                          | n.a.                                | 0.04                                 | 0.2                                       |
| Hg                   | mg/l    | <0.005                         | n.a.                                | 0.001                                | 0.005                                     |
| Zn                   | mg/l    | <0.05                          | <0.05                               | 0.3                                  | 2   |
| Cyanide              | mg/l    | <0.01                          | n.a.                                | 0.02                                 | 0.1                                       |
| Sulfaat              | mg CN/l | 3.6                            | n.a.                                | 600                                  |   |
| Chloride             | mg/l    | 1.2                            | n.a.                                | 250                                  |   |

**Tabel 8.2; Resultaten van uitloogproeven op slakgranulaat op basis van de NEN 7343 L/S = 10**

| Element         | Eenheid | Monster 1 | Monster 2 | Monster 3 | Monster 4 |
|-----------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| pH              | --      | 8,80      | 9,10      | 8,80      | 9,00      |
| geleidbaarheid  | mS/cm   | 0,06      | 0,06      | 0,04      | 0,05      |
| Cu              | mg/l    | 0,03      | 0,09      | 1,65      | 0,07      |
| Pb              | mg/l    | <0,02     | <0,02     | <0,02     | <0,02     |
| Zn              | mg/l    | 0,37      | <0,03     | 0,84      | <0,03     |
| Cd              | mg/l    | <0,001    | <0,001    | <0,001    | <0,001    |
| Cr              | mg/l    | 0,02      | 0,44      | 0,1       | 0,1       |
| Cl              | mg/l    | 8,1       | 10,6      | 6,96      | 5,59      |
| SO <sub>4</sub> | mg/l    | 31        | 16,4      | 28,2      | 15,6      |
| Ni              | mg/l    | <0,02     | <0,02     | 0,03      | <0,02     |
| Sb              | mg/l    | 0,074     | 0,098     | 0,037     | 0,071     |
| As              | mg/l    | <0,03     | 0,16      | <0,03     | 0,1       |
| Se              | mg/l    | <0,03     | <0,029    | <0,029    | <0,029    |
| Hg              | mg/l    | <0,01     | <0,01     | <0,01     | <0,01     |
| Co              | mg/l    | <0,02     | <0,02     | <0,02     | <0,02     |
| Sn              | mg/l    | <0,04     | <0,04     | <0,04     | <0,04     |
| Mo              | mg/l    | 0,04      | 0,1       | 0,06      | 0,1       |
| F               | mg/l    | <1        | <0,98     | <0,98     | <0,98     |
| Br              | mg/l    | <1        | <0,98     | <0,99     | <0,100    |
| V               | mg/l    | <0,05     | <0,05     | <0,05     | <0,05     |

#### I. Storten reststoffen

Sproeidroogproduct en actieve kool worden als C<sub>2</sub>-afval gestort.

## 8.4 Massabalans

Tabel 8.3 geeft een massabalans over het proces, inclusief de bijdragen van hulpstoffen. Tabel 8.4 geeft de in deze studie geschatte verdeling van de verschillende elementen in shredderafval over de productstromen van de installatie.

**Tabel 8.3; Massabalans over TwinRec proces**

|                                     | omvang stroom<br>(kg/ton afval) | bestemming          |
|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| <b>In:</b>                          |                                 |                     |
| afval                               | 1.000                           |                     |
| verbrandingslucht                   | 7.743                           |                     |
| suppletiewater                      | 667                             |                     |
| Actieve kool                        | 2                               |                     |
| NH <sub>3</sub> (25%)               | 5                               |                     |
| Ca(OH) <sub>2</sub>                 | 2                               |                     |
| NaOH (50%)                          | 35                              |                     |
| <b>Uit:</b>                         |                                 |                     |
| rookgassen                          | 8.710                           |                     |
| schroot                             | 125                             | recycling           |
| granulaat en bodemas                | 285                             | funderingsmateriaal |
| spui, inclusief halogenen, Ca en Na | 294                             | RWZI                |
| sproeidroogproduct                  | 4                               | stort               |
| gips                                | 35                              | afzet als RO-gips   |

Bij het bepalen van de afgescheiden hoeveelheid schroot is evenals bij de optie pyrolyse/smelten uitgegaan van een scheidingsrendement van 99% voor ferro-schroot en 95% voor non-ferro metalen. Zoals al eerder aangegeven is aangenomen dat metalen als Cr, Ni, Sn en Zn grotendeels als onderdeel van ferro-schroot (Cr, Zn) of non-ferro-schroot (Ni, Sn) voorkomen en met dit schroot worden afgescheiden.

De hoeveelheid bodemas is geschat op basis van informatie van de aanbieder van de techniek over de verdeling van de as over bodemas en vlieggas in de vergasser. Er is daarnaast aangenomen dat kleine hoeveelheden van vluchtige zware metalen verdampen.

De verdeling van de elementen over de productstromen van de smelter is bepaald aan de hand van gegevens over de samenstelling van de productstromen van de smelter in het Schwell Brenn concept. Die informatie is feitelijk beperkt tot informatie over granulaat en sproeidroogproduct, omdat de vlieggas steeds wordt teruggevoerd. Verder is aangenomen dat al het brandbare materiaal in de rookgassen wordt afgevoerd.



**Tabel 8.4; Geschatte verdeling elementen over productstromen TwinRec proces (alle cijfers in g/ton)**

|             | schroot | bodemas | granulaat | sproei<br>droog<br>product | spui<br>naar<br>RWZI | gips  | rookgassen |
|-------------|---------|---------|-----------|----------------------------|----------------------|-------|------------|
| As          |         |         | 2         | 5                          | 8,E-03               |       | 0,01       |
| Br          |         |         | 16        |                            | 1.535                |       | 7,71       |
| Cd          |         |         | 6         | 35                         | 3,E-03               |       | 0,36       |
| Co          |         |         | 22        | 4                          |                      |       | 0,002      |
| Cr          | 661     | 7       | 19        | 16                         | 5,E-03               |       | 0,01       |
| Cu          | 25.911  | 1.364   | 179       | 96                         | 5,E-03               |       | 0,05       |
| Hg          |         |         | 0         | 1                          | 5,E-04               |       | 0,01       |
| Mo          |         |         | 34        | 9                          |                      |       | 0,004      |
| Ni          | 482     | 5       | 22        | 4                          | 3,E-02               |       | 0,002      |
| Pb          | 1.548   | 81      | 34        | 142                        | 2,E-02               |       | 0,07       |
| Sb          |         |         | 199       | 537                        |                      |       | 0,27       |
| Se          |         |         | 1         | 3                          |                      |       | 0,03       |
| Sn          |         | 512     | 13        | 73                         |                      |       | 0,73       |
| V           |         |         | 36        | 2                          |                      |       | 0,001      |
| Zn          | 7.069   | 219     | 134       | 653                        | 7,E-04               |       | 0,33       |
| Cl          |         |         | 353       |                            | 17.299               |       | 17,32      |
| F           |         |         | 4         | 430                        | 6,E-02               |       | 2,16       |
| S           |         |         |           |                            |                      | 6.535 | 19,67      |
| Fe          | 63.488  | 641     |           |                            |                      |       |            |
| Al, Mg, RVS | 25.739  | 1.355   |           |                            |                      |       |            |
| Overige as  |         | 97.057  | 182.915   |                            |                      |       |            |

Uit de beschikbare informatie blijkt dat vluchtige zware metalen voor ongeveer 2/3 vervluchtigen, terwijl halogenen en zwavel (vrijwel) volledig in de rookgassen terecht komen. Dit laatste is conform gegevens over poederkoolcentrales, waar in de vuurhaard eveneens een temperatuur van 1.400 °C wordt bereikt.

Voor de berekening van de geconsumeerde hoeveelheden bedrijfsmiddelen wordt verwezen naar paragraaf 8.9.

### 8.5 Ruimtebeslag

Het ruimtebeslag van de afvalverwerkingsinrichting van Aomori met een totale verwerkingscapaciteit van circa 95.000 ton shredderafval per jaar bedraagt circa 5.000 m<sup>2</sup>. Dat betekent een fysiek ruimtebeslag van de verglazingsinstallatie van 0,05 m<sup>2</sup>\*jaar per ton shredderafval.

Storten van het sproeidroogproduct vergt nog eens 0,06 m<sup>2</sup>\*jaar per ton shredderafval. Het ruimtebeslag is berekend conform de gehanteerde standaardformat voor het berekenen van ruimtebeslag door het storten van rookgasreinigingsresidu (4 kg/ton en 14 m<sup>2</sup>\*jaar per ton residu; zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP).

### 8.6 Verwerkingskosten

De poortprijs bedraagt volgens de aanbieder voor een installatie met een verwerkingscapaciteit van circa 100 kton/jaar tussen de 150 en 220 Euro per ton (Alstom Power, 2001).

## 8.7 Transport

Tabel 8.5 geeft een overzicht van de aan verwerking met het TwinRec concept gerelateerde transportbewegingen.

Voor de transportafstand voor aanvoer shredderafval is aangenomen is dat er ongeveer evenveel installaties van het TwinRec concept (kunnen) worden gebouwd als er aan installaties op basis van het pyrolyse/smelten-concept in Nederland zijn gepland (4, zie hoofdstuk 7). Daarom uitgegaan van een transportafstand van shredderbedrijf naar TwinRec installatie van 75 km.

De transportafstanden voor afvoer van restproducten of de vermeden aanvoer van uitgespaarde grondstoffen zijn overgenomen uit relevante proceskaarten die in dit MER worden gebruikt (zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP).

**Tabel 8.5; Overzicht hoeveelheid en transportafstand per vracht**

|   | land    |                  |           | water   |                  |           |
|---|---------|------------------|-----------|---------|------------------|-----------|
|   | afstand | hoeveel-<br>heid | resultaat | afstand | hoeveel-<br>heid | resultaat |
|   | (km)    | (ton)            | (tonkm)   | (km)    | (ton)            | (tonkm)   |
| Aanvoer shredderafval                       | 75      | 1                | 75,00     |         |                  |           |
| Afvoer bodemas en granulaat                 | 75      | 0,28             | 21,08     |         |                  |           |
| Afvoer schroot                              | 100     | 0,13             | 12,54     |         |                  |           |
| Afvoer RO-gips                              | 100     | 0,035            | 3,51      |         |                  |           |
| Afvoer RGR                                  | 50      | 0,004            | 0,22      |         |                  |           |
| Aanvoer NaOH (50%) en NH <sub>3</sub> (25%) | 75      | 0,040            | 3         |         |                  |           |
| Aanvoer kalk                                | 50      | 0,002            | 0,1       | 600     | 0,002            | 1,2       |
| Aanvoer deklaag voor RGR-stort              | 35      | 0,003            | 0,11      | 50      | 0,003            | 0,15      |
| Aanvoer vermeden zand                       | 35      | -0,28            | -9,84     | 50      | -0,28            | -14,05    |

## 8.8 Energie

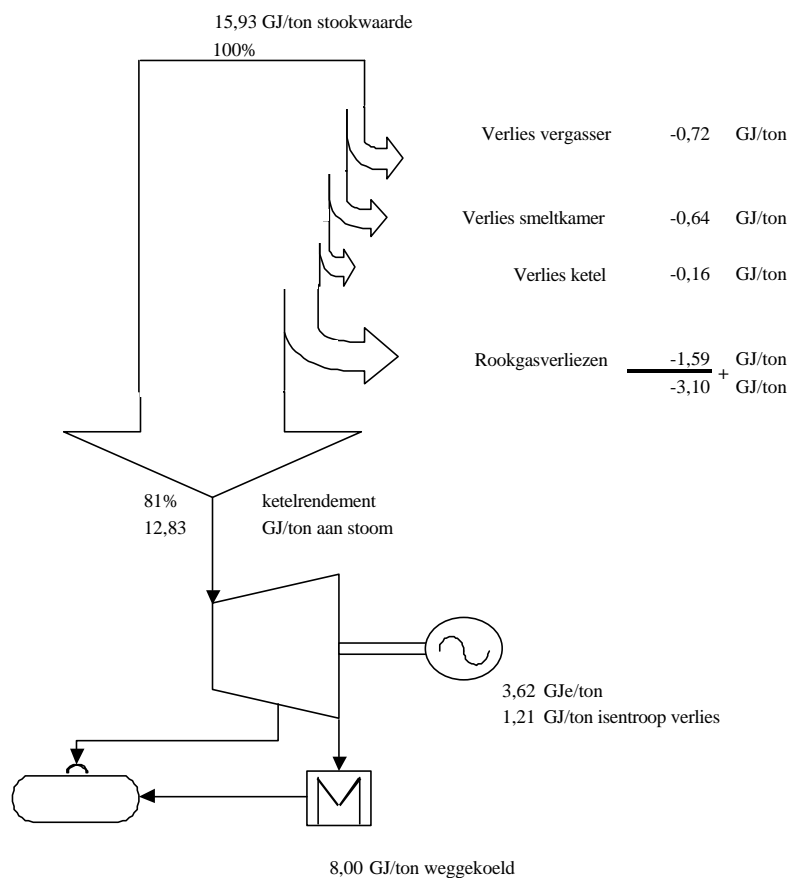
Bij storten van het sproeidroogproduct wordt 0,42 MJ aan brandstof verbruikt door mobiele werktuigen (0,004 ton \* 105 MJ/ton; zie achtergronddocument A1).

Bij verwerking middels de in deze studie beschouwde versie van het TwinRec concept wordt netto 3,16 GJ/ton shredderafval geproduceerd en aan het net geleverd. Het bruto en netto elektrisch rendement zijn geschat op respectievelijk 23% en 19%. De netto geproduceerde hoeveelheid elektriciteit is bepaald met een eenvoudig thermodynamisch model van het TwinRec proces. In onderstaande subparagrafen wordt ingegaan op de daarin gehanteerde uitgangspunten.

### 8.8.1 Bruto rendement

Bij het bepalen van het bruto rendement is rekening gehouden met warmteverliezen bij vergasser (4,5% van input), smeltkamer (4% van input) en ketel (1% van input) en met de rookgasverliezen. De verliezen over vergasser en smeltkamer hebben betrekking op warmteafvoer van vaste reststoffen, straling en geleiding en zijn door de aanbieder van het concept opgegeven.

**Figuur 8.1; Sankey-diagram van TwinRec concept**



De omvang van de rookgasverliezen is berekend op basis van een overall luchtfactor van 1,3 (Alstom Power, 2001) en een eindtemperatuur van de rookgassen bij uitreden van de ketel van 180 °C. De gekozen temperatuur is als gezegd 40 °C hoger dan het geschatte dauwpunt van SO<sub>3</sub> in de rookgassen. Het dauwpunt is geschat op basis van de aanname dat circa 2% van de zwavel in de rookgassen als SO<sub>3</sub> aanwezig is (Tobler, 1998). Voor CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> en O<sub>2</sub> is voor de soortelijke warmte steeds uitgegaan van een waarde van 1 kJ/kg·°K, voor waterdamp van een waarde van 2 kJ/kg·°K. De waarden zijn gemakshalve temperatuuronafhankelijk verondersteld (Novem, 1998).

Voor de turbine is een rendement van 75% aangehouden. De geëxpandeerde stoom wordt gekoeld met oppervlaktewater (temperatuur condensaat 35 °C). De verse stoom heeft een druk van 40 bar en een temperatuur van 400 °C, zoals in de praktijk ook voor het Schwell Brenn concept worden aangehouden (VVAV, 1994; Kozmiensky, 1995). Aftapstoom wordt bij een druk van 6 bar afgetapt. Voor de ontgasser is uitgegaan van een werkteemperatuur van 140 °C (VVAV, 1995).

### 8.8.2 Netto rendement

Tabel 8.6 geeft een overzicht van de in rekening gebrachte eigen verbruiken. De eigen verbruiken voor ventilatoren zijn berekend aan de hand van drukvallen over installatieonderdelen, zoals gegeven in KEMA of zoals opgegeven door de aanbieder. De specifieke verbruiken van rookgasreinigingsapparatuur zijn overgenomen uit KEMA. Er is uitgegaan van een L/G verhouding van 5 l/Nm<sup>3</sup> rookgas voor de zure water en van 10 l/Nm<sup>3</sup> rookgas voor de basische water.

Aangenomen is dat beide luchtventilatoren bij omgevingstemperatuur (10 °C) en de rookgasventilator bij 60 °C functioneren. Voor alle ventilatoren is uitgegaan van een rendement van 70%. Voor de ketelwatervoedingpomp is een rendement van 80% aangehouden. Het verbruik door condensaatpomp en koelwaterpomp zijn verwaarloosd.

**Tabel 8.6; Overzicht eigen verbruiken TwinRec concept**

|                                      | eigen verbruik<br>(MJ/ton afval) | V-rookgas<br>(1.000<br>Nm <sup>3</sup> /ton) | specifiek ver-<br>bruik (MJ/1000<br>Nm <sup>3</sup> rookgas) | drukval<br>(mbar) |
|--------------------------------------|----------------------------------|--|--|-------------------|
| Voedingswaterpomp                    | 244                              |  |  |                   |
| Ventilator vergasser lucht           | 70                               |  |  | 22                |
| Ventilator verbrandingslucht cycloon | 40                               |  |  | 8                 |
| Ventilator rookgas                   | 85                               |  |  | 7,8               |
| Elektrofilter                        | 33                               | 6,41   | 5,1  | 0,3               |
| Doekfilter                           | 15                               | 6,41   | 2,3  | 2                 |
| SCR                                  | 4                                | 6,41   | 0,7  | 1,5               |
| Pompen natte wassers                 | 74                               | 6,92   | 10,65  | 3                 |
| Schoorsteen, geluidsdemper, overdruk |                                  |  |  | 1                 |
| ABI                                  | 8                                |  |  |                   |
| <b>Totaal</b>                        | <b>572</b>                       |  |  |                   |
| Percentage van stookwaarde           | 3,6%                             |  |  |                   |
| Netto elektrisch rendement           | 22,8%                            |  |  |                   |
| Bruto elektrisch rendement           | 19,2%                            |  |  |                   |

## 8.9 Bedrijfsmiddelen

### 8.9.1 Bedrijfsmiddelenverbruik shredderafval verwerkingsinrichting

De verbruiken aan Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH, NH<sub>3</sub>, actieve kool en water (zie Massabalans) zijn bepaald aan de hand van de samenstelling van het afval en eerdergenoemd thermodynamisch model.

De consumptie van Ca(OH)<sub>2</sub> volgt uit de uit de rookgas afgevangen hoeveelheden Cl, F, Br en SO<sub>2</sub> (zie paragraaf 8.10). De geconsumeerde hoeveelheid NaOH is geschat als 5% van de voor de afvang van de uit de rookgassen verwijderde hoeveelheid SO<sub>2</sub> benodigde totale hoeveelheid NaOH.

De geconsumeerde hoeveelheid NH<sub>3</sub> (25% oplossing) is bepaald aan de hand van de ruwe rookgasconcentratie van NO<sub>x</sub> en de NO<sub>x</sub> concentratie na reiniging. Voor de NO<sub>x</sub> concentratie in de gereinigde rookgassen is uitgegaan van een waarde van 60 mg/Nm<sup>3</sup> (11 vol% O<sub>2</sub>), zoals in de LCA van het LAP ook wordt aangehouden voor verbranding in een AVI.

De geconsumeerde hoeveelheid actieve kool is berekend uitgaande van een specifieke consumptie van 200 mg/Nm<sup>3</sup> (11 vol% O<sub>2</sub>).

De geconsumeerde hoeveelheid water volgt uit onderstaande waterbalans.

**Tabel 8.7 Waterbalans TwinRec concept**

| Stroom                   | omvang<br>(kg/ton afval) |
|--------------------------|--------------------------|
| <b>Invoer</b>            |                          |
| - in NaOH verversing     | 1,2                      |
| - in Ca(OH) <sub>2</sub> | 16,0                     |
|                          | 17,2                     |
| <b>Afgevoerd</b>         |                          |
| - extra in rookgassen    | -411,4                   |
| - in gips                | -7,3                     |
| - als spui               | -264,9                   |
|                          | -683,6                   |
| Nodig aan suppletiewater | 666,4                    |

De omvang van de spui is evenals bij de verwerkingsoptie pyrolyse/smelten (hoofdstuk 7) berekend uitgaande van een belasting van 1 mol halogenen per liter en op basis van de afgevangen hoeveelheid halogenen (zie paragraaf 8.10). De extra hoeveelheid water die in de rookgassen is afgevoerd bestaat uit water verdampt in de wassers en water toegevoegd in de sproeidroger. De in de wassers verdampte hoeveelheid water is berekend met het eenvoudige thermodynamische model. De in de sproeidroger toegevoegde hoeveelheid water is geschat op basis van de aanname dat bij waswaterbehandeling afgescheiden slib een d.s.-gehalte van 50% heeft.

#### 8.9.2 Het bedrijfsmiddelenverbruik bij de verwijdering van reststoffen

Bij storten van sproeidroogproduct en actieve kool wordt in totaal 3,25 kg aan hulpmiddelen per ton shredderafval gebruikt; 3,22 kg zand, 0,01 kg PE-folie en 0,02 kg big bag. De geconsumeerde hoeveelheden zijn berekend conform de in de proceskaart voor droog rookgasreinigingsresidu gegeven berekeningsformat (zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP).

#### 8.9.3 Uitgespaarde primaire grondstoffen

In tabel 8.8 is aangegeven welke primaire grondstoffen worden vervangen. De omvang van de aan het vermeden bedrijfsmiddelenverbruik gerelateerde milieubelasting wordt berekend met de standaard databases in SimaPro. Aangenomen is dat in alle gevallen de primaire grondstof in de massa-verhouding 1 : 1 wordt vervangen.

**Tabel 8.8; Overzicht vervangen primaire grondstoffen**

| Geproduceerde secundaire grondstof | Vervangen primaire grondstof |
|------------------------------------|------------------------------|
| slakgranulaat                      | zand                         |
| bodemas                            | zand                         |
| ferro-schroot                      | ruw staal                    |
| non-ferro-schroot                  | halffabrikaat                |
| RO-gips                            | natuurgips                   |

Ferro-schroot wordt of omgesmolten en geraffineerd middels het elektrostaalproces of wordt als koelmiddel toegevoegd aan het oxystaalproces. De zuiverheid is vergelijkbaar met die van ruw ijzer.

Op schroot aanwezige metalen verdampen, worden in de slak gebonden of worden een legeringselement in het geraffineerde staal. Zink zal vooral verdampen, waarna het grotendeels als vliegstof wordt afgevangen. Vliegstof van Nedstaal, een met het elektrostaalproces werkend bedrijf dat vooral staal uit autowrakken omsmelt, wordt als secundaire grondstof afgezet (RIVM, 1995). Ver-

dere studie naar de verwerking van chroom in beide processen voert in het kader van dit MER te ver, en is niet in beeld gebracht.

Non-ferro-schroot wordt of ergens in het primaire productieproces toegevoegd (koper bijvoorbeeld in smelter of converter) of wordt apart omgesmolten en geraffineerd. In beide gevallen is de kwaliteit net als bij ferro-schroot vergelijkbaar met die van een halffabrikaat uit de primaire productieroute.

RO-gips zal, net als natuurgips, moeten worden gedroogd tot hemihydraat. Aangenomen is dat drogen van RO-gips en natuurgips evenveel energie koste, zodat netto geen energieverbruik en daaraan gerelateerde milieubelasting in rekening hoeft te worden gebracht.

## **8.10 Emissies**

### 8.10.1 De emissies van de shredderafval verwerkingsinrichting

#### *Emissies naar lucht*

De schatting van de omvang van emissies naar lucht is gegeven in tabel 8.9. De ruwe rookgasconcentratie is geschat op basis van de voor het Schwell Brenn concept bekende verdeling van de elementen over de verschillende productstromen. Voor CO, koolwaterstoffen en dioxines zijn meetwaarden aangehouden, die zijn vastgesteld bij diverse Schwell Brenn installaties (VVAV, 1994). De aangehouden rendementen zijn overgenomen uit (KEMA; VDI, 1998; Tobler, 1998), etc. Het rookgasvolume in normtoestand bedraagt 9,2 Nm<sup>3</sup>/kg (11 vol% O<sub>2</sub>, droog).

**Tabel 8.9 Schatting omvang van emissies naar lucht**

|  | concentraties in ruwe rookgas (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 11 vol% O <sub>2</sub> | rendement gasreiniging | restconcentraties (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 11 vol% O <sub>2</sub> | emissie (g/ton) |
|--|--|------------------------|--|-----------------|
| As                                     | 0,50   | 99,80%                 | 0,00   | 0,01            |
| Br                                     | 168  | 99,5%                  | 0,84   | 7,71            |
| Cd                                     | 4  | 99,00%                 | 0,04   | 0,36            |
| Co                                     | 0,42   | 99,95%                 | 0,000  | 0,00            |
| Cr                                     | 2  | 99,95%                 | 0,00   | 0,01            |
| Cu                                     | 10   | 99,95%                 | 0,01   | 0,05            |
| Hg                                     | 0,08   | 99,0%                  | 0,001  | 0,01            |
| Mo                                     | 1  | 99,95%                 | 0,00   | 0,00            |
| Ni                                     | 0,42   | 99,95%                 | 0,00   | 0,00            |
| Pb                                     | 15   | 99,95%                 | 0,01   | 0,07            |
| Sb                                     | 58   | 99,95%                 | 0,03   | 0,27            |
| Se                                     | 0,36   | 99,0%                  | 0,00   | 0,03            |
| Sn                                     | 8  | 99,0%                  | 0,08   | 0,73            |
| V                                      | 0,21   | 99,95%                 | 0,00   | 0,00            |
| Zn                                     | 71   | 99,95%                 | 0,04   | 0,33            |
| Cl                                     | 1.883  | 99,9%                  | 1,88   | 17,32           |
| F                                      | 47   | 99,5%                  | 0,24   | 2,16            |
| SO <sub>2</sub>                        | 1.425  | 99,7%                  | 4,27   | 39,29           |
| CO <sub>2</sub>                        |  |                        |  | 1.295.556       |
| NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> ) |  |                        | 60   | 551,7           |
| CO                                     |  |                        | 2  | 18,39           |
| C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>          |  |                        | 1  | 9,19            |
| TCDD TEQ                               |  |                        | 5,00E-09   | 4,60E-08        |

*Emissies naar oppervlaktewater*

In het beschouwde concept vindt geen directe lozing naar oppervlaktewater plaats, maar wordt een spui van de natte wassers na een bedrijfsinterne eerste reiniging aan een RWZI geleverd. Bij de voorbehandeling wordt de pH van de spui verhoogd tot 11 door toevoeging van Ca(OH)<sub>2</sub> (zie ook paragraaf 8.3). Onoplosbare zware metalen en gevormde onoplosbare zouten en hydroxiden worden afgefilterd. De naar de RWZI gevoerde vracht wordt bepaald door de oplosbaarheidsproducten van de metalen, zouten, hydroxiden en bijbehorende restconcentraties en door de omvang van de spui. De in de spui aanwezige vrachten aan verontreinigingen, de geschatte restconcentraties na de eerste zuivering en de daaruit volgende verdeling van de elementen over spui en slib zijn gegeven in onderstaande tabel.

**Tabel 8.10; Schatting omvang van de vracht naar RWZI**

|        | afgevangen in de wassers (g/ton) | restconcentraties (kg/l) | naar slib (g/ton) | naar RWZI (g/ton) |
|--------|----------------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| As     | 5                                | 2,40E-09                 | 5                 | 0,00064           |
| Br     | 1.535                            |                          |                   | 1.535             |
| Cd     | 35                               | 2,50E-09                 | 35                | 0,00066           |
| Co     | 4                                |                          | 4                 |                   |
| Cr     | 16                               |                          | 16                |                   |
| Cu     | 96                               |                          | 96                |                   |
| Hg     | 1                                |                          | 1                 |                   |
| Mo     | 9                                |                          | 9                 |                   |
| Ni     | 4                                |                          | 4                 |                   |
| Pb     | 142                              | 2,07E-11                 | 142               | 5,5E-06           |
| Sb     | 537                              |                          | 537               |                   |
| Se     | 3                                |                          | 3                 |                   |
| Sn     | 73                               |                          | 73                |                   |
| V      | 2                                |                          | 2                 |                   |
| Zn     | 653                              | 1,31E-09                 | 653               | 0,00035           |
| Cl     | 17.299                           |                          |                   | 17.299            |
| F      | 430                              | 1,05E-07                 | 430               | 0,02792           |
| Totaal |                                  |                          | 2.009             | 18.834            |

In het slib is, behalve de in de tabel genoemde 2 kg/ton shredderafval, ook circa 450 g/ton aan calcium aanwezig als onderdeel van CaF<sub>2</sub>.

*Emissies naar bodem*

Er zijn geen directe emissies naar bodem, omdat afvalverwerkingsinrichtingen worden voorzien van een goede bodembescherming.

8.10.2 De emissies bij de verwijdering van reststoffen

Conform de uitgangspunten voor het storten van rookgasreinigingsresidu (zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP) wordt voor de stort van sproeidroogproduct en actieve kool geen rekening gehouden met emissies.



### 8.10.3 Emissies bij de nuttige toepassing van secundaire grondstoffen

De berekening van de omvang van de emissies naar bodem bij gebruik van de geproduceerde bodemas en slakgranulaat als zandvervanger in funderingslagen is gegeven in tabel 8.11.

**Tabel 8.11; Berekening omvang emissies naar bodem bij toepassing bodemas en granulaat**

|             | bodemas vergasser |                          |                      | smeltgranulaat |                          |                      |
|-------------|-------------------|--------------------------|----------------------|----------------|--------------------------|----------------------|
|             | in as<br>g/ton    | percentage<br>uitgeloogd | geëmitteerd<br>g/ton | in as<br>g/ton | percentage<br>uitgeloogd | geëmitteerd<br>g/ton |
| Ag          |                   | 0,05%                    |                      |                | 0,05%                    |                      |
| As          |                   | 0,05%                    |                      | 2              | 0,05%                    | 0,001                |
| Ba          |                   | 0,05%                    |                      |                | 0,05%                    |                      |
| Br          |                   | 21,80%                   |                      | 16             | 21,80%                   | 3,49                 |
| Cd          |                   | 0,05%                    |                      | 6              | 0,05%                    | 0,003                |
| Co          |                   | 0,05%                    |                      | 22             | 0,05%                    | 0,01                 |
| Cr          | 7                 | 0,05%                    | 0,003                | 19             | 0,05%                    | 0,01                 |
| Cu          | 1.364             | 0,05%                    | 0,682                | 179            | 0,05%                    | 0,09                 |
| Hg          |                   | 0,05%                    |                      | 0              | 0,05%                    | 0,000                |
| Mn          |                   | 0,05%                    |                      |                | 0,05%                    |                      |
| Mo          |                   | 2,65%                    |                      | 34             | 2,65%                    | 0,90                 |
| Ni          | 5                 | 0,05%                    | 0,002                | 22             | 0,05%                    | 0,01                 |
| Pb          | 81                | 0,05%                    | 0,041                | 34             | 0,05%                    | 0,017                |
| Sb          |                   | 0,55%                    |                      | 199            | 0,55%                    | 1,09                 |
| Se          |                   | 0,05%                    |                      | 1              | 0,05%                    | 0,001                |
| Sn          | 26                | 0,05%                    | 0,013                | 13             | 0,05%                    | 0,007                |
| Sr          |                   | 0,05%                    |                      |                | 0,05%                    |                      |
| V           |                   | 0,05%                    |                      | 36             | 0,05%                    | 0,018                |
| W           |                   | 0,05%                    |                      |                | 0,05%                    |                      |
| Zn          | 219               | 0,05%                    | 0,109                | 134            | 0,05%                    | 0,067                |
| Cl          |                   | 27,95%                   |                      | 353            | 27,95%                   | 98,7                 |
| F           |                   | 0,05%                    |                      | 4              | 0,05%                    | 0,002                |
| S           |                   | 3,35%                    |                      |                | 3,35%                    |                      |
| Fe          | 641               | 0,05%                    | 0,321                |                | 0,05%                    |                      |
| Al, Mg, RVS | 1.355             | 0,05%                    | 0,677                |                | 0,05%                    |                      |

De gegeven samenstellingen is bepaald aan de hand van de voor het Schwell Brenn concept bekende verdeling van elementen over de verschillende productstromen. Voor de bij toepassing van bodemas uitgeloogde percentages van de verschillende elementen is uitgegaan van dezelfde waarden als voor AVI-bodemas (zie achtergronddocument A1 bij MER-LAP) aangezien de bodemas van de vergasser een met AVI-bodemas vergelijkbare kwaliteit zou hebben. Voor de uitloging van het granulaat is, bij gebrek aan betere informatie, dezelfde aanpak aangehouden.

## **BIJLAGE 1**

## **LITERATUUR**

Afvalzorg, 2001

Telefonisch verstrekte informatie van dhr. H. Scharf van Afvalzorg.

Alstom Power, 2001

Informatie ontvangen van dhr. Chr.P. Steiner van Alstom Power in Zwitserland

AOO, 1991

Technische verkenning stortten, AOO, Utrecht, september 1991.

AOO, 1995

Milieu-effect rapportage tienjarenprogramma afval 1995 – 2005 (AOO 95 - 02)

AOO, Utrecht, 1995

AOO/VVAV, 2000

Afvalverwerking in Nederland, gegevens 1999, AOO/VVAV, juli 2000.

Bilitewski, 2000

B. Bilitewski, G. Härdtle, K. Marek, Abfallwirtschaft, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2000.

CE, 1996

G.C. Bergsma, G.T. Vroonhof, H. Sas, Financiële waardering van de milieu-effecten van afvalverbrandingsinstallaties in Nederland, CE, Delft, 14 maart 1996.

CE, 1997

H. Croezen, G.C. Bergsma, De milieukundige score van verwerking van hoogcalorisch afval in de PEC, CE, Delft, 5 december 1997.

CE, 2000a

F. de Haan, J.T.W. Vroonhof, Milieuscan verwijdering autowrakken, CE, Delft, juni 2000.

CE, 2000b

H.J. Croezen, G.C. Bergsma, Update milieuscore PEC, CE, Delft, 24 augustus 2000

CE, 2000c

H.J. Croezen. G.C. Bergsma, Subcoal milieukundig beoordeeld, CE, Delft, oktober 2000.

Delta, 2001

Informatie ontvangen van dhr. P de Box van Delta

DRSH, 2001

J.H.B. te Marvelde, C.M. de Bruin, W. van der Duijn Schouten, Milieujaarveslag DRSH 2000 (Overheidsuitgave), DRSH, Dordrecht, 21 maart 2001.

ECN, 1999

Afzetdocument shredderafval, ECN oktober 1999

ECN, 1997

Verwerking shredderafval in Nederland, ECN 1997"

ETH, 1996

Ökoinventare von Entsorgungsprozessen, ETH 1996

Gibros PEC, 2001

Informatie ontvangen van dhr. R. Romijn van Gibros PEC

Haase, 2001

website [www.haase-energietechnik.de](http://www.haase-energietechnik.de)

Haskoning, 1996

F.B.J. Wetzels, A. van der Knijf, Vermindering NO<sub>x</sub>-emissies bij afvalverbranding, Haskoning, Nijmegen, oktober 1996.

Hofstetter, 2001

website [www.hofstetter.ch](http://www.hofstetter.ch)

KEMA

Analyse van het energieverbruik van rookgasreinigingssystemen bij afvalverbrandingsinstallaties, J.W.M. Verdijk, A.E. Pfeiffer, KEMA, Arnhem.

Kozniensky, 1995

Thermische Abfallverwertung, Thomé Kozmiensky (ed.), Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1995.

Leibacher, 1995

U. Leibacher, R. Walder, NO<sub>x</sub>-Elimination nach dem SCR-Verfahren in Rohgasschaltung bei der Kehrichtverbrennung, Müll und Abfall 9/95, blz 619 – 625.

Mey, 1989

R. Mey, Tracking trace elements at a coal-fired power station with a wet flue-gas desulphurisation facility, EMA Scientific and Technical Reports 7 (1989), blz. 267 – 355.

Novem, 1998

Onderzoek naar de energetische aspecten van de verwerking van zuiveringslib  
Novem EWAB, Utrecht, 1998.

Oranjewoud, 2001

Telefonisch verstrekte informatie van dhr. A. Kant van Oranjewoud

OVAM, 2001

K. Vrancken et al, Vergelijking van verwerkingsscenario's voor restfractie van HHA en niet-specifiek categorie II bedrijfsafval, OVAM, Mechelen, februari 2001.

Ovem-RLB, 2000

Het minimaliseren van methaanemissies op stortplaatsen, ovem RLB, Utrecht, september 2000.

Perrée, 2001

H. Perrée, Steggelen over afdichting stortplaatsen, Milieumagazine 10 – 2001, blz. 14 – 15.

RIVM, 1995

H.J. Bremmer, Secundaire non-ferro industrie (SPIN-publicatie), RIVM, Bilthoven, februari 1995.

TNO, 1993

Vorming van dioxinen bij verbranding van stortgas, Bartelds, TNO 1993

TNO-MEP, 1995

Landfill gas formation, recovery and emissions, J.Oonk, A. Boom, TNO-MEP, Apeldoorn, juni 1995.

TNO-MEP, 2000

A.M.M. Ansems, L. Veenstra, H.J.B. Averink, Massabalansen van twee shredderproeven en analyses van geproduceerde fracties shredderafval, TNO-MEP, Apeldoorn, maart 2000

TNO-MEP, 2001

P.G. Eggels, A.M.M. Ansems, B.L. van der Ven, CO efficiency of recovery scenarios of plastic packaging, TNO-MEP, Apeldoorn, februari 2001.

Tobler, 1998

H.P. Tobler, M. Walser, Nachrüstung der Müllverbrennungsanlage St. Gallen mit einer Entstickungsanlage, Müll und Abfall 3/98, blz. 144 - 152

VDI, 1998

Abscheidung von Schwefeloxiden, Stickstoffoxiden und Halogeniden aus Abgasen  
VDI, Düsseldorf, december 1998.

VROM, 2001

VROM website.

VVAV, 1994

Ontwikkelingen in thermische afvalverwerking; wervelbedverbranding door Kvaerner en het Schwell-Brenn proces van Siemens, R. Venendaal, H.J. Middelkamp, VVAV, Utrecht, 30 september 1994

VVAV, 1995

A.E. Pfeiffer et al, Vergelijkende studie thermische verwerking van huishoudelijk afval. Een evaluatie van vijf technieken, VVAV, Utrecht, 1 augustus 1995.

VVAV, 1997

Stortgaswinning en -benutting in Nederland, B. van Zanten, VVAV, Utrecht, september 1997

VVAV-I

Telefonisch verstrekte informatie van dhr. E. Schokke van VVAV.

VVAV-II

Informatie ontvangen van dhr. G. Timmer van VVAV.

van der Wiel, 2001

Telefonisch verstrekte informatie van dhr. J. De Wilde van Van der Wiel.

## **BIJLAGE 2**

### **VERANTWOORDING STORTGASBEREKENINGEN**

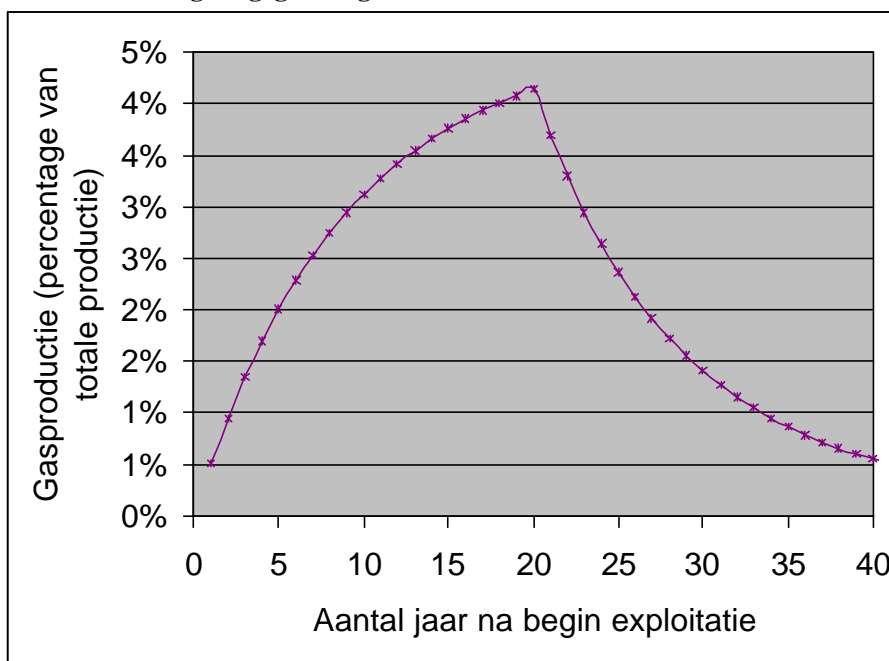
In deze bijlage worden de berekeningen voor de stort van shredderafval toegelicht. Achtereenvolgens komen aan de orde

|      |  |    |
|------|--|----|
| B2.1 | Stortgas productie en benutting algemeen | 55 |
| B2.2 | Stortgasproductie uit shredderafval      | 57 |
| B2.3 | Stortgasbenutting /-verwijdering         | 59 |
| B2.4 | Milieu-ingrepen gerelateerd aan stortgas | 60 |
| B2.6 | Elektriciteitsproductie en -consumptie   | 61 |

### B2.1 Stortgas productie en benutting algemeen

Stortgas ontstaat door omzetting van organisch materiaal met water. Het gas bestaat gemiddeld voor 55% uit methaan en voor bijna 45% uit CO<sub>2</sub> en bevat verder kleine hoeveelheden verontreinigingen als H<sub>2</sub>S, organohalogeenvormingen en onghalogeneerde hogere koolwaterstoffen. Het methaangehalte neemt in de loop der tijd af. De productie van een totale stortplaats in de tijd is weergegeven in figuur b2.1. Over het verloop van het methaanconcentratie in stortgas is geen informatie bekend.

**Figuur b2.1; Illustratie gasontwikkeling in een stort (exploitatieperiode van 15 jaar)gehalte zijn geen gegevens gevonden**



Stortgaswinning vindt tegenwoordig in de regel plaats direct na aanbrenen van de tijdelijke afdichting. Gas, dat in de eerste twee jaar na storten ontstaat, ontsnapt volledig.

Voor stortgaswinning worden vrijwel uitsluitend verticale bronnen gebruikt, die na aanbrenen van de tijdelijke afdeklaag worden geplaatst. Plaatsen na tijdelijke afdichting maakt het makkelijker om het afval tijdens het vullen van dat deel van de stort te verdichten omdat er geen bronnen 'in de weg staan' (TNO-MEP, 1995; Van der Wiel, 2001).

De verticale bronnen bestaan uit aan de onderkant geperforeerde HDPE-buizen van 16 cm diameter, die geplaatst zijn in een gat (diameter  $\pm$  70) gevuld met grind of ander grofkorrelig materiaal. Er worden gemiddeld 2 bronnen per ha aangebracht.

Het stortgas wordt met een ventilator afgezogen. De afzuiging wordt tijdens de tijdelijke afdekking zodanig afgesteld (-15 mbar tot -20 mbar; Hofstetter, 2001) dat zo weinig mogelijk lucht wordt meegezogen. Dat betekent echter ook dat niet al het gevormde stortgas wordt afgevangen. Bij schatting van methaanemissies uit stortplaatsen wordt aangenomen dat 50% van het gevormde stortgas gewonnen (TNO-MEP, 1995; RIVM, 1995). De rest migreert door de tijdelijke afdeklaag. Daarbij wordt 10% van het methaan in het stortgas geoxideerd (Ovem-RLB, 2000). Na aanbrenning van de eindafdekking ontsnapt geen gas meer.

Het afgezogen stortgas wordt deels afgefakkeld en deels nuttig toegepast. Nuttige toepassing vindt plaats zolang er voldoende gas wordt gewonnen om dit rendabel te maken. In de situatie voor 1996 was dit in de regel is dit tot 10 - 20 jaar na beëindiging van de exploitatie (in deze studie 15 jaar) (VVAV, 1997; Afvalzorg, 2001). Na het verplicht stellen van een gas- en vloeistofdichte bovenafdichting na exploitatie van de stort wordt echter in de praktijk geconstateerd dat de stortgasproductie veel sneller afneemt dan bij eindafdichting met een gas- en waterdoorlatende laag, zoals voor 1996 was toegestaan (Afvalzorg, 2001). Waarschijnlijk komt dit doordat geen hemelwater meer in het stortlichaam infiltreert, waardoor onvoldoende water beschikbaar is voor omzetting van organisch materiaal. Omdat echter nog geen model bestaat dat de nieuwe situatie goed beschrijft is in deze studie nog van het oude model uitgegaan.

Meestal (> 80% nuttig toegepaste gas) wordt het gas in gasmotoren ingezet voor de productie van elektriciteit en eventueel voor afzetbare warmte. Andere toepassingen zijn afzet als brandstof en opwerking tot aardgaskwaliteit en injectie van het product in het aardgasnet. Deze toepassingen zijn in de studie ter vereenvoudiging van de analyse buiten beschouwing gelaten.

De gasmotorinstallaties zijn in de regel modulair opgebouwd (van der Wiel, 2001). Er worden meerdere gasmotoren gebruikt, waarbij het aantal afhangt van het gasaanbod. Bij stijgend aanbod worden motoren bijgeplaatst, bij afnemend aanbod worden motoren weggehaald. Veel installaties worden beheerd en geëxploiteerd door andere bedrijven dan de exploitant van de stortplaats, zodat de gasmotoren vaak van de ene stort naar de andere worden gesleept, al naar gelang het lokale gasaanbod.

Bij inzet in gasmotoren wordt steeds geprobeerd om de gasmotoren zoveel mogelijk bij vollast te laten draaien. Dat betekent dat steeds pas een gasmotor wordt bijgeplaatst wanneer meer dan voldoende gas beschikbaar is. Het overschot wordt afgefakkeld. Gemiddeld wordt 20% van het gewonnen gas afgefakkeld en 80% nuttig toegepast (CE, 1996).

Nadat de gasproductie onvoldoende is geworden om nuttige toepassing rendabel te maken wordt het gewonnen gas gedurende meerdere jaren afgefakkeld. Dit gebeurt zo lang mogelijk, maar er is een moment waarop het aanbod onvoldoende is voor de bestaande fakkels. Wanneer dit punt bereikt is, is niet bekend omdat er in Nederland nog geen stortplaatsen zijn waar dit het geval is. In deze studie is aangenomen dat daarna kleinere, speciale fakkels of thermische of katalytische naverbranders worden geplaatst. In de eerste plaats is de technologie beschikbaar om ook hele kleine gasstromen met een laag gehalte aan methaan af te fakkelen of na te verbranden (zie bijvoorbeeld Haase, 2001 of Hofstetter, 2001). In de tweede plaats zal de vergunningverlener waarschijnlijk geen genoegen nemen met bijvoorbeeld het toepassen van een actief kool filter voor verwijdering van schadelijke verbindingen en het afblazen van het stortgas vanwege de daarin nog aanwezige methaan (Ovem-RLB, 2000).



## B2.2 Stortgasproductie uit shredderafval

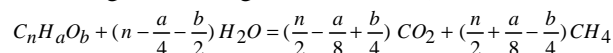
### Volume en samenstelling

In shredderafval zijn twee componenten aanwezig die in een stort zullen worden omgezet in biogas of stortgas; papier en hout/board. Er wordt ervan uitgegaan dat de textiel die in het shredderafval aanwezig is, uit kunststofvezels bestaat en dus geen bijdrage levert aan de vorming van biogas. De samenstelling van dit organische deel van shredderafval luidt

**Tabel b2.1; Chemische samenstelling afbreekbare componenten**

|                              | hout | Papier |
|------------------------------|------|--------|
| 100% shredderafval           | 3,5% | 0,4%   |
| Samenstelling afvalcomponent |      |        |
| - C                          | 48%  | 47%    |
| - H                          | 6%   | 6%     |
| - O                          | 45%  | 42%    |

Stortgas wordt geproduceerd volgens de volgende formule (TNO-MEP 2000).



Waar  $C_nH_aO_b$  de molecuulformule van het organische materiaal is. De molecuulformule van hout en papier in shredderafval zijn gegeven in tabel b2.2.

**Tabel b2.2; Molecuulformule afbreekbare componenten**

|     | aantal kmol/ton shredderafval |      | Relatieve verhouding elementen (t.o.v. C) |      |
|-----|-------------------------------|------|---|------|
|     | Papier                        | hout | papier                                    | hout |
| - C | 0,09                          | 0,82 | 1,00                                      | 1,00 |
| - H | 0,13                          | 1,25 | 1,46                                      | 1,54 |
| - O | 0,06                          | 0,57 | 0,67                                      | 0,70 |

De hoofdcomponenten zijn  $CH_4$  en  $CO_2$ . Daarnaast bevat het gas kleinere hoeveelheden verontreinigingen (zie tabel b2.3). Het stortgasvolume per ton shredderafval wordt geschat aan de hand van het aantal kmol C in shredderafval en het moleculaire gasvolume (22,4 Nm<sup>3</sup>/kmol bij 0 °C, 1 atm.):

$$Volume (Nm^3 / ton shredderafval) = kmol C in shredderafval \times 22,4$$

Het maximale stortgasvolume bedraagt  $(0,009 + 0,82) \times 22,4 = 20,3$  Nm<sup>3</sup>/ton shredderafval. Het uit papier en hout geproduceerde stortgas bestaat voor beide componenten voor ongeveer 52% uit  $CH_4$  en voor circa 48% uit  $CO_2$ . Het geproduceerde stortgas bevat daarnaast nog verontreinigingen:

**Tabel b2.3; Concentraties van verontreinigingen in stortgas**

|   | concentratie (mg/Nm <sup>3</sup> droog gas) |
|---|---|
| NM VOC  | 700   |
| Benzeen   | 7   |
| Tolueen   | 120   |
| CFK11 (CCl <sub>3</sub> F)                          | 97,5  |
| CFK12 (CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )            | 32,5  |
| Trichlooretheen (C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> )  | 25  |
| Tetrachlooretheen (C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> ) | 25  |
| H <sub>2</sub> S                                    | 110   |

De concentraties hangen af van de samenstelling van de totale afvalmix in het stortlichaam. Er is daarom niet toegerekend op basis van de chemische samenstelling van het afbreekbare organische materiaal in shredderafval, maar uitgegaan van gemiddelde concentraties in stortgas.

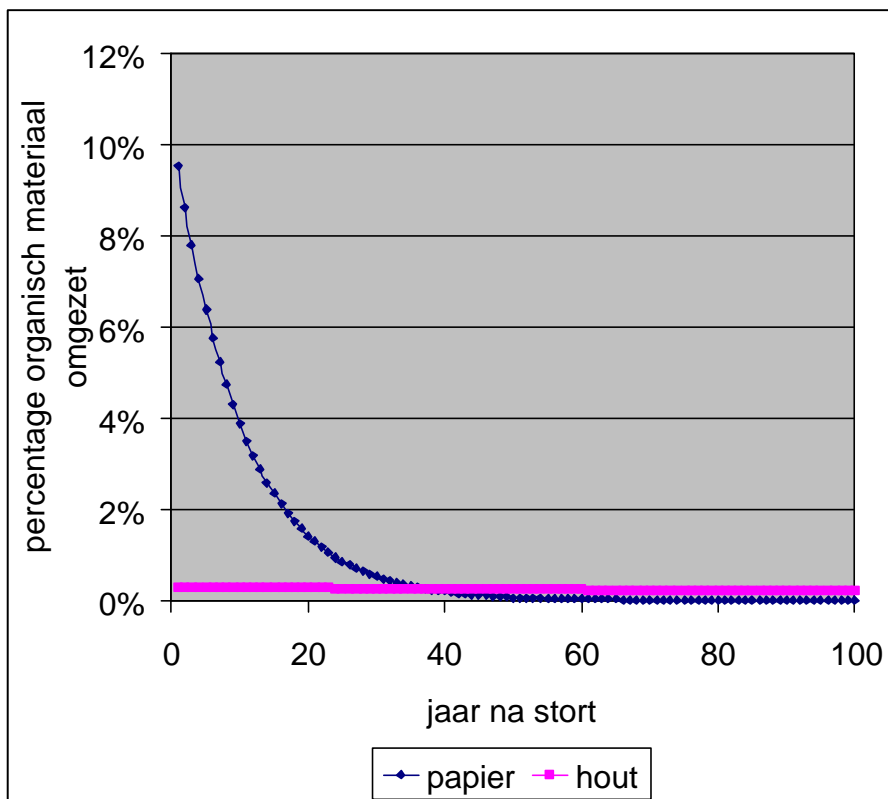
*Stortgasproductie als functie van de tijd na stort*

Voor het berekenen van de in de tijd gevormde hoeveelheid stortgas is uitgegaan van het 'multi-phase' model, waarin het in een bepaald jaar  $t$  omgezette deel  $\alpha_t$  van de in de afbreekbare afvalcomponent aanwezige koolstof wordt gegeven door:

$$a_t = \sum_j x_j \cdot k_j \cdot e^{-k_j \cdot t}$$

Hierin is  $k_j$  een materiaalafhankelijke constante en is  $\xi_j$  het percentage afbreekbaar materiaal dat daadwerkelijk gedurende de levensduur van de stort wordt afgebroken. In de praktijk wordt vóór de benutting van het stortgas immers niet alle koolstof omgezet. Sommige componenten zoals lignine, zijn (bijna) niet afbreekbaar, terwijl andere (cellulose) makkelijk afbreekbaar zijn. Deze componenten worden in de eerste jaren van de exploitatie van het stortgas nog niet volledig afgebroken. Voor de stortplaatsen in Nederland is dat volgens (TNO-MEP, 1995) circa 60%. Het 'multi-phase' model is gebruikt omdat hiermee rekening kan worden gehouden in de afbraaksnelheid van de verschillende componenten, waardoor ook verschillen in de samenstelling van het gestorte afval kunnen worden verdisconteerd. Met de constante  $k_j$  kan onderscheid worden gemaakt tussen afvalcomponenten, die snel (GFT), middelsnel (papier) en langzaam (hout) worden omgezet. De waarde van de constante bedraagt voor deze componenten respectievelijk 0,185, 0,1 en 0,003 jaar<sup>-1</sup>. Figuur b2.2 geeft het bijbehorend verloop van de afbraak van organisch materiaal in de tijd.

**Figuur b2.2; Bijbehorend verloop van de afbraak van organisch materiaal in de tijd**



### B2.3 Stortgasbenutting /-verwijdering

#### *Stortgaswinning en benutting in het algemeen*

Het stortgas ontsnapt deels naar de atmosfeer en wordt deels nuttig toegepast of afgefakkeld. Voor de bepaling van de emissies naar lucht is uitgegaan van de volgende benutting van stortgas in de tijd.

**Tabel b2.4; Benutting van stortgas in verschillende perioden na stort**

| Afbraak in de stort | ontsnapt | afgefakkeld | ingezet |
|---------------------|----------|-------------|---------|
| t = 2 jaar          | 100%     |             |         |
| t = 3 t/m 13 jaar   | 50%      | 10%         | 40%     |
| t = 14 t/m 23 jaar  |          |             | 100%    |
| t > 23 jaar         |          | 100%        |         |

Bij een gemiddelde exploitatieperiode van 15 jaar en wanneer wordt uitgegaan van gelijkmatige benutting van de stort in de exploitatieperiode ligt het afval gemiddeld (en afgerond) circa 8 jaar in de stort. De eerste twee jaar ligt het afval onafgedekt en wordt geen stortgas gewonnen, zodat al het gevormde gas ontsnapt.

In de daaropvolgende 6 jaar en in de vijf jaar dat de stort de gelegenheid krijgt zich te zetten is er een tijdelijke afdichting en wordt stortgas gewonnen. Het gaswinningssysteem bestaat meestal uit een netwerk van verticaal in de stort geplaatste HDPE buizen, via een leidingnet verbonden met een centrale ventilator. De ventilator zuigt stortgas uit de stort en brengt het op voldoende druk voor verder transport en voor nuttige toepassing en voor affakkelen. De tijdelijke afdichting is niet gasdicht waardoor lucht in de stort kan infiltreren wanneer een te grote zuigdruk wordt gehanteerd. Door een lagere druk aan te houden wordt echter slechts 50% van het gas afgezogen en ontsnapt de rest door de tijdelijke afdichting. Bij passeren van de tijdelijke afdichting wordt 10% van het metaan geoxideerd door micro-organismen.

Het wel gewonnen gas wordt deels nuttig toegepast en deels afgefakkeld. Bij de meeste stortplaatsen zijn gasmotoren geplaatst voor nuttige toepassing van het stortgas. Het vermogen van de gasmotoren wordt in de regel steeds net iets kleiner gekozen dan het aanbod aan gas om de gasmotoren vanuit economisch oogpunt optimaal te kunnen benutten. Het overschot aan stortgas, circa 20% van de gewonnen hoeveelheid, wordt afgefakkeld.

Na 5 jaar zettingstijd wordt een gas- en vloeistofdichte bovenafdichting aangebracht. Nu wordt gedurende een periode van gemiddeld 10 jaar al het geproduceerde stortgas gewonnen. Aangenomen is dat daarvan nog steeds 20% wordt afgefakkeld.

Na circa 15 jaar na beëindiging van exploitatie van de stort wordt de nuttige toepassing van stortgas beëindigd. In de daaropvolgende jaren wordt stortgas enkel nog afgefakkeld.

#### *Benutting van stortgas uit shredderafval*

Onderstaande tabel geeft voor shredderafval de resulterende productie van stortgas in de tijd.

**Tabel b2.5; Productie van stortgas uit shredderafval in verschillende benuttingsperioden**

|                  | papier | hout |
|------------------|--------|------|
| - eerste 2 jaar  | 17%    | 1%   |
| - 3e - 13e jaar  | 52%    | 3%   |
| - 14e - 23e jaar | 16%    | 3%   |
| - daarna         | 14%    | 93%  |

Aan de hand van de resultaten van de tabellen b2.4 en b2.5 kan de verdeling van het stortgas naar ontsnappen naar lucht, toepassing en affakkelen worden berekend. de uitwerking is weergegeven in tabel b2.6. De tabel geeft ook het stortgasvolume en de daarin aanwezige hoeveelheid methaan. In totaal wordt (stookwaarde methaan = 0,802 GJ/kmol) circa 24 MJ/ton shredderafval aan stortgas nuttig toegepast en wordt circa 327 MJ/ton shredderafval afgefakkeld.

**Tabel b2.6; Werkelijke benutting van stortgas uit shredderafval**

|                              | ontsnapt | afgefakkeld | ingezet |
|------------------------------|----------|-------------|---------|
| verdeling stortgasproductie  |          |             |         |
| - papier                     | 43%      | 23%         | 34%     |
| - hout                       | 2%       | 94%         | 4%      |
| - somproduct                 | 6%       | 87%         | 7%      |
| gasvolume (Nm <sup>3</sup> ) | 1,29     | 17,69       | 1,35    |
| - eerste 2 jaar              | 0,46     |             |         |
| - 3e - 13 <sup>e</sup> jaar  | 0,83     | 0,17        | 0,66    |
| - 14e - 23e jaar             |          | 0,17        | 0,69    |
| - daarna                     |          | 17,36       |         |
| CH <sub>4</sub> (kmol)       | 0,03     | 0,41        | 0,03    |
| - eerste 2 jaar              | 0,01     |             |         |
| - 3e - 13 <sup>e</sup> jaar  | 0,02     | 0,00        | 0,02    |
| - 14e - 23e jaar             |          | 0,00        | 0,02    |
| - daarna                     |          | 0,40        |         |

## B2.4 Milieu-ingrepen gerelateerd aan stortgas

### *Emissies naar lucht*

De emissies naar lucht omvatten zowel emissies door ontsnappen van stortgas als emissies door inzet van stortgas in een gasmotor en door affakkelen.

Stortgas geproduceerd in de eerste twee jaar na stort van het shredderafval zal ongehinderd ontsnappen. Bij aanwezigheid van een tijdelijke afdekking wordt door micro-organismen in de tijdelijke afdekking echter minstens 10% van de methaan en minstens 75% van de niet gehalogeneerde koolwaterstoffen en H<sub>2</sub>S geoxideerd. Aangenomen is dat de gehalogeneerde koolwaterstoffen niet worden geoxideerd door de micro-organismen.

Bij inzet van stortgas in een gasmotor of bij affakkelen treden zowel procesgerelateerde als productgerelateerde emissies op. Onderstaande tabel geeft de gehanteerde emissiefactoren voor procesgerelateerde emissies. De afgefakkelde en in een gasmotor ingezette hoeveelheden stortgas bedragen als gezegd respectievelijk 327 MJ/ton shredderafval en 24 MJ/ton shredderafval. Er is verder verdisconteerd dat ongeveer 2% van de methaan in het stortgas niet wordt omgezet bij inzet in de gasmotor.

**Tabel b2.7; Emissiefactoren naar verbrandingsproces**

| Emissiefactoren         | NO <sub>x</sub><br>(g/GJ) | N <sub>2</sub> O<br>(g/GJ) | CO<br>(g/GJ) | dioxines***<br>(in ng/Nm <sup>3</sup> bij<br>11 vol% O <sub>2</sub> ) |
|-------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|---|
| toepassing in gasmotor* | 120                       | 8                          | 200          | 0,065   |
| affakkelen**            | 25                        |                            | 10           | 3,5   |

\* Bron: door leveranciers doorgegeven emissies; \*\* Bron: (ETH, 1996); \*\*\*Bron: (TNO, 1993)

Aangenomen is dat bij affakkelen en inzet in de gasmotor de in organische verbindingen aanwezige halogenen (fluor en chloor) en als H<sub>2</sub>S aanwezige zwavel worden omgezet in HCl, HF en SO<sub>2</sub>. De resulterende emissies naar lucht worden in tabel b2.8 samengevat.

**Tabel b2.8; Opbouw emissies naar lucht**

|                                 | Ontsnaapt | gasmotor | fakkelt  | som      |
|---------------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| CH <sub>4</sub>                 | 0,45      | 0,01     |          | 0,46     |
| NMVOOC                          | 4,70E-04  |          |          | 4,70E-04 |
| Benzeen                         | 4,70E-06  |          |          | 4,70E-06 |
| Tolueen                         | 8,06E-05  |          |          | 8,06E-05 |
| CFK <sub>11</sub>               | 1,26E-04  |          |          | 1,26E-04 |
| CFK <sub>12</sub>               | 4,21E-05  |          |          | 4,21E-05 |
| C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> | 3,24E-05  |          |          | 3,24E-05 |
| C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>  | 3,24E-05  |          |          | 3,24E-05 |
| H <sub>2</sub> S                | 7,39E-05  |          |          | 7,39E-05 |
| HCl                             |           | 1,89E-04 | 2,48E-03 | 2,67E-03 |
| HF                              |           | 3,36E-05 | 4,41E-04 | 4,75E-04 |
| SO <sub>2</sub>                 | 1,29E-04  | 2,79E-04 | 3,66E-03 | 4,07E-03 |
| NO <sub>x</sub>                 |           | 2,99E-03 | 8,19E-03 | 1,12E-02 |
| N <sub>2</sub> O                |           | 1,99E-04 |          | 1,99E-04 |
| CO                              |           | 4,98E-03 | 3,27E-03 | 8,26E-03 |
| Dioxines                        |           | 8,72E-11 | 1,15E-09 | 1,23E-09 |

## B2.6 Elektriciteitsproductie en -consumptie

Het elektrisch rendement van de gasmotoren bij stortplaatsen bedraagt gemiddeld 32%, zodat bij inzet van stortgas uit shredderafval (24 MJ/ton shredderafval) circa 8 MJe oplevert.

Het afzuigen van het stortgas kost echter ook elektriciteit. De elektriciteitsconsumptie kan worden berekend uit de door de ventilator te leveren arbeid en de efficiency van de ventilator. Voor de efficiency is een waarde van 70% aangehouden. De te leveren arbeid is berekend met de formule:

$$w_{vent} = \frac{k \cdot R \cdot T}{k - 1} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

Waarin  $\kappa$  de verbindingsspecifieke soortelijke warmte verhouding (tussen Cp en Cv) en R de moleculaire gasconstante is en waarin T de temperatuur van het aan de ventilator toegevoerde gas is en P<sub>2</sub> en P<sub>1</sub> de druk voor en na de ventilator zijn. Aangenomen is dat de stortgasventilator een zuigdruk van 0,2 bar heeft en dat de druk van het afgezogen gas op een druk van 1,2 bar wordt gebracht. Verder is voor de berekening uitgegaan van een stortgastemperatuur van 30 °C.

## **BIJLAGE 3**

### **ACHTERGRONDEN VERWERKINGSOPTIE PYROLYSE/SMELTEN**

In deze bijlage worden de verschillende onderdelen van de PEC doorlopen in de volgorde waarin het afval en daaruit geproduceerde synthesegas door de installatie heen loopt. In deze bijlage komen achtereenvolgens aan de orde

|      |   |    |
|------|---|----|
| B3.1 | Specificaties shredderafval   | 63 |
| B3.2 | Vorbewerking  | 64 |
| B3.3 | Massabalans over gaskraker en smelter                               | 66 |
| B3.4 | Verdeling elementen en daaraan gerelateerde verbruiken en producten | 70 |
| B3.5 | Synthesegas toepassing  | 71 |
| B3.6 | Eigen verbruiken aan elektriciteit                                  | 73 |

### B3.1 Specificaties shredderafval

De tabellen b3.1 en b3.2 geven respectievelijk de in deze analyse voor shredderafval aangehouden chemische samenstelling en de samenstelling naar componenten. De fractie < 10 mm bestaat voor een groot deel uit fijne metalen deeltjes en stukjes glas, zand en beton.

In tabel b3.1 is ook een schatting gegeven van de chemische samenstelling van beide zeefracties uit de verbewerking van de PEC. De schatting is gebaseerd op de aangenomen chemische samenstelling van de afvalcomponenten in de zeefoverloop. Combinatie met de samenstelling van de zeefoverloop naar afvalcomponenten geeft de geschatte chemische samenstelling van de zeefoverloop. De chemische samenstelling van de zeefdoorval volgt uit het verschil tussen de opgegeven chemische samenstelling van integraal shredderafval en de geschatte chemische samenstelling van de zeefoverloop.

**Tabel b3.1; Samenstelling shredderafval naar afvalcomponenten**

|                         | lichte fractie | zwaar vuil | som   |
|-------------------------|----------------|------------|-------|
| Bijdrage:               | 81%            | 19%        |       |
| Samenstelling           |                |            |       |
| Metalen                 |                |            |       |
| - Fe                    | 0,6%           | 1,0%       | 0,7%  |
| - Cu                    | 0,6%           | 3,6%       | 1,2%  |
| - ov. Non ferro metalen | 2,1%           | 2,6%       | 2,2%  |
| PUR                     | 2,9%           | 0,5%       | 2,4%  |
| Ov. Kunststoffen        | 20,8%          | 38,9%      | 24,2% |
| Rubber, autoband        |                | 1,3%       | 0,2%  |
| Rubber, ov.             | 2,4%           | 18,1%      | 5,4%  |
| Textiel                 | 3,8%           | 0,2%       | 3,1%  |
| Hout/board              | 3,5%           | 3,6%       | 3,5%  |
| Papier                  | 0,5%           |            | 0,4%  |
| Zeefrest < 10 mm        | 62,4%          | 25,2%      | 55,3% |
| - waarvan Cu            | 0,7%           | 4,4%       | 2,4%  |
| - waarvan Al            | 0,7%           | 1,2%       | 1,0%  |
| - waarvan Fe            | 8,0%           | 0,5%       | 6,0%  |
| Overig                  |                | 5,0%       | 0,9%  |
|                         | 99,6%          | 100,0%     | 99,7% |

**Tabel b3.2; Chemische samenstelling shredderafval en daaruit geproduceerde zeeffracties**

|                                   | zeefoverloop<br>> 10 mm | zeefdoorval<br>< 10 mm | som   |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|-------|
| stookwaarde (GJ/ton afval)        | 12,1                    | 3,9                    | 15,9  |
| samenstelling op macrocomponenten |                         |                        |       |
| - C                               | 27,6%                   | 11,2%                  | 38,8% |
| - H                               | 3,3%                    | 1,9%                   | 5,2%  |
| - O                               | 3,2%                    | 2,8%                   | 6,1%  |
| - N                               | 0,5%                    | 0,6%                   | 1,1%  |
| - S                               | 0,1%                    | 0,5%                   | 0,7%  |
| - halogenen                       | 1,2%                    | 0,7%                   | 2,0%  |
| - as                              | 6,2%                    | 34,9%                  | 41,1% |
| - vocht                           | 2,2%                    | 2,8%                   | 5,0%  |
|                                   | 44,3%                   | 55,5%                  |       |

**Tabel b3.3; Specificaties afvalcomponenten**

|   | PUR    | Plastic | Auto-<br>banden | rubber | Textiel | hout   | Papier |
|---|--------|---------|-----------------|--------|---------|--------|--------|
| a) afvalcomponent                         |        |         |                 |        |         |        |        |
| - C                                       | 60%    | 80%     | 76%             | 86%    | 50%     | 48%    | 47%    |
| - H                                       | 6%     | 10%     | 7%              | 7%     | 7%      | 6%     | 6%     |
| - O                                       | 20%    | 0%      | 0%              | 0%     | 35%     | 45%    | 42%    |
| - N                                       | 6%     | 1%      | 0%              | 0%     | 4%      | 0%     | 0%     |
| - S                                       | 0%     | 0%      | 1%              | 2%     | 1%      | 0%     | 0%     |
| - halogenen                               |        | 5%      |                 |        | 0,50%   |        | 0,30%  |
| - as                                      | 8%     | 4%      | 16%             | 5%     | 3%      | 1%     | 5%     |
|   | 100,0% | 100,0%  | 100,0%          | 100,0% | 100,0%  | 100,0% | 100,0% |
| b) stookwaarde (GJ/ton)                   | 24,7   | 36,9    | 31,7            | 35,7   | 18,0    | 18,4   | 17,7   |
| c) C-fixed (koolstof in<br>pyrolysecokes) | 23,1%  | 4,8%    | 16,9%           | 19,0%  | 4,8%    | 14,9%  | 14,3%  |

Er is onvoldoende informatie beschikbaar om een schatting te kunnen maken van de spreiding in de samenstelling van integraal shredderafval en van de samenstelling van beide productstromen van de voorbereiding bij de PEC.

## B3.2 Voorbereiding

### *Massabalans*

Bij de voorbereiding wordt circa 90% van het ijzer schroot in de zeefdoorval (circa 6%, zie tabel b3.1) afgescheiden en toegevoegd aan de zeefoverloop.

Tijdens pyrolyse wordt vrijwel al het brandbare materiaal en de halogenen omgezet in gasvormige en vluchtige producten. Alleen een kleine hoeveelheid koolstof blijft achter in het residu. De achterblijvende hoeveelheid wordt berekend uit de specificaties van de afvalcomponenten (zie tabel b3.4). De in tabel b3.4 gegeven hoeveelheid is specifiek voor shredderafval. Aanhangend water verdampt en wordt mee afgevoerd met de andere gasvormige producten. As blijft achter in de cokes. Na pyrolyse wordt de overblijvende cokes gebroken en worden ferro-schroot en non-ferro-schroot met respectievelijk 99% en 95% afgescheiden en aangeboden voor herverwerking.



**Tabel b3.4; Massabalans over het pyrolyseproces**

|               | naar pyrolyse |                         | productstromen             |         |        |
|---------------|---------------|-------------------------|----------------------------|---------|--------|
|               | zeefoverloop  | schroot uit zeefdoorval | pyrolysecokes (kool en as) | schroot | gas    |
| Samenstelling |               |                         |                            |         |        |
| - C           | 27,59%        |                         | 3,53%                      |         | 24,06% |
| - H           | 3,28%         |                         |                            |         | 3,28%  |
| - O           | 3,24%         |                         |                            |         | 3,24%  |
| - N           | 0,49%         |                         |                            |         | 0,49%  |
| - S           | 0,12%         |                         |                            |         | 0,12%  |
| - halogenen   | 1,22%         |                         |                            |         | 1,22%  |
| - as          | 6,19%         | 5,91%                   | 2,39%                      | 9,72%   |        |
| - vocht       | 2,22%         |                         |                            |         | 2,22%  |
|               | 44,34%        | 5,91%                   |                            |         | 50,25% |

*Energiebehoefte pyrolyseproces*

In onderstaande tabel is de bepaling van de warmtebehoefte van het pyrolyseproces voor shredderafval weergegeven. De behoefte wordt gedekt door de pyrolysetrommel te ondervuren met synthegas.

**Tabel b3.5; Energiebehoefte pyrolyseproces**

|   | energie per ton product (GJ) | aantal ton/ton afval | energie per ton afval (GJ) |
|---|------------------------------|----------------------|----------------------------|
| - decompositie organisch materiaal          | 1                            | 32,4%                | 0,32                       |
| - opwarmen gasvormige decompositieproducten | 0,55                         | 32,4%                | 0,18                       |
| - opwarmen en verdampen aanhangend vocht    | 3,54                         | 2,2%                 | 0,08                       |
| - opwarmen as en kool                       | 0,5                          | 15,6%                | 0,08                       |
| - verliezen (5% input)                      |                              |                      | 0,03                       |
|   |                              |                      | 0,69                       |

De in tabel b3.5 berekende behoefte is specifiek voor shredderafval. Voor andere afvalstromen kan de energievraag worden berekend uit de energiebehoefte per ton product en de voor die afvalstroom specifieke omvang van de productstromen.

De energie gebruikt voor decompositie en opwarmen van organisch materiaal en voor opwarmen en verdampen van aanhangend vocht wordt overigens ook meegevoerd naar de gaskraker. De warmte toegevoerd aan as en kool wordt weggekoeld.

### B3.3 Massabalans over gaskraker en smelter

#### Theorie

Bepalen van de massabalans en energiebalans over de gaskraker en smelter vergt het bepalen van de hoeveelheid synthese gas en de samenstelling van het synthese gas waarbij de massabalans (ook voor de elementen) en de enthalpiebalans over de gaskraker sluitend is. De gassamenstelling moet daarnaast voldoen aan de evenwichtsconstante voor de watergasreactie:

$$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2;$$
$$K_p(^{\circ}\text{K}) = \frac{P_{\text{CO}_2} \cdot P_{\text{H}_2}}{P_{\text{CO}} \cdot P_{\text{H}_2\text{O}}} = e^{-\left(\frac{4048}{T(^{\circ}\text{K})} - 3,765\right)}$$

Het synthese gas zal vanwege de hoge temperatuur waarbij vergassing plaatsvindt vrijwel uitsluitend bestaan uit CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O en zal daarnaast kleinere hoeveelheden N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, COS en waterstofhaliden bevatten. De hoeveelheid methaan en zeker de hoeveelheid aan andere koolwaterstoffen is bij benadering verwaarloosbaar.

Het te vergassen materiaal bevat een bepaalde hoeveelheid koolstof (bijvoorbeeld m kmol) en waterstof (bijvoorbeeld n kmol). Toevoegen van lucht of industriële zuurstof ten behoeve van vergassing (= verbranding met een ondermaat zuurstof) leidt (wanneer CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O in buitenlucht worden verwaarloosd) niet tot het toevoegen van koolstof of waterstof. Het is daarom mogelijk de hoeveelheden van CO en H<sub>2</sub> uit te drukken als x en y kmol en die van CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O als m - x en n - y. Ook kan de zuurstofvraag voor het bereiken van een bepaalde gassamenstelling worden uitgedrukt in m, n, x en y. Verder kunnen de enthalpiebalans en de vergelijking voor de evenwichtsconstante van de watergasreactie worden uitgedrukt in deze grootheden.

De oplossing verloopt in drie stappen:

- bepalen hoeveel energie beschikbaar is voor synthese gas, op basis van de enthalpie van de input, verliezen door straling en verliezen door afvoer van warmte door de as;
- opstellen van enthalpiebalans, uitgedrukt in x en y en het formuleren van een lineaire vergelijking ( $y = ax + b$ );
- invullen van de lineaire relatie voor x en y in de vergelijking voor de evenwichtsconstante van de watergasreactie en oplossen met kleinste kwadratenmethode.

*Voorbeeld (niet van toepassing op shredderafval):*

De voeding van de gaskraker bestaat per ton uit 20 kmol C, 14 kmol H, 2 kmol H<sub>2</sub>O, 2 kmol O en 2 kmol N en heeft een enthalpie van 10 GJ/ton. Verliezen bedragen 10%, zodat 9 GJ/ton beschikbaar is voor het synthese gas. Het vergassingsmedium is industriële zuurstof met een zuiverheid van 95%.  $K_p = 3$ . Voor het gemak worden de hoeveelheden H, O en N omgeschreven naar H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> en O<sub>2</sub> en wordt ook de hoeveelheid H<sub>2</sub>O daarin verdisconteerd. Er is dus 8 kmol H<sub>2</sub>, 2 kmol O<sub>2</sub> en 1 kmol N.

**Tabel b3.6;      Uitgangspunten voor iets uitgewerkt voorbeeld**

|                  | enthalpie | hoeveelheid |
|------------------|-----------|-------------|
| CO               | A         | x           |
| CO <sub>2</sub>  | B         | 20 - x      |
| H <sub>2</sub>   | C         | y           |
| H <sub>2</sub> O | D         | 9 - y       |
| N <sub>2</sub>   | E         | 1           |
| O <sub>2</sub>   | n.v.t.    | 2           |

1 zuurstofvraag:

$$0,5 \cdot x + 0,5 \cdot (9 - y) + 20 - x - 2 = 22,5 - 0,5 \cdot x - 0,5 \cdot y$$

2 bijgevoegd aan N<sub>2</sub>:

$$5,3\% \cdot (22,5 - 0,5 \cdot x - 0,5 \cdot y)$$

3 enthalpiebalans:

$$A \cdot x + (20 - x) \cdot B + C \cdot y + (9 - y) \cdot D + E + 5,3\% \cdot E \cdot (22,5 - 0,5 \cdot x - 0,5 \cdot y) = 9$$

$$(A - B - 0,5 \cdot 5,3\% \cdot E) \cdot x + (C - D - 0,5 \cdot 5,3\% \cdot E) \cdot y + (20 \cdot B + 9 \cdot D + E + 5,3\% \cdot E \cdot 22,5 - 9) = 0$$

$$a = (A - B - 0,5 \cdot 5,3\% \cdot E) \cdot$$

$$b = (C - D - 0,5 \cdot 5,3\% \cdot E)$$

$$c = (20 \cdot B + 9 \cdot D + E + 5,3\% \cdot E \cdot 22,5 - 9)$$

4 Evenwichtsvergelijking watergasreactie:

$$K_p = \frac{(20 - x) \cdot (a \cdot x + b)}{x \cdot (9 - a \cdot x - b)}$$

Verder uitschrijven en oplossen geschiedt met de kleinste kwadratenmethode.

*Uitwerking voor shredderafval*

De reactietemperatuur bedraagt 1.250°C voor gaskraker en 1.450°C voor smelter. Als vergasingsmedium wordt industriële zuurstof toegepast, geproduceerd met een PSA. Aangenomen is dat de zuurstof 95% zuiver is, conform informatie van Gibros PEC. De enthalpie van de verschillende gascomponenten is in onderstaande tabel gegeven.

**Tabel b3.7;      Uitgangspunten voor uitwerking voor shredderafval**

|  |       |        |
|--|-------|--------|
| Temperatuur (°C)                           | 1250  | 1450   |
| $K_p = (H_2 \times CO_2)/(H_2O \times CO)$ | 3,03  | 4,12   |
| Enthalpie (MJ/kmol)                        |       |        |
| CO   | 323,4 | 330,,5 |
| CO <sub>2</sub>                            | 63,9  | 75,7   |
| H <sub>2</sub>                             | 279,7 | 286,3  |
| H <sub>2</sub> O                           | 50,0  | 59,6   |
| N <sub>2</sub>                             | 39,9  | 47,0   |
| O <sub>2</sub>                             | 42,2  | 49,5   |

De enthalpie voor CO en H<sub>2</sub> is inclusief de stookwaarde. Alle enthalpieën zijn uitgedrukt t.o.v. standaardomstandigheden.

De samenstelling van de voeding van smelter en gaskraker is in onderstaande tabel gegeven.

**Tabel b3.8; Samenstelling voeding gaskraker en smelter**

|             | gaskraker | smelter |
|-------------|-----------|---------|
| - C         | 24,06%    | 14,70%  |
| - H         | 3,28%     | 1,91%   |
| - O         | 3,24%     | 2,84%   |
| - N         | 0,49%     | 0,57%   |
| - S         | 0,12%     | 0,54%   |
| - halogenen | 1,22%     | 0,75%   |
| - as        |           | 24,10%  |
| - vocht     | 2,22%     | 2,77%   |

In tabel b3.9 is de berekening van de voor synthesegas beschikbare enthalpie gegeven. De door de slak afgevoerde warmte kan worden berekend aan de hand van een soortelijke warmte van 1 kJ/kg·°K.

**Tabel b3.9; Samenstelling voeding gaskraker en smelter**

|                                     | gaskraker | smelter |
|-------------------------------------|-----------|---------|
| Enthalpiebalans                     |           |         |
| a) invoer (GJ/ton)                  | 11,49     | 4,45    |
| b) verlies enthalpie                |           |         |
| - percentueel                       | 10%       | 10%     |
| - GJ/ton                            | 1,15      | 0,44    |
| c) afgevoerd door slak (GJ/ton)     |           | 0,35    |
| d) beschikbaar voor syngas (GJ/ton) | 10,34     | 3,65    |

Tabel b3.10 geeft de resulterende gasproductie en zuurstofvraag (zuivere zuurstof).

**Tabel b3.10; Resulterende gasproductie en zuurstofvraag**

|  | gaskraker | smelter | som ruw gas | som schoon gas |
|--|-----------|---------|-------------|----------------|
| Gasproductie (kmol/ton afval)          |           |         |             |                |
| CO                                     | 18,7      | 5,6     | 24,3        | 24,3           |
| H <sub>2</sub>                         | 14,4      | 1,9     | 16,3        | 16,3           |
| CO <sub>2</sub>                        | 1,4       | 6,6     | 8,0         | 8,0            |
| H <sub>2</sub> O                       | 3,2       | 9,2     | 12,4        | 0,9            |
| N <sub>2</sub>                         | 0,7       | 0,9     | 1,6         | 1,6            |
| O <sub>2</sub> -vraag (kmol/ton afval) | 10,7      | 12,4    | 23,1        |                |

Bij reiniging wordt het gas afgekoeld tot een minimum temperatuur van 15°C. Daardoor condenseert vrijwel alle waterdamp in het stookgas/synthesegas. De partiële druk van waterdamp bij 15°C is 0,017 atmosfeer. Dat wil zeggen dat het gereinigde gas voor 1,7% uit waterdamp bestaat. De hoeveelheid waterdamp in het synthesegas daalt dan van 12,4 kmol/ton afval tot 0,9 kmol/ton afval.

Aangezien CO en H<sub>2</sub> een stookwaarde hebben van respectievelijk 283 MJ/kmol en 242 kJ/kmol bedraagt de stookwaarde van het synthesegas bedraagt  $(0,283 \times 24,7 + 0,242 \times 16,5) = 10,99$  GJ/ton afval.

*Warmteterugwinning buit gekraakt pyrolysegas*

Synthesegas uit de gaskraker wordt eerst middels waterinjectie gekoeld tot 950 °C en wordt vervolgens onder de productie van stoom gekoeld tot 300 °C.

De geïnjecteerde hoeveelheid water en de geproduceerde hoeveelheid stoom kunnen worden berekend met de in onderstaande tabel gegeven kentallen en uit de hoeveelheid en samenstelling van het synthese gas. Verdampen en opwarmen van water tot damp van 950 °C kost 92 MJ/kg.

**Tabel b3.11; Enthalpieën van gascomponenten bij verschillende temperaturen**

| Gascomponent     | enthalpie (MJ/kmol) bij T = (in °C) |       |       |
|------------------|-------------------------------------|-------|-------|
|                  | 1250                                | 950   | 300   |
| CO               | 323,4                               | 312,9 | 291,9 |
| CO <sub>2</sub>  | 63,9                                | 46,6  | 12,5  |
| H <sub>2</sub>   | 279,7                               | 270,2 | 250,5 |
| H <sub>2</sub> O | 50,0                                | 36,3  | 10,4  |
| N <sub>2</sub>   | 39,9                                | 29,6  | 8,8   |
| O <sub>2</sub>   | 42,2                                | 31,3  | 9,1   |

Uit de hoeveelheid en samenstelling van het synthese gas en de enthalpie van de gascomponenten bij 1.250°C en 950°C wordt de aan het geïnjecteerde water afgestane warmte berekend. Dit is voor synthese gas uit shredderafval 0,41 GJ/ton afval. Verdampen en opwarmen van water tot damp van 950 °C kost 92 MJ/kg. Daaruit volgt dat  $(410 \div 92) \approx 4,4$  kmol H<sub>2</sub>O per ton afval wordt geïnjecteerd.

Uit de (voor het geïnjecteerde water) aangepaste gassamenstelling en de enthalpie van de gascomponenten bij 950 °C en 300 °C volgt vervolgens de aan stoomproductie afgestane hoeveelheid warmte. Bij verwerking van shredderafval wordt 0,94 GJ/ton afval aan stoom geproduceerd uit de warmte van het synthese gas uit de gaskraker.

### B3.4 Verdeling elementen en daaraan gerelateerde verbruiken en producten

#### Verdeling elementen

**Tabel b3.12; Verdeling van elementen over productstromen**

|        | Slak     | Actieve kool | Metaalhoudend slib | Zwavel koek | Lucht  | Spui voor RWZI |
|--------|----------|--------------|--------------------|-------------|--------|----------------|
| S      |          |              |                    | 99,965%     | 0,035% |                |
| As     | 10,000%  |              | 89,964%            |             | 0,026% | 0,010%         |
| Br     |          |              |                    |             | 0,004% | 99,996%        |
| Cd     | 10,000%  |              | 89,972%            |             | 0,026% | 0,002%         |
| Cl     |          |              |                    |             | 0,003% | 99,997%        |
| Co     | 100,000% |              |                    |             |        |                |
| Cr     | 100,000% |              |                    |             |        |                |
| Cu     | 99,999%  |              |                    |             | 0,001% |                |
| F      |          |              |                    |             | 0,025% | 99,975%        |
| Hg     |          | 19,560%      | 80,000%            |             | 0,440% | 2,18E-15       |
| Mn     | 100,000% |              |                    |             |        |                |
| Mo     | 100,000% |              |                    |             |        |                |
| Ni     | 99,994%  |              |                    |             | 0,006% |                |
| Pb     | 10,000%  |              | 89,974%            |             | 0,026% | 3,10E-09       |
| Sb     |          |              | 99,971%            |             | 0,029% |                |
| Se     | 10,000%  |              | 89,974%            |             | 0,026% |                |
| Sn     | 99,971%  |              |                    |             | 0,029% |                |
| V      | 99,999%  |              |                    |             | 0,001% |                |
| Zn     | 10,000%  |              | 89,974%            |             | 0,026% | 7,34E-08       |
| as (*) | 99,999%  |              |                    |             | 0,001% |                |

Voor shredderafval is bovenstaande verdeling van elementen over de verschillende productstromen ingeschat. Deze verdeling zou gemakshalve ook voor andere afvalstromen kunnen worden gehanteerd. De verdeling is gebaseerd op informatie over de verwachte restconcentraties van verontreinigingen in synthesegas na gasreiniging, de omvang van de spui van de natte wassers en de restconcentraties van zware metalen in aangelegd water bij een pH van 11.

De vracht van elementen in de spui is alleen afhankelijk van de omvang van de spui en is betrouwbaar voor een bepaalde spui-omvang. De minimale omvang van de spui is als gezegd (voorlopig) geschat door aan te nemen dat de concentratie aan halogenen in de spui 2 mol/l bedraagt. Dit is een concentratie die ook voor AVI's wel wordt opgegeven.

#### Consumptie NaOH

De geconsumeerde hoeveelheid NaOH wordt berekend uit de afgevangen hoeveelheden halogenen en zwavel.

#### Actieve kool consumptie

De hoeveelheid verbruikte en te storten actieve kool wordt berekend uitgaande van een belading van verbruikte actieve kool van 1.200 mg/kg. De door actieve kool afgevangen hoeveelheid kwik kan worden berekend met de verdeling van kwik over de productstromen, zoals gegeven in tabel b3.12.

*Zwavelkoek*

De geproduceerde hoeveelheid zwavelkoek volgt uit de afgevangen hoeveelheid zwavel en de correctie voor de hoeveelheid aanhangend vocht (60% d.s.).

*Metaalhydroxideslib*

De geproduceerde hoeveelheid metaalhydroxide-slib volgt uit de afgevangen metaalhydroxide en metaaloxides. Uitgegaan is van de vorming van Zn(OH)<sub>2</sub>, Pb(OH)<sub>2</sub>, Hg(OH)<sub>2</sub>, Cd(OH)<sub>2</sub>, As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en SeO<sub>2</sub>. Het slib heeft een d.s. gehalte van 50%.

*Waterbalans*

De via afval en hulpstoffen ingevoerd water bestaat uit:

- condensaat uit synthesegas,
- met NaOH aangevoerd water;
- OH, die heeft gereageerd met een waterstofion.

De consumptie bestaat uit spui en water in zwavelkoek en metaalhydroxideslib. De spui is minimaal de op basis van de aangehouden halogenenconcentratie berekende hoeveelheid en anders (als invoer groter is dan consumptie bij minimale spui) het verschil tussen invoer en de in zwavelkoek en metaalhydroxideslib afgevoerde hoeveelheid.

Een eventueel tekort aan toegevoerd water bij minimale spui (als de invoer kleiner is dan de consumptie bij minimale spui) wordt opgevuld met suppletiewater.

**B3.5 Synthesegas toepassing**

Synthesegas wordt ingezet voor ondervuring en in gasmotoren.

*Ondervuring pyrolyseproces*

Synthesegas gebruikt voor het pyrolyseproces wordt verstoekt met een luchtfactor van 1,2. Er wordt zoveel gas verstoekt dat de geproduceerde rookgassen na verwarming van het pyrolyseproces nog een temperatuur van 700 °C hebben. Met de gegevens in onderstaande tabel kan de rookgassamenstelling bij de gehanteerde luchtfactor worden bepaald en kan worden berekend wat de energie-inhoud na warmte-uitwisseling met het pyrolyseproces is. De voor het pyrolyseproces in te zetten hoeveelheid synthesegas S (GJ/ton afval) volgt uit de warmte-vraag H (GJ/ton afval) van het pyrolyseproces en de verhouding (LHV – A)/LHV waarin LHV de stookwaarde van het synthesegas is en A de warmte van de rookgassen na warmtewisseling met het pyrolyseproces:

$$S = \frac{H \cdot LHV}{LHV - A}$$

**Tabel b3.12; Benodigdheden voor bepaling synthesegasinzet voor pyrolyse**

| Gascomponent     | enthalpie (MJ/kmol) bij T = (in °C) |       |       | zuurstof<br>behoefte<br>(kmol/kmol) | product (kmol/kmol) |                  |
|------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------|---------------------|------------------|
|                  | 700                                 | 500   | 300   |                                     | CO <sub>2</sub>     | H <sub>2</sub> O |
| CO               | 304,5                               | 298,0 | 291,9 | 0,5                                 | 1                   |                  |
| CO <sub>2</sub>  | 32,8                                | 22,3  | 12,5  |                                     | 1                   |                  |
| H <sub>2</sub>   | 262,3                               | 250,5 | 250,5 | 0,5                                 |                     | 1                |
| H <sub>2</sub> O | 25,7                                | 17,8  | 10,4  |                                     |                     | 1                |
| N <sub>2</sub>   | 21,3                                | 14,9  | 8,8   |                                     |                     |                  |
| O <sub>2</sub>   | 22,5                                | 15,7  | 9,1   |                                     |                     |                  |

De rookgassen uit de pyrolysetrommel worden gebruikt voor de productie van stoom en koelen daarbij af tot 300°C. Met de in bovenstaande tabel en tekst gegeven kentallen kan worden berekend dat de rookgassen in het geval van shredderafval bij die temperatuur een warmte-inhoud hebben van 1,2 MJ/Nm<sup>3</sup> synthese gas hebben. Dat betekent dat er per GJ synthese gas, dat wordt gebruikt voor ondervuring van het pyrolyseproces, ongeveer  $(3,1 - 1,2) \div 9,6 \approx 0,2$  GJ aan stoom wordt geproduceerd.

#### *Inzet in gasmotor*

De gasmotor (model > 2.000 kW<sub>e</sub>) heeft een rendement van 38%. De luchtfactor bedraagt 2. De uittredende rookgassen hebben een temperatuur van 500 °C. De rest van de warmte wordt weggekoeld.

De rookgassen van de gasmotor worden gebruikt voor de productie van stoom. Daarbij worden de rookgassen afgekoeld tot 300°C. De afgestane hoeveelheid warmte kan, met de kentallen in tabel b3.12 op dezelfde manier worden berekend als in bovenstaand voorbeeld voor ondervuring van het pyrolyseproces.

Bij inzet van synthese gas uit shredderafval wordt 14% van de stookwaarde van het synthese gas omgezet in stoom.

#### *Bruto productie van elektriciteit voor shredderafval*

Bij shredderafval wordt 1 GJ van de beschikbare 11 GJ aan synthese gas voor ondervuring van het pyrolyseproces gebruikt en wordt 10 GJ ingezet in gasmotoren. Daaruit wordt 3,8 GJe geproduceerd.

De uit rookgassen van pyrolyseproces en gasmotor en uit gekraakt pyrolyse gas wordt in totaal  $0,94 + 1 \times 20\% + 9,8 \times 14\% = 2,5$  GJ/ton afval aan stoom geproduceerd. Hieruit wordt 0,6 GJe/ton afval aan elektriciteit (rendement stoommotor = 25%).

#### *Emissies van NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O en CO*

De emissies van NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O en CO zijn bepaald aan de hand van de berekende brandstofinzet in gasmotoren en pyrolysebrander en aan de hand van de voor beide toepassingen aangehouden emissiefactoren voor de drie verontreinigende stoffen (zie tabel b3.13).

**Tabel b3.13; Bepaling procesgerelateerde emissies**

|                               | gasmotoren |        | pyrolyseproces |        | som emissies |
|-------------------------------|------------|--------|----------------|--------|--------------|
| Brandstofinzet (GJ/ton afval) | 10,0       |        | 1,0            |        |              |
| Emissies                      | g/GJ       | kg/ton | g/GJ           | kg/ton | kg/ton       |
| NO <sub>x</sub>               | 120        | 1,2    | 16             | 0,0    | 1,2          |
| N <sub>2</sub> O              | 8          | 0,1    | 0              | 0,0    | 0,1          |
| CO                            | 200        | 2,0    | 20             | 0,0    | 2,0          |



### **B3.6 Eigen verbruiken aan elektriciteit**

Het eigen verbruik van elektriciteit omvat de volgende posten:

- productie van zuurstof;
- gebruik door ventilatoren;
- gebruik door pompen;
- verbruik van koelinstallaties;
- overslag en voorbereiding van afval, pyrolyse en bewerken van pyrolyseresidu.

Elektriciteitsverbruik voor zuurstofproductie bedraagt 340 kWh/ton zuurstof. De omvang van de zuurstofconsumptie is berekend op 728 kg/ton aan zuivere zuurstof en 762 kg/ton afval aan industriële zuurstof (95 vol% zuiver). De resulterende elektriciteitsconsumptie per ton afval bedraagt 0,93 GJ.

Energieverbruik voor de ventilatoren en pompen in de gasreiniging bedraagt bij de beschouwde procesconfiguratie en gasreiniging respectievelijk ongeveer 74 en 32 kJ/kg productgas (schoon gas). De opbrengst aan schoon gas bedraagt voor shredderafval 1.118 kg/ton afval. Deze hoeveelheid is berekend uit de hoeveelheden (in kmol/ton afval) gascomponenten en de moleculaire massa van de gascomponenten:

- CO = 28 kg/kmol;
- CO<sub>2</sub> = 44 kg/kmol;
- H<sub>2</sub> = 2 kg/kmol;
- H<sub>2</sub>O = 18 kg/kmol;
- N<sub>2</sub> = 28 kg/kmol.

Voor het eigen verbruik voor voorbereiding, pyrolyse en behandeling van het pyrolyseresidu is niet voldoende informatie beschikbaar. De omvang van het eigen verbruik zal echter klein zijn in vergelijking met het eigen verbruik voor zuurstofproductie.

Het totale eigen verbruik is (vooralsnog) geschat op 1 GJe/ton afval. Er kan netto 3,4 GJe/ton afval aan het openbare elektriciteitsnet worden geleverd. Het netto elektrisch rendement bedraagt circa 21%.