

**CE**  
**Centrum voor**  
**energiebesparing en**  
**schone technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

Tel: (015) 2 150 150

Fax: (015) 2 150 151

E-mail: [ce@antenna.nl](mailto:ce@antenna.nl)

URL: <http://antenna.nl/ce>

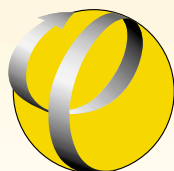
# **Emissies uit bijstoken, verbranden en vergassen van niet-gevaarlijke afvalstromen**

in vergelijking tot BLA en AVI

## **Rapport**

Delft, januari 2000

Opgesteld door:    drs S.A.H. Moorman  
                             drs H.J. Croezen



# Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

drs S.A.H. Moorman, drs H.J. Croezen

Emissies uit bijstoken, verbranden en vergassen van niet-gevaarlijke afvalstromen, in vergelijking tot BLA en AVI

Delft : Centrum voor energiebesparing en schone technologie, 2000

Afvalverbranding / Thermische behandeling / CO-verbranding / Verbranding / Vergassing / Emissies / Residu / Afval / Procestechologie / Vergelijkend onderzoek / Rookgasreiniging / Kosten

Dit rapport kost f 32,50 (€ 14,75) (exclusief verzendkosten).

Publicatienummer: 00.5713.01

Oprichtgever: Ministerie van VROM, directie Lucht en Energie

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider mevrouw S.A.H. Moorman.

© copyright, CE, Delft

## Het CE in het kort

Het Centrum voor energiebesparing en schone technologie (CE) is een onafhankelijk onderzoek- en adviesbureau dat werkzaam is op het raakvlak van milieu, economie en technologie. Wij stellen ons tot doel om vernieuwende, structurele oplossingen te ontwikkelen die beleidsmatig haalbaar, praktisch uitvoerbaar en economisch verstandig zijn. Inzicht in de verschillende maatschappelijke belangen is daarbij essentieel.

Het CE is onderverdeeld in vier sectoren die zich richten op de volgende werkvelden:

- milieu-economie
- verkeer en vervoer
- materialen en afval
- (duurzame) energie

Van elk van deze werkvelden is een publicatielijst beschikbaar. Geïnteresseerden kunnen deze opvragen bij het CE. Daarnaast verschijnt er tweemaal per jaar een nieuwsbrief met daarin een overzicht van de actuele projecten. U kunt zich hierop zonder kosten abonneren (tel: 015-2150150).

# Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doelstelling	5
1.3 Afbakening	5
1.4 Werkwijze	6
1.5 Opbouw van het rapport	6
2 Uitgangspunten	7
2.1 Beschouwde afval-techniek-combinaties	7
2.2 Kenmerken van afvalstromen	8
2.3 Uitgangspunten technieken en rookgasreiniging	8
3 Resultaten	11
3.1 Emissies t.o.v. BLA- en AVI-niveau	12
3.1.1 Kwalitatief overzicht	12
3.1.2 Overschrijdingsfactoren	14
3.2 Grensconcentraties in de afvalstromen	15
3.3 Kosten van rookgasreiniging	16
3.4 Toxische stoffen buiten BLA	16
3.5 Onderlinge vergelijking afvalstromen	17
3.6 Indicatie van onzekerheid	17
4 Conclusies	19
A Selectie afval-techniek-combinaties	25
B Chemische samenstelling afvalstromen	33
C Emissieniveaus BLA en AVI	35
D Bijstoken in poederkoolcentrale	37
E Bijstoken in cementoven	41
F Wervelbedverbranding	45
G Vergassing in circulerend wervelbed	53
H Vergassen in PEC	57
I Overzicht emissies t.o.v. BLA en AVI	59
Literatuur	67



# Samenvatting

Dit onderzoek is uitgevoerd door het Centrum voor energiebesparing en schone technologie (CE) in opdracht van het Ministerie van VROM, directie Lucht en Energie.

## Doelstelling

Doel van de studie is om het Ministerie van VROM inzicht te verschaffen in de emissies die bij niet-AVI-afvalverwerkings-installaties kunnen optreden, zodat hierop een adequaat emissiebeleid voor niet-AVI-afvalverwerkings-installaties kan worden gebaseerd. Daarbij gaat het in het bijzonder om het traceren van eventueel voorkomende emissies die niet in BLA zijn opgenomen, maar mogelijk wel problemen kunnen opleveren, zoals broom en jodium. Ook wil het Ministerie weten wat globaal gezien de verschillen in emissies zijn ten opzichte van de gemiddelde emissies van de AVI.

## Afbakening

De studie richt zich op afvalstromen en technieken die beschikbaar zijn of beschikbaar komen in Nederland voor thermische verwerking elders dan in een AVI. De beschouwde technieken zijn bijstoken, verbranden en vergassen. De beschouwde afvalstromen vallen onder de categorie *niet-gevaarlijk afval* en *geen zuivere biomassa*. (Gevaarlijk afval komt in een aparte, aanvullende notitie aan de orde.) Er worden geen afvalstromen beschouwd die in een eerdere studie van het CE<sup>1</sup> aan de orde zijn geweest.

## Referentie AVI

Als referentieniveau is gekozen voor het gemiddelde emissieniveau van een AVI in 1997.

## Beschouwde afval-techniek-combinaties

De geselecteerde afval-techniek-combinaties zijn weergegeven in onderstaande tabel.

---

<sup>1</sup> G.C. Bergsma et al., Beperking van emissies naar de lucht bij conversie van biomassa naar elektriciteit en afval, CE, april 1999.

Tabel 1 Beschouwde afval-techniek-combinaties

Afvalstroom	Technieken				
	Bijstoken		Verbranden	Vergassen	
	Bijstoken in poederkoolcentrale	Bijstoken in cementoven	Verbranden in wervelbed	Vergassen in wervelbed	Vergassen in PEC
RDF <sup>1</sup>	X	X	X	X	X
Grove fractie uit huisvuil			X		X
Lichte fractie uit huisvuil	X	X	X	X	X
Kunststof uit huisvuil	X	X	X	X	X
Rejects papierrecycling	X	X	X	X	X
Shredderafval			X		X
Brandbare restfractie BSA <sup>2</sup>			X		X
Autobanden		X	X		X
Tapijtkorrels	X	X	X	X	X

<sup>1</sup> RDF = Refused Derived Fuel, secundaire brandstof uit afval.

<sup>2</sup> BSA = Bouw- en Sloopafval.

## Resultaten

### A Emissieniveaus en kosten van rookgasreiniging t.o.v. BLA en AVI

De emissieniveaus van de verschillende afval-techniek-combinaties zijn berekend op basis van m.n. praktijkgegevens, schattingen en modellering. De onzekerheid in de emissieniveaus is:

- bij poederkoolcentrale, cementoven, wervelbedoven met beperkte rookgasreiniging: 20 - 40%;
- bij wervelbedoven met uitgebreide rookgasreiniging: 0 – 20%;
- bij de wervelbedvergasser en de PEC is de installatie uitgelijnd op de eisen die de verwerkende bedrijven stellen aan het stookgas.

#### 1 Bijstoken in poederkoolcentrale

- **Emissies t.o.v. BLA:** Bij de standaard-rookgasreiniging van een poederkoolcentrale zijn de emissies, toegerekend naar het deel van de rookgasstroom dat afkomstig is van bijstook, over het algemeen onder BLA-niveau. Dit geldt alleen niet voor HCl, dat, afhankelijk van de specifieke afvalstroom en het type poederkoolcentrale, een concentratie kan hebben tot 7x BLA-niveau.

**Emissies t.o.v. AVI 1997:** Bij de standaard-rookgasreiniging van een poederkoolcentrale zijn de emissies, toegerekend aan het bijstookdeel, voor een groot aantal emissies hoger dan AVI-niveau. Dit geldt m.n. voor stof, HCl, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, zware metalen, Cd en PCDD/F. Concentraties van zware metalen en cadmium kunnen tot 2x hoger zijn dan AVI-niveau, de concentratie van PCDD/F tot 11x hoger.

- **Mogelijke extra rookgasreiniging:** Door toepassing van een doekfilter met absorbens-injectie is het mogelijk om emissies ruim onder het gemiddelde niveau van de AVI te realiseren, met uitzondering van HCl (2 tot 5 keer hoger, afhankelijk van het type kolencentrale) en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> (3x hoger). De kosten van het doekfilter variëren, afhankelijk van de afvalstroom, van circa 50 tot 60 gulden per ton afval.

## 2 Bijstoken in cementoven

- **Emissies t.o.v. BLA:** Bij de standaard-rookgasreiniging van een cementoven worden de BLA-normen voor  $\text{NO}_x$  en CO vanwege de gebruikelijke bedrijfsvoering overschreden (met een factor van resp. 9 en 5). Daarnaast wordt de emissie van  $\text{C}_x\text{H}_y$  met een factor 3 overschreden. Concentraties van andere verontreinigingen bevinden zich onder BLA-niveau. (De emissies zijn toegerekend aan het bijstookdeel).
- **Emissies t.o.v. AVI 1997:** Bij de standaard-rookgasreiniging van een cementoven wordt het gemiddelde AVI-niveau overschreden voor de volgende emissies: stof (2x), HCl (tot 4x), CO (10x),  $\text{C}_x\text{H}_y$  (23x),  $\text{SO}_2$  (tot 4x),  $\text{NO}_x$  (10x), Hg (tot 3x), PCDD/F (125x).
- **Mogelijke extra rookgasreiniging:** De emissies van CO kunnen onder BLA-niveau worden gebracht door toepassing van een naverbrander. De kosten van de naverbrander bedragen circa 40 gulden per ton.

## 3 Wervelbedoven met beperkte rookgasreiniging:

- **Emissies t.o.v. BLA:** Bij toepassing van een beperkte rookgasreiniging (SNCR DeNox en doekfilter met absorbens-injectie) zijn vrijwel alle emissies onder BLA-niveau. Uitzonderingen zijn: HCl (tot 5x hoger),  $\text{SO}_2$  (tot 4x hoger) en  $\text{NO}_x$  (2x hoger). De kosten van deze beperkte rookgasreiniging variëren van circa 20 tot 65 gulden per ton afval.
- **T.o.v. AVI 1997:** Bij toepassing van de beperkte rookgasreiniging worden alleen bij HF en CO de restconcentraties van de AVI gehaald. Andere emissies zijn over het algemeen hoger dan AVI-niveau, enkele specifieke afvalstromen daargelaten. Afhankelijk van de afvalstroom, kan de emissie van zware metalen tot 9x hoger zijn, van cadmium tot 5x en van kwik tot 2x.
- **Mogelijke extra rookgasreiniging:** Door toepassing van een uitgebreidere rookgasreiniging, bestaande uit SNCR DeNox, sproeidroger met actieve koolinjectie, doekfilter en tweetraps natte wasser, is het mogelijk de meeste concentraties van verontreinigingen in de rookgassen onder de gemiddelde restconcentraties van de AVI te brengen. Alleen de emissies van  $\text{C}_x\text{H}_y$ , zware metalen en dioxines, kunnen nog in beperkte mate hoger zijn (resp. maximaal 2x, 2x en 9x). De kosten van deze uitgebreide rookgasreiniging bedragen circa 40 tot 100 gulden per ton afval.

## 4 Wervelbedvergasser met inzet van het stookgas in een kolencentrale

- **Emissies t.o.v. BLA:** De wervelbedvergasser met inzet van het stookgas in een poederkoolcentrale heeft over het algemeen emissies die lager zijn dan BLA (uitgezonderd voor  $\text{NO}_x$ ).
- **Emissies t.o.v. AVI 1997:** De wervelbedvergasser met inzet van het stookgas in een poederkoolcentrale heeft voor de meeste stoffen concentraties die lager zijn dan het gemiddelde AVI-niveau. Uitzonderingen zijn  $\text{NO}_x$  (5x hoger),  $\text{SO}_2$  (afhankelijk van de afvalstroom tot 6x hoger),  $\text{C}_x\text{H}_y$  en PCDD/F.
- De lage concentraties van verontreinigingen in de rookgassen zijn een gevolg van de eisen die de poederkoolcentrale stelt aan het geproduceerde stookgas.

## 5 PEC

- **Emissies t.o.v. AVI 1997:** De PEC scoort op alle emissies lager dan AVI (en dus ook dan BLA). Dit is een gevolg van de eisen die de industrie stelt aan het geproduceerde synthesesgas, conform de praktijkinitiatieven die er zijn voor toepassing van de PEC.

## *B Emissies van toxische stoffen buiten BLA*

- De concentraties van enkele toxische stoffen buiten BLA (Ag, Ba, Be, Br, Mo, Zn) zijn in alle gevallen laag, zodat geen risico's bestaan voor de volksgezondheid. Er zijn in de geraadpleegde bronnen geen aanwijzingen gevonden voor het voorkomen van andere potentieel toxische stoffen, zoals I en TI.

## *C Vergelijking met CE-studie naar verwerking van biomassastromen<sup>1</sup>*

- De rookgasreiniging die bij verbranding in een wervelbedoven nodig is om op BLA- en gemiddeld AVI-niveau te komen is bij verwerking van afval relatief duurder dan bij biomassa. Bij toepassing van de uitgebreide rookgasreiniging<sup>2</sup> variëren de kosten bij verbranding van biomassa van 25 tot 45 gulden per ton biomassa, bij verbranding van afval van 40 tot 100 gulden. De rookgasreinigingskosten per gewichtseenheid brandstof zijn hoger door de hogere stookwaarde van het niet-organische afval en het navenant grotere rookgasvolume per gewichtseenheid.

---

<sup>2</sup> SNCR DeNox, sproeidroger met actieve koolinjectie, doekfilter en tweetraps natte wasser.





# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Het Ministerie van VROM, directie Lucht en Energie, wil inspelen op actuele ontwikkelingen op het gebied van afvalverwerking, zoals bijstoken, vergassen en verbranden van afval in elektriciteitscentrales en industriële installaties. Momenteel hebben niet-AVI's voor afvalverwerking te maken met emissie-eisen op basis van NeR (Nederlandse emissie Richtlijnen) of BEES (Besluit Emissie Eisen Stookinstallaties). De vraag is of het emissiebeleid dat VROM nu heeft voorgesteld voor organische afvalstromen voldoende is of dat er bijvoorbeeld probleememissies optreden die bij de huidige emissieregimes buiten beeld blijven of dat de emissies veel hoger zijn dan van een AVI.

## 1.2 Doelstelling

Deze studie zal door VROM worden gebruikt als toets voor de milieuhygiënische gevolgen van het verbreden van het door VROM voorgestelde "emissiebeleid voor afval en biomassa", naar afvalstromen die niet van organische oorsprong zijn. De AVI's vervullen in deze studie de functie van referentie. Reden hiervoor is dat VROM de werkelijke emissietoename in beeld wil krijgen, en niet de theoretische op basis van de BLA-eisen.

In deze studie gaat het in het bijzonder om het traceren van eventueel voorkomende emissies die niet in BLA zijn opgenomen, maar mogelijk wel problemen kunnen opleveren, zoals broom en jodium. Ook is er behoefte aan inzicht in de rookgasreiniging die eventueel moet worden toegepast om de emissies van de niet-AVI-afvalverwerkende installaties op het niveau van de BLA-normemissies te krijgen en daarnaast, als referentie, welke rookgasreiniging toegepast zou kunnen worden om het gemiddelde emissieniveau van de AVI te halen.

In deze studie wordt alleen gekeken naar niet-gevaarlijke afvalstromen. Gevaarlijk afval komt in een aparte, aanvullende notitie aan de orde.

## 1.3 Afbakening

Als afbakening van het onderzoeksveld wordt gehanteerd:

### *Afvalstromen*

- 1 Niet-gevaarlijk afval.
- 2 Geen zuivere biomassa.
- 3 Geen afvalstromen die in de eerdere BTC-studie [8] aan de orde zijn gekomen.

### *Technieken*

- 4 Vergassen, verbranden en bijstoken van afval.
- 5 AVI is referentietechniek.
- 6 Stand der techniek (behalve bij bijstoken in poederkoolcentrale en bijstoken in andere bestaande industriële installaties).

### *Emissies*

- 7 Emissies die in BLA aan de orde komen.
- 8 Potentiële probleememissies die buiten BLA vallen.
- 9 Analyse van NO<sub>x</sub> heeft lage prioriteit vanwege apart beleid hiervoor.

Verder gaat het om Nederland, dus Nederlandse afvalstromen en Nederlandse technieken. De tijdshorizon is huidige praktijk en verwachtingen op de korte termijn.

## **1.4 Werkwijze**

Om de doelstelling te realiseren is de volgende werkwijze gehanteerd:

- 1 Inventariseren van afvalstromen die beschikbaar zijn (nu of binnenkort) voor bijstoken, verbranden of vergassen anders dan in een AVI (al dan niet met gelijktijdige energie-opwekking).
- 2 Chemische samenstelling van de afvalstromen bepalen en gelijksoortige afvalstromen samenvoegen.
- 3 Logische selectie maken van combinaties van afvalstromen en afvalverwerkingstechnieken (bijstoken, verbranden en vergassen).
- 4 Globaal analyseren van de emissies die optreden bij de verwerking van de afvalstromen in de afvalverwerkingstechnieken.
- 5 Globaal analyseren van de rookgasreiniging die (eventueel) nodig is om de emissies te laten voldoen aan:
  - BLA-niveau;
  - het gemiddelde emissieniveau van een AVI.

Bij de analyses van emissies en kosten van eventuele rookgasreiniging ligt de nadruk op het bepalen van *ordegroottes*. Waar mogelijk is gebruik gemaakt van eerder ontwikkelde modellen uit de BTC-studie, eventueel met geringe aanpassingen. Verder is gebruik gemaakt van literatuur, raadpleging van experts en eigen inzichten.

## **1.5 Opbouw van het rapport**

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 2 staat een overzicht van de beschouwde afval-techniek-combinaties en de (technische) uitgangspunten voor de technieken en rookgasreiniging. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de resultaten van de studie, te weten de vergelijking van de emissies van de diverse afval-techniek-combinaties met BLA- en AVI-niveau en de kosten van rookgasreiniging. Hoofdstuk 4 bevat de conclusies. In dit hoofdstuk wordt ook een beknopte vergelijking gemaakt met de resultaten van de BTC-studie [8] op het gebied van rookgasreiniging.

In Bijlage A staat een onderbouwing van de beschouwde afval-techniek-combinaties. Bijlage B geeft de chemische samenstelling van de beschouwde afvalstromen. Bijlage C geeft het referentieniveau voor de emissies, d.w.z. de emissie-eisen volgens BLA en de emissies van AVI's. In de bijlage D t/m H staan de analyses van de verschillende afval-techniek-combinaties (rookgassen in combinatie met wel/geen rookgasreiniging en kosten van rookgasreiniging). In bijlage I staat een overzicht van de emissies t.o.v. BLA- en AVI-niveau.



## 2 Uitgangspunten

Gezien het doel van de studie - inzicht krijgen in de (probleem)emissies die kunnen optreden als afvalstromen in een niet-AVI worden bijgestookt, verbrand of vergast -, is het noodzakelijk de totale "bandbreedte" van afvalstromen en technieken in beeld te krijgen die hiervoor nu of binnenkort beschikbaar zijn. Voor de overzichtelijkheid en het beperken van het aantal uit te voeren berekeningen, zijn afvalstromen van vergelijkbare samenstelling zo veel mogelijk samengenomen. Verder zijn - zoals eerder aangegeven in de "afbakening" (zie paragraaf 1.3) - gevaarlijk afval<sup>3</sup>, zuivere biomassa en afvalstromen die eerder in de BTC-studie [8] aan de orde zijn geweest, uitgesloten van selectie.

Gevaarlijke afvalstromen komen in een aparte, aanvullende notitie aan de orde.

### 2.1 Beschouwde afval-techniek-combinaties

In onderstaande tabel staat een overzicht van de geselecteerde afval-techniek-combinaties. In totaal gaat het om negen afvalstromen en vijf technieken.

De afvalstromen zijn geselecteerd op basis van beschikbaarheid (nu of binnenkort) voor bijstoken, verbranden of vergassen in een andere techniek dan een AVI en verscheidenheid aan fysische en chemische samenstelling. De technieken zijn geselecteerd op basis van geschiktheid voor het verwerken van de betreffende afvalstromen en op basis van het voorkomen van deze techniek in Nederland (nu of binnenkort). Een onderbouwing van deze selectie is te vinden in bijlage A.

Tabel 2 Beschouwde afval-techniek-combinaties

Afvalstroom	Technieken				
	Bijstoken		Verbranden	Vergassen	
	Bijstoken in poederkool-centrale	Bijstoken in cementoven	Verbranden in wervelbed	Vergassen in wervelbed	Vergassen in PEC
RDF <sup>1</sup>	X	X	X	X	X
Grove fractie uit huisvuil			X		X
Lichte fractie uit huisvuil	X	X	X	X	X
Kunststof uit huisvuil	X	X	X	X	X
Rejects papierrecycling	X	X	X	X	X
Shredderafval			X		X
Brandbare restfractie BSA <sup>2</sup>			X		X
Autobanden		X	X		X
Tapijtkorrels	X	X	X	X	X

<sup>1</sup> RDF = Refused Derived Fuel, secundaire brandstof uit afval.

<sup>2</sup> BSA = Bouw- en Sloopafval.

<sup>3</sup> Gevaarlijk afval komt aan de orde in een aparte, aanvullende notitie van het CE.

## 2.2 Kenmerken van afvalstromen

In onderstaande tabel staat een beknopte beschrijving van de geselecteerde afvalstromen.

Tabel 3 Beschrijving afvalstromen

Afvalstroom	belangrijkste componenten	stookwaarde (GJ/ton)	potentiële omvang <sup>1</sup> (kton/jaar)	schatting beschikbare omvang <sup>2</sup> (kton/jaar)
RDF	papier, kunststoffolies	20	1.100	700
Grove fractie uit huisvuil	papier, kunststoffen, hout, leer, rubber	16	1.700	1.000
Lichte fractie uit huisvuil	papier, kunststoffolies, GFT	18	1.700	200
Kunststof uit huisvuil	kunststoffen	35	400	200
Rejects papierrecycling	kunststoffen, papiervezels	15	?	90
Shredderafval	divers	16	180	180
Brandbare restfractie BSA	kunststof bouwproducten, sloophout, isolatiematerialen	15	380	300
Autobanden	rubber	32	?	?
Tapijtkorrels	getuft tapijt, wol of nylon	18	?	10

<sup>1</sup> Dit is de omvang van de afvalstroom wanneer de belangrijke componenten daadwerkelijk uit de primaire afvalstromen worden afgescheiden.

<sup>2</sup> Dit is de geschatte omvang van de afvalstroom die beschikbaar is voor verwerking elders dan in een AVI.

## 2.3 Uitgangspunten technieken en rookgasreiniging

Bij de drie technieken – bijstoken, verbranden en vergassen – is een aantal installaties/verwerkingswijzen geselecteerd die in Nederland representatief zijn voor deze technieken (nu of in de nabije toekomst). Daarbij zijn verschillende rookgasreinigingsniveaus toegepast, zowel de standaard-rookgasreiniging (waar het bestaande technieken betreft) als extra of alternatieve rookgasreiniging.

### Bijstoken in poederkoolcentrale

Bij bijstoken in poederkoolcentrale is uitgegaan van het huidige Nederlandse park van poederkoolcentrales (inclusief spreiding). Het gemiddeld vermogen van deze poederkoolcentrales is ca. 600 MW. Er is gerekend met 10 massa% bijstook van afval. De door bijstoken van afval veroorzaakte emissies zijn toegerekend aan het afvaldeel; er is dus niet gerekend met verdunning van de rookgassen met de van kolen afkomstige rookgassen.

Wat betreft de rookgasreiniging is gerekend met twee rookgasreinigingsniveaus:

- de standaard rookgasreiniging van het Nederlandse park, bestaande uit een elektrofilter voor stof, rookgasontzwaveling (ROI) en al dan niet een SCR voor NO<sub>x</sub>;
- extra rookgasreiniging met een doekfilter met actieve koolinjection.

### **Bijstoken in cementoven**

In deze studie is uitgegaan van de cementoven van ENCI met een vermogen van 100 MW<sub>input</sub> en 30% bijstook op energiebasis. In Nederland zijn geen andere cementovens. De door bijstoken van afval veroorzaakte emissies zijn toegerekend aan het afvaldeel.

### **Wervelbedoven**

Er is gerekend met een circulerend wervelbedoven met een inputvermogen van 75 MW. Voor deze studie hebben we gekeken naar twee verschillende rookgasreinigingsniveaus. Er is geen standaardrookgasreiniging voor een wervelbedoven aan te wijzen, omdat dit onder het huidige wettelijke regime mede afhankelijk is van de vraag of afval van derden of eigen afval wordt verwerkt. In deze studie is gerekend met een beperkte en een uitgebreide rookgasreiniging. De beperkte rookgasreiniging bestaat uit een doekfilter met SNCR en absorbens-injectie (uitlijning op NeR-niveau) en de uitgebreide rookgasreiniging bestaat uit SNCR DeNO<sub>x</sub>, sproeidroger, doekfilter en tweetraps natte wasser.

### **Vergassen in circulerend wervelbed**

In deze studie zijn we ervan uitgegaan dat de rookgasreiniging van de wervelbedvergasser is uitgelijnd op toepassing van het geproduceerde stookgas in een poederkoolcentrale. De eisen die bij inzet in een poederkoolcentrale worden gesteld aan de restconcentraties van verontreinigingen in het geproduceerde stookgas zijn hoog (zie bijlage G). Bij toepassing van het stookgas in STEG of chemische industrie zijn de eisen nog hoger, zodat hiermee niet apart is gerekend. De berekeningen van de concentraties van verontreinigingen zijn inclusief de verbranding van het stookgas in de poederkoolcentrale.

### **Vergassen in PEC**

In deze studie is uitgegaan van een PEC<sup>4</sup>-centrale die qua stookgasreiniging is uitgelijnd op inzet van het geproduceerde gas in de chemische industrie, conform de initiatieven waarin de PEC zal worden toegepast. De eisen die worden gesteld aan de restconcentraties van verontreinigingen in het geproduceerde stookgas zijn zeer hoog. Er is bij de berekening van de concentraties van verontreinigingen alleen rekening gehouden met de concentraties van anorganische, productgebonden verontreinigingen. Er is **geen** rekening gehouden met de procesgebonden emissies (NO<sub>x</sub>, CO en koolwaterstoffen) die optreden bij de inzet van het synthese gas in de industrie.

---

<sup>4</sup> PEC = Product- en EnergieCentrale.



## 3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de studie gepresenteerd. Het gaat hier om de vergelijking tussen de concentraties van verontreinigingen in de rookgassen van de afval-techniek-combinaties en twee referentieniveaus, te weten de emissienormen volgens BLA (Besluit Luchtemissies Afvalverbranding) en de restconcentraties van een AVI voor huisvuilverbranding. Voor de AVI is gerekend met de gemiddelde emissies in 1997 [7]. Omdat sommige resultaten gebaseerd zijn op meetgegevens, terwijl andere gebaseerd zijn op schattingen en berekeningen, is in dit hoofdstuk ook een paragraaf toegevoegd met een indicatie van de betrouwbaarheid van de resultaten.

Voor de precieze hoogte van de emissies in beide referentiesituaties verwijzen we naar bijlage C. Voor de onderbouwing van de resultaten verwijzen we naar de bijlagen D t/m H, waar de gegevens (ruwe rookgassen, rookgasreiniging) per techniek worden gepresenteerd, en bijlage I waarin een overzicht wordt gegeven van de verhouding van de emissies t.o.v. BLA- en AVI-niveau.

### 3.1 Emissies t.o.v. BLA- en AVI-niveau

#### 3.1.1 Kwalitatief overzicht

Tabel 4 Score van de technieken t.o.v. BLA-niveau

Component	Technieken						
	Bijstoken			Verbranden		Vergassen	
	poederkoolcentrale zonder doekfilter	poederkoolcentrale met doekfilter	cementoven	wervelbed met beperkte rookgas- reiniging	wervelbed met uitgebreide rookgas- reiniging	wervelbed met meestoken in poederkoolcentrale	PEC zonder mee- stoken
Stof	≈	<	<	≈	<	<	<
HCl	</> <sup>1,2</sup>	<	<	</> <sup>1</sup>	<	<	<<
HF	<<	<<	<<	<<	<<	<<	<<
CO	<	<	>	<	<	<	n.v.t.
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	<	<	>	<	<	<	n.v.t.
SO <sub>2</sub>	<	<	<	</> <sup>1</sup>	<	<	<<
NO <sub>x</sub>	</> <sup>2</sup>	</> <sup>2</sup>	>	>	<	</> <sup>2</sup>	n.v.t.
Som ZM	<	<	<<	<	<<	<<	<
Cd	<	<	<<	<	<	<<	<
Hg	<	<<	<<	<	<<	<<	<
PCDD/F	<<	<<	<<	<<	<<	<<	n.v.t.

**legenda:**

- ≈ emissieniveau ongeveer gelijk aan BLA
- > emissieniveau hoger dan BLA
- >> emissieniveau veel hoger dan BLA
- < emissieniveau lager dan BLA
- << emissieniveau veel lager dan BLA

<sup>1</sup> Afhankelijk van de specifieke afvalstroom.

<sup>2</sup> Afhankelijk van de specifieke kolencentrale waarin de afvalstroom of het stookgas wordt meegestookt.





Tabel 5 Score van de technieken t.o.v. AVI-niveau

Component	Technieken						
	Bijstoken			Verbranden		Vergassen	
	poederkoolcentrale zonder doekfilter	poederkoolcentrale met doekfilter	cementoven	wervelbed met beperkte rookgas- reiniging	wervelbed met uitgebreide rookgas- reiniging	wervelbed met meestoken in poederkoolcentrale	PEC zonder mee- stoken
Stof	≈	≈	>	>	≈	≈	>
HCl	>	</> <sup>1,2</sup>	>	>	≈	<	<
HF	<	<<	<<	<<	<	<<	<<
CO	<	<	>	<	<	<	n.v.t.
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	>	>	>>	>	>	>	n.v.t.
SO <sub>2</sub>	</> <sup>1,2</sup>	<	</> <sup>1</sup>	</> <sup>1</sup>	≈	</> <sup>1</sup>	<
NO <sub>x</sub>	</> <sup>2</sup>	</> <sup>2</sup>	>	>	≈	</> <sup>2</sup>	n.v.t.
Som ZM	</> <sup>2</sup>	<	<	</> <sup>1</sup>	</> <sup>1</sup>	<	>
Cd	</> <sup>2</sup>	<	<	</> <sup>1</sup>	≈	<	>
Hg	≈	<	</> <sup>1</sup>	</> <sup>1</sup>	<	<	>
PCDD/F	>	<	>>	>	</> <sup>1</sup>	>	n.v.t.

**legenda:**

- ≈ emissieniveau ongeveer gelijk aan AVI
- > emissieniveau hoger dan AVI
- >> emissieniveau veel hoger dan AVI
- < emissieniveau lager dan AVI
- << emissieniveau veel lager dan AVI

<sup>1</sup> Afhankelijk van de specifieke afvalstroom.

<sup>2</sup> Afhankelijk van de specifieke kolencentrale waarin de afvalstroom of het stookgas wordt meegeestookt.

Uit Tabel 4 blijkt dat bij de beschouwde afval-techniek-combinaties over het algemeen aan BLA wordt voldaan. Overschrijdingen zijn er bij een aantal afvalstromen voor HCl (poederkoolcentrales, wervelbedovens met beperkte rookgasreiniging) en SO<sub>2</sub> (wervelbedovens met beperkte rookgasreiniging) en bij de cementoven voor CO en koolwaterstoffen.

Zonder aanvullende rookgasreiniging zijn de rookgasconcentraties van poederkoolcentrales, cementovens en wervelbedovens bij een aantal verontreinigingen hoger dan de restconcentraties in de rookgassen van AVI's. Dit geldt o.a. voor de rookgasconcentraties van de componentgebonden verontreinigingen HCl en SO<sub>2</sub>. Daarnaast geldt dat bij wervelbedovens met beperkte rookgasreiniging ook de rookgasconcentraties van stof, zware metalen en voor sommige afvalstoffen ook de concentraties van Cd en Hg hoger zijn dan de gemiddelde restconcentraties bij AVI's. Voor cementovens geldt dat bij sommige afvalstromen de rookgasconcentratie van kwik hoger is dan AVI-niveau; bij de poederkoolcentrales geldt hetzelfde voor de cadmiumconcentratie in de rookgassen.

De restconcentraties in de rookgassen geproduceerd bij wervelbedvergasning en inzet van het stookgas in een poederkoolcentrale zijn door gasreiniging bij vergasser en poederkoolcentrale over het algemeen gelijk aan de gemiddelde restconcentraties bij AVI's. Bij inzet van het stookgas in een STEG zal na de vergasser geen extra reiniging meer plaatsvinden en zullen

de concentraties van kwik en chloor hoger zijn dan de gemiddelde restconcentraties bij AVI's.

### 3.1.2 Overschrijdingsfactoren

In onderstaande tabellen wordt voor de afval-techniek-combinaties waarbij een overschrijding van BLA, danwel het AVI-niveau plaatsvindt, de maximale overschrijdingsfactor (afgerond op hele getallen) gegeven. Deze factor geeft de verhouding weer tussen de rookgasconcentratie en het referentieniveau. Een '-' betekent dat er (afgerond) geen overschrijding is (factor  $\leq 1$ ). Voor een overzicht van alle overschrijdingsfactoren wordt verwezen naar bijlage I.

Tabel 6 Maximale overschrijdingsfactoren t.o.v. BLA

Component	Technieken						
	Bijstoken			Verbranden		Vergassen	
	poederkoolcentrale zonder doekfilter	poederkoolcentrale met doekfilter	cementoven	wervelbed met beperkte rookgas- reiniging	wervelbed met uitgebreide rookgas- reiniging	wervelbed met meestoken in poederkoolcentrale	PEC zonder mee- stoken
Stof	-	-	-	-	-	-	-
HCl	7	-	-	5	-	-	-
HF	-	-	-	-	-	-	-
CO	-	-	5	-	-	-	-
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	-	-	3	-	-	-	-
SO <sub>2</sub>	-	-	-	4	-	-	-
NO <sub>x</sub>	4	4	9	2	-	4	-
Som ZM	-	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-	-	-
Hg	-	-	-	-	-	-	-
PCDD/F	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 7 Maximale overschrijdingsfactoren t.o.v. AVI-niveau

Component	Technieken						
	Bijstoken			Verbranden		Vergassen	
	poederkoolcentrale zonder doekfilter	poederkoolcentrale met doekfilter	cementoven	wervelbed met beperkte rookgas- reiniging	wervelbed met uitgebreide rookgas- reiniging	wervelbed met meestoken in poederkoolcentrale	PEC zonder mee- stoken
Stof	6	-	2	5	-	-	-
HCl	53	5	4	33	-	-	-
HF	-	-	-	-	-	-	-
CO	-	-	10	-	-	-	-
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	3	3	23	2	2	3	-
SO <sub>2</sub>	7	-	4	38	-	6	-
NO <sub>x</sub>	5	5	10	2	-	5	-
Som ZM	2	-	-	9	2	-	-
Cd	2	-	-	5	-	-	-
Hg	-	-	3	2	-	-	-
PCDD/F	11	-	125	9	9	11	-

### 3.2 Grensconcentraties in de afvalstromen

In onderstaande tabel wordt aangegeven beneden welke gehalten van chloor, zwavel, fluor en kwik in de brandstof, met redelijke zekerheid kan worden gesteld dat BLA, respectievelijk de restconcentraties bij AVI's zullen worden gerealiseerd voor de emissies van SO<sub>2</sub>, HCl, HF en Hg.

De brandstofgehalten zijn berekend uitgaande van de voor de beschouwde technieken aangehouden verwijderingsrendementen van de rookgasreiniging voor SO<sub>2</sub>, HCl, HF en Hg en uitgaande van de aanname dat alle in de brandstof aanwezige chloor, zwavel, fluor en kwik in de rookgassen wordt afgevoerd. In de praktijk zal bij wervelbedovens een deel van de chloor, zwavel, fluor en kwik in de brandstof worden gebonden in de assen. De berekende grenswaarden zijn voor deze drie elementen dan ook een garantie-waarde.

Tabel 8 Grenswaarden voor BLA- en AVI-niveau

	Gewenste rookgasconcentratie (mg/Nm <sup>3</sup> , 11 vol% O <sub>2</sub> )	poederkoolcentrale zonder doekfilter <sup>1</sup>	poederkoolcentrale met doekfilter <sup>1</sup>	cementoven	wervelbedoven met beperkte rookgasreiniging	wervelbedoven met uitgebreide rookgasreiniging	wervelbedvergasser met inzet stookgas in poederkoolcentrale <sup>1</sup>
<b>a) grenswaarde voor BLA (mg/MJ brandstof)</b>							
zwavel	20	124	1.240	1.000	100	n.v.t.	124
chloor	9,7	54	540	486	97	n.v.t.	n.v.t.
fluor	0,95	2,7	54	47,5	47,5	n.v.t.	13
kwik	0,05	0,09	0,44	0,03	0,25	1,25	0,58
<b>b) grenswaarde voor AVI-niveau (mg/MJ brandstof)</b>							
zwavel	2,3	14	139	113	11	n.v.t.	14
chloor	1,4	7,5	75	68	13,6	n.v.t.	n.v.t.
fluor	0,10	0,3	5,4	4,8	4,8	n.v.t.	1,4
kwik	0,00	0,01	0,04	0,00	0,02	0,11	0,05

<sup>1</sup> Voor een gemiddelde poederkoolcentrale.

### 3.3 Kosten van rookgasreiniging

In onderstaande tabel is indicatief aangegeven met welke kosten de toepassing van extra rookgasreiniging om BLA- danwel AVI-niveau te realiseren bij de diverse technieken gepaard gaat.

Tabel 9 Kosten van rookgasreiniging

Rookgasreinigingstechniek	Voldoet bij de beschouwde afvalstromen aan:	kosten (gld/ton)
doekfilter na poederkoolcentrale	AVI-niveau	50 – 60
beperkte rookgasreiniging na wervelbedoven	BLA-niveau	25 – 60
uitgebreidere rookgasreiniging na wervelbedoven	AVI-niveau	45 – 100
naverbrander na cementoven	BLA-niveau	40

De variatie in de kosten van de eerste twee typen rookgasreiniging wordt veroorzaakt door verschillen tussen de verschillende afvalstromen. Voor de naverbrander is in de tabel het gemiddelde weergegeven van alle typen secundaire brandstof die in de ENCI zullen worden bijgestookt<sup>5</sup>.

### 3.4 Toxische stoffen buiten BLA

Bij de beschouwde afval-techniek-combinaties is gekeken naar de concentraties van enkele toxische stoffen die buiten BLA vallen, te weten Ag, Ba, Be, Br, Mo en Zn. De concentraties van deze verontreinigingen zijn in alle gevallen laag, zoals blijkt uit de tabellen in de bijlagen D t/m H. De risico's voor de volksgezondheid zijn daarom gering.

<sup>5</sup> 12 kton RWZI-slib, 10 kton rubber, 30 kton papierslib, 20 kton RDF [2].



Er zijn in de geraadpleegde bronnen geen aanwijzingen gevonden voor het voorkomen van andere potentieel toxische stoffen, zoals TI en I.

### **3.5 Onderlinge vergelijking afvalstromen**

Uit een onderlinge vergelijking van de verschillende afvalstromen aan de hand van de gegevens in de bijlagen D t/m H, blijkt dat kunststof uit huishoudelijk afval in vergelijking tot de andere beschouwde afvalstromen de laagste concentraties BLA-emissies heeft. Ook wat betreft de emissies buiten BLA is kunststof een schone afvalstroom: het bevat alleen een geringe hoeveelheid broom. Bij onderlinge vergelijking van alle negen afvalstromen (bij verbranding in wervelbedoven<sup>6</sup>) blijkt dat de brandbare restfractie uit BSA, autobanden en tapijtkorrels de afvalstromen zijn met de hoogste concentraties zware metalen, cadmium, kwik en dioxines en furanen. Op het gebied van HCl heeft de grove fractie uit huisvuil de hoogste emissies, gevolgd door shredderafval en de lichte fractie uit huisvuil. De hoogste SO<sub>2</sub>-concentratie komt voor bij autobanden, op afstand gevolgd door shredderafval.

### **3.6 Indicatie van onzekerheid**

Om de verschillende technieken onderling in het juiste perspectief te kunnen plaatsen wordt in deze paragraaf aangegeven op basis van welke informatie de resultaten zijn verkregen (zie hiervoor tevens de bijlagen D tot en met H). Tevens wordt indicatief aangegeven wat de onzekerheid is in de resultaten.

---

<sup>6</sup> De PEC komt hiervoor niet in aanmerking omdat de PEC in deze studie is uitgelijnd op toepassing van het synthesegas in de industrie, conform de initiatieven die er momenteel in Nederland zijn op dit gebied.

Tabel 10 Bron en geschatte betrouwbaarheid van de resultaten per techniek

Techniek	Bron	Indicatie van de onzekerheid
poederkoolcentrale	model op basis van praktijkgegevens	0 – 20%
doekfilter bij poederkoolcentrale	verwijderingsrendementen SO <sub>2</sub> , HCl, HF, Hg, dioxines: model op basis van praktijkgegevens verwijderingsrendementen zware metalen en Cd: evenredig aan stof	20 – 40%
cementoven	stof, SO <sub>2</sub> , HCl, HF, Hg: model op basis van praktijkgegevens procesgebonden emissies: MER	20 – 40%
wervelbedoven zonder rookgasreiniging	praktijkgegevens uit buitenland + schattingen	50%
beperkte rookgasreiniging bij wervelbedoven	verwijderingsrendementen: geschat op basis van praktijkervaringen buitenlandse AVI's	20 – 40%
uitgebreide rookgasreiniging bij wervelbedoven	verwijderingsrendementen: gebaseerd op praktijkervaringen Nederlandse AVI's	0 – 20%
wervelbedvergasser	gebaseerd op inputspecificaties van stookgas bij Amer 8	n.v.t. <sup>1</sup>
PEC	gebaseerd op inputspecificaties van stookgas bij chemische industrie	n.v.t. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Niet van toepassing, want de eisen die gesteld worden bij de verdere toepassing van het stookgas zijn uitgangspunt. Verwijderingsrendementen zijn hiervan afgeleid en niet gebaseerd op praktijkervaringen o.i.d.

#### Toelichting:

Met name de schattingen voor de concentraties van verontreinigingen in ruwe rookgassen kunnen een grote onzekerheid hebben. In de regel kan voor een bepaalde brandstof alleen op basis van praktijkervaringen met vergelijkbare brandstoffen een redelijke schatting worden gemaakt van de concentraties van verontreinigingen in de ruwe rookgassen. Deze ervaringen waren voor de in deze studie beschouwde afval-techniek-combinaties met name voor wervelbedovens niet altijd voorhanden. Bij ruwe rookgassen speelt ook de onzekerheid in de chemische samenstelling van de brandstoffen een grote rol.

De prestaties van rookgasreinigungsapparatuur zijn minder onzeker. In feite geldt dat de onzekerheid afneemt naarmate aan een strengere norm moet worden voldaan. (Dit is ook de reden waarom de onzekerheid bij de wervelbedoven zonder rookgasreiniging groter is dan met rookgasreiniging.) De rookgasreiniging wordt in dat geval zo uitgelegd dat grote fluctuaties in rookgasconcentraties kunnen worden opgevangen. De restconcentraties worden in verband met het moeten voldoen aan percentielwaarden in de regel tot ver onder de norm gereduceerd. De spreiding in de chemische samenstelling van de brandstof speelt dan ook een ondergeschikte rol.

### Emissieniveaus en kosten van rookgasreiniging t.o.v. BLA en AVI

#### *Onzekerheid in de emissieniveaus*

De emissieniveaus van de verschillende afval-techniek-combinaties zijn berekend op basis van m.n. praktijkgegevens, schattingen en modellering. De onzekerheid in de emissieniveaus is:

- bij poederkoolcentrale, cementoven, wervelbedoven met beperkte rookgasreiniging: 20 - 40%;
- bij wervelbedoven met uitgebreide rookgasreiniging: 0 – 20%;
- bij de wervelbedvergasser en de PEC is de installatie uitgelijnd op de eisen die de verwerkende bedrijven stellen aan het stookgas.

#### 1 Bijstoken in poederkoolcentrale

- **Emissies t.o.v. BLA:** Bij de standaard-rookgasreiniging van een poederkoolcentrale zijn de emissies, toegerekend naar het deel van de rookgasstroom dat afkomstig is van bijstook, over het algemeen onder BLA-niveau. Dit geldt alleen niet voor HCl, dat, afhankelijk van de specifieke afvalstroom en het type poederkoolcentrale, een concentratie kan hebben tot 7x BLA-niveau.
- **Emissies t.o.v. AVI 1997:** Bij de standaard-rookgasreiniging van een poederkoolcentrale zijn de emissies, toegerekend aan het bijstookdeel, voor een groot aantal emissies hoger dan AVI-niveau. Dit geldt m.n. voor stof, HCl,  $C_xH_y$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ , zware metalen, Cd en PCDD/F. Concentraties van zware metalen en cadmium kunnen tot 2x hoger zijn dan AVI-niveau, de concentratie van PCDD/F tot 11x hoger.
- **Mogelijke extra rookgasreiniging:** Door toepassing van een doekfilter met absorbens-injectie is het mogelijk om emissies ruim onder het gemiddelde niveau van de AVI te realiseren, met uitzondering van HCl (2 tot 5 keer hoger, afhankelijk van het type kolencentrale) en  $C_xH_y$  (3x hoger). De kosten van het doekfilter variëren, afhankelijk van de afvalstroom, van circa 50 tot 60 gulden per ton afval.

#### 2 Bijstoken in cementoven

- **Emissies t.o.v. BLA:** Bij de standaard-rookgasreiniging van een cementoven worden de BLA-normen voor  $NO_x$  en CO vanwege de gebruikelijke bedrijfsvoering overschreden (met een factor van resp. 9 en 5). Daarnaast wordt de emissie van  $C_xH_y$  met een factor 3 overschreden. Concentraties van andere verontreinigingen bevinden zich onder BLA-niveau. De emissies zijn toegerekend aan het bijstookdeel.
- **Emissies t.o.v. AVI 1997:** Bij de standaard-rookgasreiniging van een cementoven wordt het gemiddelde AVI-niveau overschreden voor de volgende emissies: stof (2x), HCl (tot 4x), CO (10x),  $C_xH_y$  (23x),  $SO_2$  (tot 4x),  $NO_x$  (10x), Hg (tot 3x), PCDD/F (125x).
- **Mogelijke extra rookgasreiniging:** De emissies van CO kunnen onder BLA-niveau worden gebracht door toepassing van een naverbrander. De kosten van de naverbrander bedragen circa 40 gulden per ton.

- 3 Wervelbedoven met beperkte rookgasreiniging:
- **Emissies t.o.v. BLA:** Bij toepassing van een beperkte rookgasreiniging (SNCR DeNox en doekfilter met absorbens-injectie) zijn vrijwel alle emissies onder BLA-niveau. Uitzonderingen zijn: HCl (tot 5x hoger), SO<sub>2</sub> (tot 4x hoger) en NO<sub>x</sub> (2x hoger). De kosten van deze beperkte rookgasreiniging variëren van circa 20 tot 65 gulden per ton afval.
  - **T.o.v. AVI 1997:** Bij toepassing van de beperkte rookgasreiniging worden alleen bij HF en CO de restconcentraties van de AVI gehaald. Andere emissies zijn over het algemeen hoger dan AVI-niveau, enkele specifieke afvalstromen daargelaten. Afhankelijk van de afvalstroom, kan de emissie van zware metalen tot 9x hoger zijn, van cadmium tot 5x en van kwik tot 2x.
  - **Mogelijke extra rookgasreiniging:** Door toepassing van een uitgebreidere rookgasreiniging, bestaande uit SNCR DeNox, sproeidroger met actieve koolinjectie, doekfilter en tweetraps natte wasser, is het mogelijk de meeste concentraties van verontreinigingen in de rookgassen onder de gemiddelde restconcentraties van de AVI te brengen. Alleen de emissies van C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, zware metalen en dioxines, kunnen nog in beperkte mate hoger zijn (resp. maximaal 2x, 2x en 9x). De kosten van deze uitgebreide rookgasreiniging bedragen circa 40 tot 100 gulden per ton afval.
- 4 Wervelbedvergasser met inzet van het stookgas in een kolencentrale
- **Emissies t.o.v. BLA:** De wervelbedvergasser met inzet van het stookgas in een poederkoolcentrale heeft over het algemeen emissies die lager zijn dan BLA (uitgezonderd voor NO<sub>x</sub>).
  - **Emissies t.o.v. AVI 1997:** De wervelbedvergasser met inzet van het stookgas in een poederkoolcentrale heeft voor de meeste stoffen concentraties die lager zijn dan het gemiddelde AVI-niveau. Uitzonderingen zijn NO<sub>x</sub> (5x hoger), SO<sub>2</sub> (afhankelijk van de afvalstroom tot 6x hoger), C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> en PCDD/F.
  - De lage concentraties van verontreinigingen in de rookgassen zijn een gevolg van de eisen die de poederkoolcentrale stelt aan het geproduceerde stookgas.
- 5 PEC
- **Emissies t.o.v. AVI 1997:** De PEC scoort op alle emissies lager dan AVI (en dus ook dan BLA). Dit is een gevolg van de eisen die de industrie stelt aan het geproduceerde synthese gas, conform de praktijkinitiatieven die er zijn voor toepassing van de PEC.

#### **Emissies van toxische stoffen buiten BLA**

- De concentraties van enkele toxische stoffen buiten BLA (Ag, Ba, Be, Br, Mo, Zn) zijn in alle gevallen laag, zodat geen risico's bestaan voor de volksgezondheid. Er zijn in de geraadpleegde bronnen geen aanwijzingen gevonden voor het voorkomen van andere potentieel toxische stoffen, zoals I en TI.



## Vergelijking met CE-studie naar verwerking van biomassastromen<sup>1</sup>

- De rookgasreiniging die bij verbranding in een wervelbedoven nodig is om op BLA- en gemiddeld AVI-niveau te komen is bij verwerking van afval relatief duurder dan bij biomassa. Bij toepassing van de uitgebreide rookgasreiniging<sup>7</sup> variëren de kosten bij verbranding van biomassa van 25 tot 45 gulden per ton biomassa<sup>8</sup>, bij verbranding van afval van 40 tot 100 gulden. De rookgasreinigingskosten per gewichtseenheid brandstof zijn voor de beschouwde niet-organische afvalstromen hoger door de hogere stookwaarde van het niet-organische afval en het navenant grotere rookgasvolume per gewichtseenheid. De investeringskosten voor rookgasreinigingsapparatuur nemen toe met het rookgasvolume. Voor de beschouwde niet-organische afvalstromen moet daarom per gewichtseenheid meer worden geïnvesteerd in rookgasreinigingsapparatuur dan per gewichtseenheid biomassa.

---

<sup>7</sup> SNCR DeNox, sproeidroger met actieve koolinjectie, doekfilter en tweetraps natte wasser.

<sup>8</sup> Deze kostenkengetallen zijn afgeleid uit [8]. De rookgasreiniging van de wervelbedoven is in die studie gemodelleerd naar analogie van een AVI, aangezien de AVI's momenteel, voor zover bekend, de enige installaties in Nederland zijn die moeten voldoen aan BLA. Deze kostenkengetallen zijn in principe ook geldig voor uitlijning op BLA-niveau. De kostenverschillen van de rookgasreiniging voor deze twee niveaus wordt alleen veroorzaakt door de verschillen in hoeveelheid toegepaste chemicaliën en energiegebruik; de kosten hiervan zijn klein in vergelijking tot de investeringskosten van de rookgasreinigingsinstallatie, die voor AVI- en BLA-niveau vrijwel hetzelfde is.



**Emissies uit bijstoken,  
verbranden en vergassen van  
niet-gevaarlijke afvalstromen**

in vergelijking tot BLA en AVI

**Bijlagen**

Delft, januari 2000

Opgesteld door: drs S.A.H. Moorman  
drs H.J. Croezen





## A Selectie afval-techniek-combinaties

In deze bijlage wordt een onderbouwing gegeven van de selectie van afval-techniek-combinaties die in deze studie zijn beschouwd.

### A.1 Inleiding

Het afval in Nederland komt, afhankelijk van de oorsprong van het afval, beschikbaar in een aantal stromen. In onderstaande tabel staat een overzicht van deze afvalstromen. Het gaat in deze tabel om afval dat niet-gevaarlijk is, dat geen zuivere biomassa is en dat beschikbaar is voor finale afvalverwerking<sup>9</sup>.

Tabel 11 Afvalstromen in Nederland (afgerond op 100 kton) |1|

Bron	peiljaar	omvang (kton droge stof/jaar)
Huishoudelijk afval	1996	3.500
Grof huishoudelijk afval	1993	600
Bouw- en sloopafval	1995	3.800
Shredderafval	1996	200
Industrieel afval	1993	2.100
Kantoor-, winkel- en dienstenaafval (KWD)	1993	1.900
TOTAAL		12.100

De huidige finale verwerking van dit afval gebeurt grotendeels in AVI's en via stortten. Dit laatste geldt met name voor shredderafval en bouw- en sloopafval. Daarnaast is in toenemende mate te zien dat deze stromen of delen van deze stromen worden afgescheiden voor verwerking elders dan in een AVI of op de stortplaats. Voor shredderafval en bouw- en sloopafval is hiervoor een noodzaak vanwege het stortverbod dat gaat gelden voor brandbaar afval. Voor andere afscheidingsinitiatieven geldt dat dit vanuit kosten oogpunt gunstig kan zijn, bijvoorbeeld wanneer het gaat om verwerking van het eigen bedrijfsafval.

In deze studie richten we ons speciaal op de afvalstromen die worden afgescheiden van de integrale afvalstroom en waarvan de finale verwerking niet in een AVI of op een stortplaats gebeurt.

### A.2 Selectiecriteria

#### *Selectiecriteria afvalstromen*

Als criterium voor selectie van een afvalstroom geldt:

- beschikbaarheid (nu of binnenkort) van de afvalstroom voor bijstoken, verbranden en/of vergassen in niet-AVI.

<sup>9</sup> Dit is afgeleid uit |1| door het verschil te nemen tussen de hoeveelheid vrijgekomen afval en de hoeveelheid herverwerkt afval.

Verder vallen een aantal afvalstromen op voorhand af, omdat ze niet passen binnen de scope van deze studie, te weten:

- gevaarlijk afval;
- zuivere biomassa;
- afvalstromen die in de BTC-studie [8] aan de orde zijn gekomen.

#### *Selectiecriteria technieken*

- vergassen, verbranden of bijstoken;
- beschikbaarheid (nu of binnenkort) voor verwerking van de specifieke afvalstromen.

### **A.3 Specifieke afvalstromen**

In onderstaande tabel staat een overzicht van de specifieke afvalstromen die in eerste instantie zijn geselecteerd voor deze studie (hiervan worden er nog een aantal samengenomen, die qua chemische samenstelling op elkaar lijken). Ter indicatie van de potentie van deze afvalstromen zijn ook de stookwaarde en de jaarlijkse omvang van de afvalstroom weergegeven. Dit laatste is op twee manieren weergegeven:

- de potentiële beschikbaarheid: dit is de totale hoeveelheid van de specifieke componenten in de hoofdafvalstromen (verschil van de vrijgekomen en de herverwerkte hoeveelheid [1]);
- verwachte beschikbaarheid voor verwerking elders dan in een AVI: een deel van de potentiële hoeveelheid zal namelijk niet worden afgescheiden, maar met de “mainstream” in AVI’s verbrand worden.

Deze selectie van specifieke afvalstromen is gebaseerd op [1] en [2]. Deze studies geven samen een goed beeld van de totale beschikbaarheid van afvalstromen voor specifieke doeleinden en concrete projecten/initiatieven op het gebied van afvalverwerking. Initiatieven voor afscheiding van een specifieke afvalstroom blijken vaak rechtstreeks gekoppeld te zijn aan de verwerking ervan.

Onder de tabel staat een toelichting per afvalstroom.

Tabel 12 Overzicht van beschouwde afvalstromen

Afvalstroom	Belangrijkste componenten	stookwaarde (GJ/ton)	potentiële omvang (kton/jaar)	schatting beschikbare omvang (kton/jaar)
RDF uit KWD-afval	Papier, kunststoffolies	20	800	600
RDF uit industrieel kantoor/kantine-afval	Papier, kunststoffolies	20	300	100
Grove fractie uit huisvuil	Papier, kunststoffen, hout, leer, rubber	16	1.700	1.000
Lichte fractie uit huisvuil	Papier, kunststoffolies, GFT	18	1.700	200
Kunststof uit huisvuil	Kunststoffen	35	400	200
Papier/kunststof uit industrieel procesafval	Papier, kunststoffen	20		
Rejects papierrecycling	Kunststoffen, papiervezels	15	?	90
Shredderafval	Divers	16	180	180
Brandbare restfractie BSA	Kunststof bouwproducten, sloophout, isolatiematerialen	15	380	300
Autobanden	Rubber	32	?	?
Tapijtkorrels	Getuft tapijt, wol of nylon	18	?	10

#### ***RDF uit KWD-afval en uit industrieel kantoor/kantine-afval***

Er bestaat momenteel een trend om RDF op specificatie te produceren uit KWD-afval en uit industrieel kantoor- en kantine-afval (zie bijvoorbeeld [1] t/m [3]). De trend wordt veroorzaakt doordat het momenteel mogelijk is om RDF tegen nultarief aan de kade af te leveren voor afvoer naar Scandinavië [2,3]. De RDF wordt daar toegepast als secundaire brandstof in energiecentrales. Ook de verwachte groei van de vraag naar RDF bij kolencentrales, hoogovens (met name in Duitsland) en cementindustrie speelt een rol. De productiecapaciteit voor RDF zal de komende jaren met meerdere honderden ktonnen toenemen door bouw van nieuwe of uitbreiding van bestaande scheidingsinstallaties [2,3].

#### ***Grove fractie uit huisvuil***

Op dit moment is er een ontwikkeling gaande om huisvuil te scheiden in een grove fractie, voornamelijk bestaande uit de hoogcalorische componenten van huisvuil en een (onbruikbare) fijne fractie, voornamelijk bestaande uit organisch materiaal en inert materiaal. Deze bewerking wordt momenteel al toegepast bij de Vagron scheidingsinstallatie, GAVI en de AVI van ARN; daarnaast zijn er meerdere initiatieven voor de bouw van een huisvuilscheidingsinstallatie naar het model van de installatie van Vagron.

Deze trend sluit aan bij een aantal ontwikkelingen op het gebied van de verwijdering van niet-apart ingezameld huisvuil, met name:

- het aanbod aan brandbaar huisvuil overstijgt de verwerkingscapaciteit van AVI's [2,6];
- de stookwaarde van het brandbare afval neemt door de (op veel plaatsen) succesvolle inzameling van GFT dusdanig toe dat problemen ontstaan voor de rentabiliteit van AVI's. De meeste AVI's zijn namelijk ontworpen voor afval met een lagere stookwaarde [2,6] (dit geldt niet voor de nieuwere AVI's).

#### ***Lichte fractie (papier/kunststof) en kunststof uit huisvuil***

Het is zeer waarschijnlijk dat een deel van de grove fractie uit huisvuil verder zal worden gescheiden met als doel de productie van een lichte fractie,

voornamelijk bestaande uit papier en kunststof of eventueel verdere scheiding in alleen kunststof. Bijstoken van het papier/kunststofmengsel of alleen kunststof uit huisvuil wordt, mede door het wegvallen van de Texaco vergasser voor kunststofafval, door de kunststofindustrie momenteel gezien als de enige op grote schaal realiseerbare route voor hoogwaardige verwerking van kunststofafval, zoals afgesproken in het Convenant Verpakkingen. Er is een initiatief voor het bijstoken van 200 kton papier/kunststofmengsel of kunststof (Subcoal-project).

#### ***Rejects papierrecycling***

Voor rejects van papierrecycling bestaat een initiatief waarin de rejects worden omgezet in brandstofkorrels. De beoogde afzet van de korrels zijn kolencentrales en cementindustrie. Het aanbod bedraagt 90 kton/jaar.

#### ***Shredderafval***

Shredderafval is bij AVI's ongewenst vanwege de hoge stookwaarde en het hoge gehalte aan (zware) metalen. Er zijn om die reden verschillende initiatieven voor separate verwerking van shredderafval. De initiatieven gaan uit van verwerking in een specifieke vergassingsinstallatie (180 kton/jaar) of van verbranding in een kleinschalige installatie (35 kton/jaar).

#### ***Brandbare restfractie BSA***

De restfractie van bouw- en sloopafval moet sinds kort conform het stortverbod voor brandbaar afval worden verbrand. Er wordt echter nog veel gestort met gedoogbeschikkingen. Afzet bij een AVI vindt slechts sporadisch plaats. De branche zelf overweegt verwerking in eigen beheer, hetzij in meerdere kleinschalige verbrandings- of vergassingsinstallaties, hetzij in één of enkele centrale installaties.

#### ***Papier/kunststof uit industrieel procesafval***

Het gaat hier om het industrieel afval dat procesgerelateerd is en is dus exclusief het industriële kantoor/kantine-afval, dat al apart wordt ingezameld. Het papier/kunststofmengsel uit industrieel procesafval wordt aangeboden aan dezelfde verwerkers als het RDF uit KWD-afval en het RDF uit industrieel kantoor/kantine-afval.

#### ***Autobanden***

Er is een inzamelingssysteem voor autobanden, waarbij de autobanden centraal worden verwerkt. Een deel hiervan gaat naar loopvlakvernieuwing of toepassing als vulstof, of wordt geëxporteerd. Het overblijvende deel wordt na voorbehandeling (scheiding in rubber en andere materialen) bijgestookt in de ENCI.

#### ***Tapijtkorrels***

Retourvloer Arnhem zal brandstofkorrels uit tapijtafval produceren. De beoogde productiecapaciteit is 10 kton/jaar.

### **A.3.1 Samennemen van afvalstromen**

Van de afvalstromen die in Tabel 12 zijn gepresenteerd, lijkt een aantal qua fysische en chemische samenstelling sterk op elkaar. Deze worden voor het beperken van het aantal analyses samengenomen. Het gaat om de volgende afvalstromen:



Tabel 13 Samenvoegen van afvalstromen

Specifieke afvalstromen	Samenstelling	Nieuwe benaming
RDF uit KWD-afval	voornamelijk papier,	RDF
RDF uit industrieel kantoor/kantine-afval	kleine hoeveelheid	
Papier/kunststof uit industrieel procesafval	kunststof	

### A.3.2 Niet-geselecteerde afvalstromen

Een aantal afvalstromen is wel onderzocht maar niet geselecteerd, omdat ze niet geschikt zijn voor bijstoken, verbranden of vergassen dan wel om andere redenen niet binnen de scope van deze studie vallen.

Dit geldt specifiek voor:

- restfractie huisvuil na afscheiding van papier en kunststof uit de grove fractie: deze heeft een te lage kwaliteit om anders te kunnen worden verwerkt dan in een AVI;
- oplosmiddelen (industrieel afval): is gevaarlijk afval;
- leerafval (industrieel afval): is gevaarlijk afval;
- reinigingsdienstafval [1]: is grotendeels biomassa, slechts kleine reststroom die in AVI gaat;
- ABI-slib: is slib van zware metalen en dus gevaarlijk afval.

### A.4 Technieken per afvalstroom

De verschillende verwerkingstechnieken stellen specifieke eisen aan de afvalstroom die erin verwerkt wordt. Bij bijstoken in een poederkoolcentrale moet het afval in zeer lichte poedervorm worden toegevoerd. Het afval moet hiervoor vooraf worden fijngemalen. Niet elk afval is hier geschikt voor. Bij bijstoken in de ENCI (cementoven) wordt 'fluffy' materiaal bestaande uit deeltjes van maximaal enkele centimeters groot ingezet. Bij de wervelbedverbranding- en vergassing en bij de PEC mogen de afvaldeeltjes voor een optimale verwerking maximaal 5 cm groot zijn.

In onderstaande tabel is per afvalstroom aangegeven voor welke afvalverwerkingstechniek in de praktijk een initiatief wordt ontplooid, welke technieken eventueel nog meer mogelijk zouden kunnen zijn en welke technieken niet in aanmerking komen.

Tabel 14 Verwerkingwijzen per afvalstroom

Afvalstroom	Verwachte praktijk	Eventuele andere Mogelijkheden	Niet waarschijnlijk/niet mogelijk
RDF	Wervelbedvergassing	Bijstoken in kolencentrale Bijstoken in cementoven Wervelbedverbranding	
Grove fractie uit huisvuil	Wervelbedverbranding Vergassen in PEC		Bijstoken in kolencentrale /cementoven
Lichte fractie uit huisvuil	Idem als RDF	Idem als RDF	
Kunststof uit huisvuil	Bijstoken in kolencentrale (Subcoal-project)	Wervelbedverbranding Vergassen in PEC Wervelbedvergassing Bijstoken in cementoven	
Rejects papierrecycling, omgezet in brandstofkorrels	Bijstoken in kolencentrales en cementindustrie	Wervelbedverbranding Vergassen in PEC Wervelbedvergassing	
Shredderafval	Kleinschalige vergassings- of verbrandingsinstallatie		Bijstoken in poederkoolcentrale; Wervelbedvergassing
Brandbare restfractie BSA	Kleinschalige vergassings- of verbrandingsinstallatie		Bijstoken in kolencentrale /cementoven; Wervelbedvergassing
Autobanden	Bijstoken in cementoven (ENCI)	Wervelbedverbranding	Bijstoken in kolencentrale; Wervelbedvergassing
Tapijtkorrels, omgezet in brandstofkorrels	Idem als brandstofkorrels uit rejects papierrecycling	idem als brandstofkorrels uit rejects papierrecycling	

### **RDF**

Op dit moment lopen er diverse initiatieven in Nederland waarin vergassing van RDF in een circulerend wervelbed is voorzien (vergassing van RDF in een circulerend wervelbed vindt overigens al plaats in Greve, Italië [5]). Verder is het ook mogelijk dat RDF wordt toegepast als bijstook bij kolencentrales, vergassing voor hoogovengas, bijstook in de cementindustrie en verbranding in een circulerend wervelbedoven.

### **Grove fractie uit huisvuil**

De grove fractie die door een scheidingsinstallatie is afgescheiden uit het huisvuil zal in de praktijk hetzij als een kwalitatief minder goede RDF worden aangeboden aan AVI's of andere thermische verwerkingsinstallaties, hetzij worden opgewerkt door afscheiding van componenten met betere brandstoftechnische eigenschappen.

Verwerking in een poederkoolcentrale is onwaarschijnlijk. Verkleining wordt sterk bemoeilijkt door de aanwezigheid van textiel. Verkleining tot de voor een kolencentrale gewenste deeltjesgrootte van circa 100 µm vergt, gezien de eigenschappen van componenten als leer, rubber en textiel, waarschijnlijk cryogeen malen. Vergassing in een wervelbed is eveneens niet waar-

schijnlijk. Uit ervaringen met RDF-vergassing bij Greve, Italië blijkt dat in een wervelbedvergasser alleen een goed gespecificeerde brandstof zonder metalen kan worden verwerkt [5]. De grove fractie uit huisvuil voldoet niet aan dit criterium.

#### **Lichte fractie uit huisvuil**

De lichte fractie uit huisvuil zal worden aangeboden aan dezelfde technieken als RDF.

#### **Kunststof uit huisvuil**

Bekend initiatief hiervoor is het Subcoal project. Het gaat hier om bijstoken in een kolencentrale. (De definitieve keuze tussen het verwerken van papier gemengd met kunststof of alleen kunststof is overigens nog niet gemaakt.) Verbranden van het kunststof in een wervelbedoven en vergassing in een PEC-centrale is in principe ook mogelijk.

#### **Rejects papierrecycling**

Voor rejects van papierrecycling bestaat een initiatief waarin de rejects worden omgezet in brandstofkorrels. De beoogde afzet van de korrels zijn kolencentrales en cementindustrie. Eventueel is ook verbranding in een circulerend wervelbed en vergassing in een wervelbed of PEC mogelijk.

#### **Shredderafval**

De bestaande initiatieven gaan uit van verwerking in een specifieke vergassingsinstallatie (180 kton/jaar) of van verbranding in een kleinschalige installatie (35 kton/jaar). Deze hebben gezamenlijk een verwerkingscapaciteit, die minimaal gelijk is aan de vrijkomende hoeveelheid shredderafval. Verwerking van shredderafval in een kolencentrale is niet goed mogelijk vanwege de negatieve invloed van het shredderafval op de vliegaskwaliteit van de kolencentrale. Bovendien zal verkleinen tot de voor een kolencentrale benodigde afmetingen veel moeite en investeringen kosten.

#### **Brandbare restfractie BSA**

De branche zelf overweegt verwerking in eigen beheer, hetzij in meerdere kleinschalige verbrandings- of vergassingsinstallaties, hetzij in één of enkele centrale installaties.

#### **Autobanden**

In de huidige praktijk wordt het rubber uit autobanden die ongeschikt zijn voor loopvlakvernieuwing verwerkt in de ENCI. Er zijn geen andere initiatieven voor verwerking, maar vergassen in een PEC en verbranden in een wervelbedoven behoren wel tot de mogelijkheden.

#### **Tapijtkorrels**

De tapijtkorrels van Retourvloer Arnhem zijn in principe bedoeld voor afzet in de cementindustrie in België en Frankrijk, maar verwerking in andere thermische installaties is ook mogelijk.

### **A.4.1 Niet-geselecteerde technieken**

Een aantal technieken en initiatieven van bedrijven is wel onderzocht maar niet geselecteerd, omdat ze niet (meer) beschikbaar zijn voor het bijstoken, verbranden of vergassen van afvalstromen. Dit geldt specifiek voor:

- Rockwool: heeft een stookproef uitgevoerd voor bijstoken van papierslib en zuiveringsslib; dit is stopgezet o.a. vanwege de beperkte beschikbaarheid van papierslib en het negatieve imago van zuiveringsslib [9];

- Philips Eindhoven: beschikte over een verbrandingsinstallatie voor verwerking van eigen productie-afval, dit is om diverse redenen stopgezet;
- het vergassen van plastic afval in hoogovens (zoals plaatsvindt bij Klöckner in Hamburg, Duitsland): geen initiatief voor in Nederland.

## A.5 Overzicht

In onderstaande tabel staat een overzicht van de geanalyseerde afval-techniek-combinaties. Daarbij zijn afvalstromen van diverse oorsprong maar met vergelijkbare chemische samenstelling samengevoegd, zoals aangegeven in paragraaf A.3.2.

Tabel 15 Overzicht van geanalyseerde afval-techniek-combinaties

Afvalstroom	Technieken				
	Bijstoken		Verbranden	Vergassen	
	Bijstoken in poederkool-centrale	Bijstoken in cementoven	Verbranden in wervelbed	Vergassen in wervelbed	Vergassen in PEC
RDF	X	X	X	X	X
Grove fractie uit huisvuil			X		X
Lichte fractie uit huisvuil	X	X	X	X	X
Kunststof uit huisvuil	X	X	X	X	X
Rejects papierrecycling	X	X	X	X	X
Shredderafval			X		X
Brandbare restfractie BSA			X		X
Autobanden		X	X		X
Tapjtkorrels	X	X	X	X	X

## B Chemische samenstelling afvalstromen

Component	Afvallstromen								
	Shredderafval	groe fractie uit HHA	lichte fractie uit HHA	kunststof uit HHA	Autobanden	rejects papierre-cycling	RDF	tapijtkorrels	Rest BSA
water	6%	23%	23%	10%	3%	44%	20%		16%
as	40%	8%	7%	4%	12,58%	8%	7%	14%	3%
<b>macro-elementen (gewichts% in de natte stof)</b>									
C	36%	36%	40%	73%	76,24%	34%	44%	39%	43%
H	5%	5%	6%	12%	6,53%	6%	7%	5%	6%
O	11%	21%	22%			7%	19%	26%	32%
N	1,9%	0,6%	0,4%	0,1%	0,19%	0,1%	0,3%	2,4%	0,3%
S	0,3%	0,2%	0,2%	0,0%	1,46%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%
<b>asvormende elementen (m.u.v. S en Cl) (mg per kg natte stof)</b>									
Al									
Ca								181665	
Fe	61000	800	375	-	100.000	90	324	-	684
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Na	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-	655	588	40	-	139	454	-	75
Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ti	8000	146	73	-	-	11,5	82	-	111
<b>overige micro- en sporenelementen (mg per kg natte stof)</b>									
As	10	12,99	8,01	3,00	5	1,56	5,87	5	5,18
Ba	-	-	-	-	10	-	-	24	-
Cd	30	25,98	15,43	9,00	0,02	5,88	14,97	0,20	13,78
Cl	5300	7799	5336	1830	2000	1288	2400	3500	14683
Co	20	99,23	78,45	0,09	200	6,75	52,46	3,00	59,64
Cr	460	183,97	102,70	22,50	100	24,18	102,41	4,00	190,06
Cu	5000	566,96	375,98	90,00	15	132,00	324,98	10,00	210,48
F	-	0,20	0,23	-	-	0,07	0,19	-	0,04
Hg	-	0,13	0,11	0,09	0,00	0,06	0,11	0,01	0,80
Mn	-	221,77	211,13	9,00	15	70,20	194,80	-	556,90
Mo	-	37,84	28,15	-	10	1,44	17,59	3,20	5,48
Ni	348	117,22	95,06	0,90	10	20,72	80,29	0,92	136,72
Pb	2552	204,59	163,40	225,00		111,48	167,71	9,00	281,31
Sb	200	18,52	7,36	9,00	0,01	3,36	9,00	10,00	27,17
Se	-	-	-	-	150	-	-	0,04	-
Sn	10	0,13	0,07		0,01	-	-	-	0,60
Te	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	10	50,40	33,70	22,50	1,00	8,34	23,76	2,50	3,52
Zn	8000	322	175	-	16000	33,1	197	250	1840
<b>nieuwe componenten</b>									
Ag	-	7,92	6,55	-	-	1,68	5,95	0,02	1,75

Component	Afalstromen								
	Shredderafval	grove fractie uit HHA	lichte fractie uit HHA	kunststof uit HHA	Autobanden	rejects papierrecycling	RDF	tapijtkorrels	Rest BSA
Be	-	0,85	0,52	-	-	0,02	0,36	0,02	0,09
Br	-	2,93	4,10	20,00	-	7,20	6,25	-	1,25
<b>Stookwaarde (GJ/ton)</b>	16,11	16,19	18,33	35,02	31,70	15,29	20,50	17,50	18,97
<b>Verh. S/Cl</b>	0,62	0,20	0,28	0,05	7,31	0,39	0,54	0,31	0,06

Bronnen:

- RDF, grove fractie uit huisvuil, lichte fractie uit huisvuil, kunststof uit huisvuil, rejects papierindustrie, restfractie BSA: berekend op basis van [31];
- tapijtafval; [29];
- shredder; [28];
- autobanden: [22].

## C Emissieniveaus BLA en AVI

In de volgende tabel staan de emissie-eisen volgens BLA en de gemiddelde emissies van een AVI voor huisvuilverbranding in 1997 [7]<sup>10</sup>.

Tabel 16 Rookgasemissienormen volgens BLA en rookgasemissies AVI in 1997 (11 vol% O<sub>2</sub> droge rookgassen)

Component	BLA mg/Nm <sup>3</sup>	Emissie AVI (1997)	
		mg/Nm <sup>3</sup>	% BLA
Stof	5	1	20 %
HCl	10	1,4	14 %
HF	1	0,08	8 %
CO	50	24,32	49 %
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	10	1,1	11 %
SO <sub>2</sub>	40	4,5	11 %
NO <sub>x</sub>	70	63	90 %
Som zware metalen	1	0,06	6 %
Cd	0,05	0,0034	7 %
Hg	0,05	0,0044	9 %
PCDD/PCDF	0,1 * 10 <sup>6</sup>	0,16 * 10 <sup>9</sup>	0,2 %

<sup>10</sup> Oorspronkelijke cijfers in grammen per ton rookgas. Dit is omgerekend met de aanname van een rookgasvolume van 5000 Nm<sup>3</sup> per ton.





## D Bijstoken in poederkoolcentrale

### D.1 Procesbeschrijving

In Nederland worden voor de productie van elektriciteit uit steenkool alleen dry bottom boilers voor verpoederde brandstof (poederkoolcentrales) gebruikt. De temperatuur in de vuurhaard is bij deze boilers 1.400°C tot 1.700°C. Door de hoge temperatuur worden zouten van zwavel, chloor en fluor voor een groot deel afgebroken of omgezet in vluchtige verbindingen. Er wordt qua procesvoering gestreefd naar een hoge uitbrand, enerzijds om de brandstof optimaal te benutten en anderzijds om de cementindustrie, waar het vlieggas wordt afgezet, voldoende kwaliteit te kunnen leveren (d.w.z. geen roetdeeltjes in het vlieggas).

De zeven productie-eenheden in Nederland hebben vrijwel allemaal een vermogen van circa 600 MW<sub>e</sub>. Alle eenheden zijn uitgerust met een viervelds elektrofilter en een rookgasontzwavelingseenheid (ROI), gebaseerd op het kalksteen-gipsproces (zie Tabel 17). Bij twee eenheden (Gelderland 13, Amer 8) is een high dust SCR aanwezig. Bij andere eenheden zijn verschillende primaire maatregelen, zoals aanbrengen van low-NO<sub>x</sub> branders genomen.

Tabel 17 Technische gegevens poederkoolcentrale

Poederkoolcentrale	
Temperatuur	± 1400° C
Binding Cl, S, F in as	Gering
menging zuurstof/brandstof	Goed
Standaard rookgasreiniging	Elektrofilter (stof) ROI (zwavel) SCR (NO <sub>x</sub> ) (alleen bij Amer 8 en Gelderland 13)

### D.2 Rookgassen zonder extra rookgasreiniging

De bij bijstoken van afvalstoffen in een poederkoolcentrale optredende emissies van SO<sub>2</sub>, HCl, HF, Cd, Hg en overige zware metalen zijn in deze studie berekend met een bij het CE beschikbaar emissiemodel. Het model is gebaseerd op door de KEMA verzamelde informatie over emissies bij poederkoolcentrales in relatie tot de chemische samenstelling van de brandstof [32]. Het model is op basis van informatie van de productiebedrijven (zie BTC-studie [8]) aangepast voor wat betreft de verwijderingsrendementen van de rookgasreiniging voor SO<sub>2</sub>, HCl, HF en Hg. De verwijderingsrendementen voor deze stoffen bedragen, gemiddeld over alle zeven poederkoolcentrales in Nederland, respectievelijk 92%, 92%, 86% en 71%.

Voor de concentraties van NO<sub>x</sub>, CO, koolwaterstoffen en dioxines in de gereinigde rookgassen zijn praktijkcijfers gehanteerd (o.a. [26]). Ook is rekening gehouden met verschillen in NO<sub>x</sub>-concentratie in de rookgassen van verschillende eenheden.

Vanwege de verschillen tussen de diverse centrales zijn voor NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, HF en Hg een spreiding van de rookgasconcentratie na reiniging door de al

aanwezige rookgasreiniging gegeven. N.B. De rookgasconcentraties nemen niet lineair toe met de concentraties van verontreinigingen in de brandstof (zie bijlage B), vanwege verschillen in rookgasvolume per gewichtseenheid brandstof.

Tabel 18 Ruwe rookgassen van bijstoken in poederkoolcentrales zonder extra rookgasreiniging, met spreiding (in mg/Nm<sup>3</sup>, 11 vol% O<sub>2</sub>)

Component	BLA-norm	Afalstromen								
		RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
<b>in BLA</b>										
Stof	5	1 – 6		1 – 6	1 – 6	1 – 6				1 – 6
HCl	10	12 – 29		31 – 74	5 – 12	8 – 19				23 – 54
HF	1	1 – 5 E <sup>-3</sup>		2 – 7 E <sup>-3</sup>		0,6-2 E <sup>-3</sup>				
CO	50	5		5	5	5				5
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	10	3		3	3	3				3
SO <sub>2</sub>	40	12 – 25		17 – 33	1	6 – 12				13 – 27
NO <sub>x</sub>	70	50 – 293		50 – 293	50 – 293	50 – 293				50 – 293
Som ZM	1	0,02–0,1		0,02–0,1	0,02–0,1	8 -45 E <sup>-3</sup>				1 – 7 E <sup>-3</sup>
Cd	0,05	1 – 6 E <sup>-3</sup>		0,9-5 E <sup>-3</sup>	0,9-5 E <sup>-3</sup>	0,3-2 E <sup>-3</sup>				0,7-4 E <sup>-5</sup>
Hg	0,05	2 – 5 E <sup>-3</sup>		2 – 6 E <sup>-3</sup>	1 – 2 E <sup>-3</sup>	1 – 3 E <sup>-3</sup>				3 – 6 E <sup>-4</sup>
PCDD/F (ng)	0,1	2 E <sup>-3</sup>		2 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>				2 E <sup>-3</sup>
<b>ex BLA</b>										
Ag										
Ba										0,2-1 E <sup>-3</sup>
Be		0,4-2 E <sup>-5</sup>		0,5-3 E <sup>-5</sup>		0,0				0,0
Br		0,02		0,02	0,03	0,04				
Mo		0,6-4 E <sup>-3</sup>		1 –5 E <sup>-3</sup>		0,4-2 E <sup>-4</sup>				0,6-3 E <sup>-4</sup>
Zn		1 – 5 E <sup>-2</sup>		8 –44 E <sup>-3</sup>		1 – 7 E <sup>-3</sup>				6-34 E <sup>-3</sup>

De spreiding geeft de maximale en minimale concentraties, die in het huidige Nederlandse park van kolencentrales kunnen worden gerealiseerd.

Uit de tabel blijkt dat de concentraties van HCl en NO<sub>x</sub> in de rookgassen als gevolg van de spreiding tussen de poederkoolcentrales een spreiding vertonen rondom BLA-niveau. De gemiddelde NO<sub>x</sub>-concentratie in de rookgassen van alle 7 eenheden bedraagt overigens circa 200 mg/Nm<sup>3</sup> en is duidelijk hoger dan de concentratielimiet in BLA. De over het gehele productiepark gemiddelde emissie van HCl is alleen bij bijstoken van plastics uit huisvuil lager dan de BLA-norm.

De concentratie van stof ligt rond het BLA-niveau en varieert weinig. De overige onder BLA vallende emissies liggen onder de concentratie grenswaarden. De in de rookgassen aanwezige koolwaterstoffen bestaan evenals bij AVI's voor meer dan de helft uit laagmoleculaire aromaten, zoals xyleen en toluen. De concentratie van gechloreerde koolwaterstoffen is verwaarloosbaar. De concentratie van PAK's bedraagt evenals bij AVI's in de regel minder dan 1 µg/Nm<sup>3</sup>. Bijstoken van afval leidt voor zover bekend niet tot hogere emissies van koolwaterstoffen of tot hogere concentraties van zwaar toxische koolwaterstoffen.



Uit de tabel blijkt verder dat de concentraties in de rookgassen van poederkoolcentrales bij de best-case voor stof,  $\text{NO}_x$ , CO en de onder BLA vallende zware metalen (inclusief Cd) gelijk of lager is dan de bij AVI's gerealiseerde restconcentraties. Ook de rookgasconcentratie van kwik voldoet vanwege de lage kwikconcentratie in de beschouwde reststoffen aan BLA. De gemiddelde concentraties van de 7 poederkoolcentrales zijn echter alleen voor CO lager dan bij de Nederlandse AVI's.

De concentraties van niet-BLA verontreinigingen in de rookgassen zijn laag, zodat er weinig risico's zijn voor de volksgezondheid.

### **D.3 Mogelijke extra rookgasreiniging**

#### **D.3.1 Uitlijning op de restemissies van AVI's**

Om dezelfde restconcentraties als de in Nederland opgestelde AVI's te kunnen realiseren moeten behalve de concentratie van HCl ook de concentraties van onder andere  $\text{SO}_2$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$ , stof en dioxines worden gereduceerd. De meest voor de hand liggende methode hiertoe is naschakelen van een doekfilter waarin actieve kool of een mengsel van actieve kool en gehydrateerde kalk wordt geïnjecteerd of een vast-bed filter met actieve kool. Dergelijke 'politiefilters' worden in Nederland bijvoorbeeld toegepast bij AVR, ARN, HVC Alkmaar en AZN (AVI's) en bij ZAVIN (verbrandingsinstallatie voor ziekenhuisafval).

Tabel 19 geeft de geschatte restconcentraties na het doekfilter. Voor stof is uitgegaan van een restconcentratie van  $1 \text{ mg/Nm}^3$ . Aangenomen is dat de restconcentraties van zware metalen, inclusief Cd en de niet onder BLA vallende metalen evenredig met de stofconcentratie afnemen. Voor  $\text{SO}_2$ , HCl, HF, Hg en dioxines is conform [17] en [24] uitgegaan van een verwijderingsrendement van respectievelijk 90%, 90%, 95%, 80% en 99%.

Tabel 19 Rookgassen van bijstoken in poederkoolcentrales met nageschakeld doekfilter, met spreiding over het park (in mg/Nm<sup>3</sup>, 11 vol% O<sub>2</sub>)

Component	BLA-norm	Afvalstromen								
		RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapjtkorrels
<b>in BLA</b>										
Stof	5	1		1	1	1				1
HCl	10	1- 3		3 – 7	0 – 1	1 - 2				2 – 5
HF	1	0,6-3 E <sup>-4</sup>		0,8-4 E <sup>-4</sup>		0,3-1 E <sup>-4</sup>				
CO	50	5		5	5	5				5
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	10	3		3	3	3				3
SO <sub>2</sub>	40	1 - 2		2 - 3	0	1				1 - 3
NO <sub>x</sub>	70	50 – 293		50 - 293	50 – 293	50 - 293				50 - 293
Som ZM	1	0,02		0,02	0,02	8 E <sup>-3</sup>				1 E <sup>-3</sup>
Cd	0,05	1 E <sup>-3</sup>		1 E <sup>-3</sup>	9 E <sup>-4</sup>	3 E <sup>-4</sup>				7 E <sup>-6</sup>
Hg	0,05	0,4-1 E <sup>-3</sup>		0,5-1 E <sup>-3</sup>	2 - 5 E <sup>-4</sup>	3 - 7 E <sup>-4</sup>				0,5-1 E <sup>-4</sup>
PCDD/F (ng)	0,1	2 E <sup>-5</sup>		2 E <sup>-5</sup>	2 E <sup>-5</sup>	2 E <sup>-5</sup>				2 E <sup>-5</sup>
<b>ex BLA</b>										
Ag										
Ba										2 E <sup>-4</sup>
Be		4 E <sup>-6</sup>		5 E <sup>-6</sup>		0,0				0,0
Br		1 E <sup>-3</sup>		1 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>				
Mo		6 E <sup>-4</sup>		1 E <sup>-3</sup>		4 E <sup>-5</sup>				6 E <sup>-5</sup>
Zn		0,01		8 E <sup>-3</sup>		1 E <sup>-3</sup>				6 E <sup>-3</sup>

Uit de tabel blijkt dat bij toepassing van een doekfilter alle emissies behalve NO<sub>x</sub> (ver) onder BLA-niveau liggen.

De investeringskosten voor een doekfilter bij een poederkoolcentrale van ongeveer 600 MWe bedragen circa 30 miljoen gulden [8]. De jaarlijkse kosten bedragen bij toepassing van actieve kool als absorbers circa 7 miljoen gulden per jaar. De overeenkomstige kosten per ton reststof bedragen bij bijstoken van 10% reststof en bij volledig toerekening van de kosten naar de reststoffen ongeveer 50 tot 60 gulden per ton reststof.

De investeringskosten zullen in de praktijk aanmerkelijk hoger zijn. In de eerste plaats zullen extra kosten moeten worden gemaakt voor de integratie van het doekfilter in de bestaande rookgasreiniging en moet de installatie een bepaalde tijd worden stilgelegd om het doekfilter te kunnen aansluiten. In de tweede plaats vergt toepassing van een doekfilter dat de rookgassen worden opgewarmd tot boven het dauwpunt. Niet iedere poederkoolcentrale (bijvoorbeeld Hemweg 8 niet) beschikt over een GAVO. In dat geval zullen extra investeringen moeten worden gemaakt om alsnog de rookgassen te kunnen opwarmen tot boven het dauwpunt. Deze voorziening kan eventueel ook eenvoudigweg bestaan uit het bijmengen van een kleine hoeveelheid warme rookgassen uit ketel, LUVO of elektrofilter. Dit betekent echter wel een hogere belasting van het filter en een navenant hoger gebruik van chemicaliën.

## E Bijstoken in cementoven

### E.1 Procesbeschrijving

Voor bijstoken in een cementoven is uitgegaan van bijstoken bij de ENCI. Productie bij de ENCI vindt plaats middels het droge proces [13]. Er is geen precalcinator aanwezig [13,14]. Secundaire brandstof wordt enkel aan het hete trommelfront via de primaire brander ingebracht [10]. Er is geen mogelijkheid brandstoffen 'mid-killn' in te brengen.

Te verwerken secundaire brandstoffen moeten vanwege de invoer middels de primaire brander 'fluffy' zijn [10,12], tot deeltjes van enkele mm's kunnen worden vermalen of in die vorm worden aangeleverd [11] en moeten snel verbranden [10]. In de praktijk worden RDF uit bedrijfsafval en gemalen autobanden bijgestookt.

In deze studie is aangenomen dat van de beschouwde reststoffen de lichte fractie en plastics uit huisvuil, RDF uit bedrijfsafval, rejets van de papierindustrie, autobanden en tapijtkorrels in de cementoven van ENCI kunnen worden bijgestookt. Verwacht wordt dat shredderafval, de grove fractie uit huisvuil en de brandbare reststroom uit BSA niet aan de specificatie-eisen voldoen.

De rookgassen van de klinkeroven worden gereinigd middels een vijfvelde elektrofilter. De milieuvergunning staat een stofemissie van 15 mg/Nm<sup>3</sup> toe [15]. De werkelijke emissie bedraagt volgens [10] gemiddeld slechts 2 mg/Nm<sup>3</sup>.

Enkele processpecifieke eigenschappen zijn opgenomen in de onderstaande tabel.

Tabel 20 Technische gegevens cementoven

<b>Cementoven</b>	
Temperatuur	1500-2000° C
Vermogen (brandstof)	100 MW
Rookgasvolume (Nm <sup>3</sup> /uur)	± 200.000
Binding Cl, S, F in as	groot
menging zuurstof/brandstof	minder goed
Standaard rookgasreiniging	elektrofilter (stof) <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cementovens hebben een apart emissieregime: de emissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> mogen veel hoger zijn dan de NeR emissierichtlijn, zodat hiervoor geen rookgasreiniging nodig is.

### E.2 Rookgassen zonder extra rookgasreiniging

Tabel 21 geeft voor de zes beschouwde reststoffen een overzicht van de geschatte rookgasconcentraties. De gepresenteerde kentallen worden onder de tabel toegelicht. N.B. De rookgasconcentraties nemen niet lineair toe met de concentraties van verontreinigingen in de brandstof (zie bijlage B), vanwege verschillen in rookgasvolume per gewichtseenheid brandstof.

Tabel 21 Ruwe rookgassen van bijstoken in cementoven (in mg/Nm<sup>3</sup>, 11 vol% O<sub>2</sub>)

Component	BLA-norm	Afvallstromen								
		RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
<b>in BLA</b>										
Stof	5	2		2	2	2			2	2
HCl	10	2		6	1	2			1	5
HF	1	2 E <sup>-4</sup>		3 E <sup>-4</sup>		9 E <sup>-5</sup>				
CO	50	250		250	250	250			250	250
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	10	25		25	25	25			25	25
SO <sub>2</sub>	40	3		3	0	1			17	3
NO <sub>x</sub>	70	600		600	600	600			600	600
Som ZM	1	7 E <sup>-3</sup>		9 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>	3 E <sup>-3</sup>			2 E <sup>-3</sup>	4 E <sup>-4</sup>
Cd	0,05	1 E <sup>-4</sup>		1 E <sup>-4</sup>	4 E <sup>-5</sup>	5 E <sup>-5</sup>			0,0	2 E <sup>-6</sup>
Hg	0,05	0,01		0,01	5 E <sup>-3</sup>	7 E <sup>-3</sup>			6 E <sup>-5</sup>	1 E <sup>-3</sup>
PCDD/F (ng)	0,1	0,02		0,02	0,02	0,02			0,02	0,02
<b>ex BLA</b>										
Ag		4 E <sup>-5</sup>		5 E <sup>-5</sup>		2 E <sup>-5</sup>				0,0
Ba									4 E <sup>-5</sup>	2 E <sup>-4</sup>
Be		3 E <sup>-6</sup>		4 E <sup>-6</sup>		0,0				0,0
Br		6 E <sup>-3</sup>		5 E <sup>-3</sup>	0,01	9 E <sup>-3</sup>				
Mo		1 E <sup>-4</sup>		2 E <sup>-4</sup>		1 E <sup>-5</sup>			4 E <sup>-5</sup>	3 E <sup>-5</sup>
Zn		1 E <sup>-3</sup>		1 E <sup>-3</sup>		3 E <sup>-4</sup>			0,07	2 E <sup>-3</sup>

### Emissies van SO<sub>2</sub>, HCl, HF en Hg

Bij het schatten van de rookgasconcentraties van SO<sub>2</sub>, HCl en HF is rekening gehouden met het inbinden van zwavel, chloor en fluor in de klinker. Volgens [10] worden de drie elementen voor 99% of meer in de klinker gebonden.

Bij het schatten van de kwikconcentratie is aangenomen dat alle in de brandstof aanwezige kwik wordt geëmitteerd. Volgens [10] wordt (vrijwel) geen kwik in de vliegase aangetroffen. Dit duidt erop dat kwik ook niet neerslaat op de vliegase.

### Emissie van stof en andere zware metalen dan kwik

De rookgasconcentraties van stof bedraagt als gezegd gemiddeld 2 mg/Nm<sup>3</sup> (zie paragraaf E.1).

De rookgasconcentratie van de onder BLA vallende zware metalen is geschat op basis van beschikbare informatie over het gedrag van zware metalen in de cementoven. De meeste zware metalen worden vrijwel volledig in de klinker gebonden [2]. Slechts een deel blijft in de gasfase. Dit deel slaat over het algemeen volledig neer op de vliegase, omdat de rookgassen tot zo'n 150°C worden afgekoeld. Voor zover bekend komen alleen thallium en kwik bij ontstopping nog in de gasfase voor.

De rookgasconcentraties van zware metalen is geschat op basis van het verwijderingsrendement van het elektrofilter bij ENCI (99,993%) [15]. Aangenomen is dat de in de brandstof aanwezige zware metalen voor 99,993% worden verwijderd. De gehanteerde benadering geeft een overschatting van

de werkelijke concentraties, aangezien in de benadering geen rekening wordt gehouden met inbinden in de klinker.

#### **Buiten BLA vallende elementen**

De rookgasconcentraties van de niet onder BLA vallende zware metalen zijn op dezelfde manier berekend als de concentraties van de wel onder BLA vallende metalen. De concentratie van broom is berekend uitgaande van een inbindpercentage in de klinker van 99%.

#### **Procesgebonden emissies**

Uit de MER die is opgesteld voor de ENCI [33] zijn specifieke concentratiewaarden voor  $\text{NO}_x$ , CO en koolwaterstoffen bekend. De  $\text{NO}_x$ -concentratie bedraagt gemiddeld circa  $600 \text{ mg/Nm}^3$  [33]. De  $\text{NO}_x$  bestaat voornamelijk uit thermische  $\text{NO}_x$ . De concentratie is grotendeels onafhankelijk van de brandstofsamenstelling. De CO-concentratie bedraagt circa  $250 \text{ mg/Nm}^3$ . De concentratie van koolwaterstoffen bedraagt circa  $25 \text{ mg/Nm}^3$ . De koolwaterstoffen zijn volgens [22] voornamelijk aromaten met een laag molecuulgewicht (bijvoorbeeld benzeen), gehalogeneerde alifaten en ketonen. Deze verbindingen vormen bij AVI's eveneens het grootste deel van de in de rookgasen aanwezige koolwaterstoffen [25]. Er zijn geen gegevens gevonden over de concentraties van PAK's en PCB's. Verwacht wordt dat de concentraties vanwege de hoge temperatuur in de oven en omdat brandstof alleen via het hete trommelfront wordt ingevoerd vergelijkbaar zijn met de concentraties in de rookgasen van poederkoolcentrales ( $< 1,6 \mu\text{g/Nm}^3$  [26]). Bij bijstookproeven met versnipperde autobanden bij een cementoven in de V.S. werd geconstateerd dat de emissies van koolwaterstoffen in de rookgasen bij bijstoken eerder afnemen dan toenemen [22].

De concentratie van dioxines bedraagt voor de Duitse cementindustrie gemiddeld  $0,02 \text{ ng TEQ/Nm}^3$ . Uit bijstookproeven met plastic afval in Zwitserland is gebleken dat bijstoken geen significante invloed heeft op de dioxineconcentratie in de rookgasen. De concentratie is laag door de hoge temperatuur in de oven (tot  $2000^\circ\text{C}$  in de gasfase). Daardoor worden organische verbindingen vrijwel volledig vernietigd. Bovendien wordt chloor en zware metalen bij hoge temperatuur in de klinker gebonden, waardoor vorming van dioxines bij afkoelen van de rookgasen (DeNovo-synthese) onwaarschijnlijk is.

#### **Vergelijking met BLA en restconcentraties AVI**

Uit Tabel 21 blijkt dat de bij bijstoken in een cementoven optredende emissies naar verwachting alleen voor CO en  $\text{NO}_x$  de in BLA neergelegde normen zullen overschrijden. De concentraties van andere zware metalen dan kwik aan de andere kant liggen zelfs duidelijk lager dan de restconcentraties in de rookgasen van AVI's. De concentraties van de andere verontreinigingen zijn duidelijk lager dan de emissienormen, maar bereiken niet het niveau van de AVI's.

De concentraties van de niet onder BLA vallende elementen zijn vergelijkbaar met de concentraties van de wel onder BLA vallende zware metalen.

### **E.3 Mogelijkheden tot verdere reductie**

De rookgasconcentratie van CO kan worden verlaagd door procestechnische maatregelen, zoals een betere monitoring en sturing van het proces of verbranding met een hogere luchtvermaat. De laatste maatregel leidt echter mogelijk tot een hoger energieverbruik doordat het rookgasvolume en

daarmee de schoorsteenverliezen toenemen. Een andere mogelijkheid is toepassing van een katalytische naverbrander na het elektrofilter.

De concentraties van de overige verontreinigingen kunnen worden gereduceerd door toepassing van een vast bed filter met actieve cokes of een doekfilter waarin actieve kool wordt geïnjecteerd. Dergelijke installaties worden onder andere bij AVI's in Nederland en Duitsland toegepast. Uit praktijkervaringen bij Duitse AVI's blijkt dat de stofconcentratie na het filter 1 mg/Nm<sup>3</sup> of minder bedraagt. De restconcentraties van de overige verontreinigingen zullen na het filter lager of maximaal gelijk zijn aan de restconcentraties in de rookgassen van Nederlandse AVI's.

De investeringskosten voor een katalytische naverbrander zijn op basis van informatie uit [27] geschat op circa 9 miljoen gulden. De schatting heeft betrekking op een naverbrander met warmtewisselaar. Voor de warmtewisselaar is uitgegaan van een pinch van 40°C. De jaarlijkse kosten bedragen naar schatting 3 miljoen gulden, inclusief kosten voor vervanging van de katalysator om de drie jaar ( $\pm$  120.000 gulden/jaar) en kosten voor steunbrandstof ( $\pm$  1.020.000 gulden/jaar). Voor het schatten van de jaarlijkse vaste lasten is uitgegaan van de in [8] gehanteerde uitgangspunten.

De investeringskosten voor een doekfilter met injectie van actieve kool, inclusief randapparatuur bedragen circa 10 miljoen gulden. De jaarlijkse kosten zijn geschat op 2,5 miljoen gulden per jaar, inclusief de kosten voor consumptie van actieve kool en verbruik van elektriciteit.

ENCI heeft een vergunning voor het bijstoken van 72 kton reststoffen per jaar: 12 kton (d.s.) RWZI-slib, 10 kton rubber, 30 kton papierslib en 20 kton RDF. Toerekening van de jaarlijkse kosten voor rookgasreiniging naar de reststoffen geeft extra kosten van circa 40 gulden/ton reststoffen voor de katalytische naverbrander en van circa 35 gulden/ton reststoffen voor het doekfilter.



# F Wervelbedverbranding

## F.1 Procesbeschrijving

Voor verbranding van afval worden in verband met de reactiviteit van de brandstof en vanwege de gewenste goede uitbrand voornamelijk circulerende wervelbedovens toegepast. De getrapte verbranding en goede menging van verbrandingslucht en brandstof zorgen voor een lage concentratie van NO<sub>x</sub>, CO en koolwaterstoffen (zie ook onderstaande tabel voor enkele technische specificaties).

Tabel 22 Technische gegevens wervelbedoven

Wervelbedoven	
Temperatuur	800-1000° C
Binding Cl, S, F in as	brandstofafhankelijk gering
Menging zuurstof/brandstof	goed-zeer goed <sup>1</sup>
Standaard rookgasreiniging	hangt af van de specifieke techniek en de brandstof. Bijv. bij verbranding van rejects papierrecycling bij de papierfabriek in Arnhem (moet aan NeR voldoen) wordt toegepast: een elektrofilter (stof) en kalktoevoeging (zwavel).

<sup>1</sup> Dit hangt mede af van het type wervelbed. Bijv. een circulerend wervelbed heeft een betere zuurstof/brandstofmenging dan een stationair wervelbed.

Bij de analyse van emissies bij verbranding van reststoffen in een circulerende wervelbedoven is rekening gehouden met het feit dat de installatie zal moeten voldoen aan BLA of NeR Algemeen:

- aan BLA bij verwerking van afval van derden;
- aan NeR Algemeen bij bedrijfsinterne verwerking van eigen afval.

De analyse is om die reden als volgt opgezet. Er is eerst een schatting gemaakt van de ruwe rookgasconcentraties. Daarbij is enkel rekening gehouden met ontstopping van de rookgassen in de voor de ketel geplaatste primaire cyclonen. Vervolgens is geanalyseerd welke restconcentraties kunnen worden bereikt bij toepassing van een op BLA en NeR Algemeen uitgelegde rookgasreiniging. Vanwege het globale karakter van de studie is uitgegaan van de rookgasreinigingsinstallaties, zoals beschouwd in [8].

Verbranding in een circulerend wervelbed is overigens ook indicatief voor verbranding in bijvoorbeeld roosterovens. De rookgasconcentraties van SO<sub>2</sub>, HCl, HF en Hg zijn voor een roosteroven en wervelbedoven vergelijkbaar. De stofbelasting en de rookgasconcentraties van zware metalen is bij een roosteroven vergelijkbaar of lager dan bij een wervelbedoven. De concentraties van NO<sub>x</sub>, CO en koolwaterstoffen zijn bij de wervelbedoven ongeveer een factor 2 lager dan bij de roosteroven.

De voor verwerking van shredderafval toe te passen tweetraps verbrandingsinstallatie van Adin Energo zal lagere emissies geven dan de circulerende wervelbedoven. De installatie voldoet zonder rookgasreiniging al bijna aan BLA.

## F.2 Rookgassen zonder rookgasreiniging

De geschatte ruwe rookgasconcentraties worden hieronder gegeven in de tabel. N.B. De rookgasconcentraties nemen niet lineair toe met de concentraties van verontreinigingen in de brandstof (zie bijlage B), vanwege verschillen in rookgasvolume per gewichtseenheid brandstof.

Tabel 23 Rookgassen van wervelbedverbranding zonder rookgasreiniging (in mg/Nm<sup>3</sup>, 11 vol% O<sub>2</sub>)

Component	BLA-norm	Afalstromen								
		RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
<b>In BLA</b>										
Stof	5	7.080	10.300	8.800	2.800	10.600	49.500	3.500	7.800	17.700
HCl	10	217	921	552	74	141	570	434	119	23
HF	1	3 E <sup>-3</sup>	4 E <sup>-3</sup>	4 E <sup>-3</sup>		1 E <sup>-3</sup>		3 E <sup>-3</sup>		
CO	50	20	20	20	20	20	20	20	20	20
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SO <sub>2</sub>	40	127	197	168	6	59	569	14	1.698	14
NO <sub>x</sub>	70	200	200	200	150	150	300	300	150	300
Som ZM	1	94	188	120	20	45	1.060	169	29	5,6
Cd	0,05									
Hg	0,05	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01		0,09	0,00	0,0
PCDD/F (ng)	0,1	2	3	3	8	3	2	8	0	3
<b>Ex BLA</b>										
Ag		1	1	1		0,0		0,0		0,0
Ba									1	3
Be		0,0	0,0	0,0		0,0		0,0		0,0
Br		0,0	0,0	0,0	1	0,0		0,0		
Mo		2	5	3		0,0		1	1	0,0
Zn		19	41	20		4	984	212	929	31

Bij het schatten van de ruwe rookgasconcentraties van SO<sub>2</sub>, HCl, HF en Hg is uitgegaan van de in Tabel 24 gegeven percentages element die in de rookgassen worden afgevoerd.

Tabel 24 Afvoer van elementen in de rookgassen

	Afalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
S	70%	50%	50%	60%	100%	50%	50%	5%	50%
Cl	85%	90%	90%	75%	100%	90%	90%	5%	25%
F	70%	15%	15%	75%	100%	15%	15%	5%	50%
Hg	95%	95%	95%	100%	100%	95%	95%	100%	100%

De voor shredderafval en plastic afval gegeven percentages zijn gebaseerd op praktijkervaringen ([16,17]). Voor het brandbare restafval uit BSA is uitgegaan van verdelingspercentages voor sloophout uit [8], aangezien de brandbare restfractie voornamelijk uit sloophout bestaat. Voor de grove en lichte fractie en voor secundaire brandstof (RDF) uit bedrijfsafval is uitgegaan van de verdelingspercentages, zoals gehanteerd in het FACE-model van TNO voor roosterovens [19]. Voor verbranding in wervelbedovens zijn geen praktijkgegevens gevonden waaruit de verdelingspercentages voor hoogcalorische fracties uit huisvuil en bedrijfsafval kunnen worden afgeleid. Dezelfde benadering wordt toegepast in [17] en [20]. Voor autobanden en tapijtafval zijn geen gegevens over de verdeling van zwavel, chloor, fluor en kwik over de verbrandingsproducten gevonden. Voor autobanden is bij wijze van 'worst-case' benadering is uitgegaan van volledige afvoer van de elementen in de rookgassen. Voor tapijtafval is vanwege de hoge concentratie van kalksteen in het materiaal uitgegaan van binding van zwavel, chloor en fluor met 95% in de assen.

Bij het schatten van de stofconcentraties en concentraties van zware metalen in de ruwe rookgassen is aangenomen dat de brandstofas en de daarin aanwezige zware metalen volledig als vliegashout uit de oven wordt afgevoerd. Deze benadering is redelijk voor reststoffen waarin geen grove inerte bestanddelen aanwezig zijn. In de grove fractie uit huisvuil, shredderafval en autobanden zijn echter wel grove inerte bestanddelen aanwezig. De gemaakte schatting van de stofconcentratie is voor deze reststoffen dan ook een overschatting.

De voor verbranding van plastic gegeven concentraties zijn gebaseerd op praktijkproeven bij Ahlstrom en Ebara. De voor de lichte fractie uit huisvuil en RDF uit bedrijfsafval gegeven concentraties zijn gebaseerd op praktijkwaarden voor commerciële installaties. Voor rejects en de grove fractie uit huisvuil zijn dezelfde waarden aangehouden vanwege de onderlinge vergelijkbaarheid van de vier reststoffen. De vier reststoffen bestaan allemaal voor het grootste deel uit papier en kunststoffen. De voor autobanden gegeven waarden hebben betrekking op een stookproef bij EPI in een stationaire wervelbedoven [22]. Er werden geen koolwaterstoffen in de rookgassen gevonden.

De concentraties van CO, NO<sub>x</sub> en koolwaterstoffen kunnen door de goede menging van verbrandingslucht en brandstof en door de bufferwerking van het bed laag worden gehouden.

De concentratie van dioxines en furanen zal bij alle reststoffen behalve autobanden hoger zijn dan de grensconcentratie in BLA. Uit praktijkervaringen

bij Lundsfall (CFBC op RDF) blijkt echter dat de dioxines voor 99% of meer op de vliegase aanwezig is en door een goede stofafvang kan worden verwijderd.

Wervelbedovens worden in het buitenland toegepast voor de verwerking van gevaarlijk afval. Daarom mag worden verwacht dat de destructie van toxische koolwaterstoffen afdoende is.

### **F.3 Rookgasreiniging**

Tabel 25 en Tabel 26 geven respectievelijk de restconcentraties na reiniging met een op NeR Algemeen en BLA uitgelegde rookgasreiniging (respectievelijk "beperkte" en "uitgebreide" rookgasreiniging genoemd). De op NeR uitgelegde rookgasreiniging omvat een SNCR, een elektrofilter, injectie van water voor conditionering van de rookgassen en een doekfilter met injectie van een mengsel van actieve kool en gehydrateerde kalk. De op BLA uitgelegde rookgasreiniging omvat eveneens een SNCR en een elektrofilter en bestaat verder uit een sproeidroger met actieve kool injectie en nageschakeld doekfilter en een tweetraps natte wasser. Voor de specificaties van de rookgasreiniging wordt verwezen naar [8].

#### **F.3.1 Toepassing van beperkte rookgasreiniging**

Dit is een rookgasreiniging die is uitgelijnd op NeR Algemeen. De in onderstaande tabel gegeven restconcentraties vormen voor de verzurende en toxische verontreinigingen bij benadering de ondergrens van de met dit type rookgasreiniging realiseerbare emissiereductie.

Stof wordt door het elektrofilter en doekfilter verwijderd tot een restconcentratie van circa 5 mg/Nm<sup>3</sup>. Het is blijkens ervaringen bij Duitse AVI's mogelijk een restconcentratie van 1 à 2 mg/Nm<sup>3</sup> te realiseren. Dit vergt echter een doekfilter met een groter oppervlak en (dus) een hogere prijs. Zware metalen met uitzondering van kwik condenseren bij afkoelen in de ketel en door conditionering van de rookgassen en slaan neer op de vliegase.

De concentraties van SO<sub>2</sub>, HCl en HF worden met respectievelijk 90%, 95% en 99% verwijderd door gehydrateerde kalk. Het actieve kool verwijdert kwik en dioxines met respectievelijk 90% en 99,5% en CO en koolwaterstoffen met respectievelijk 40% en 50%.

Tabel 25 Rookgassen van wervelbedverbranding met SNCR DeNox en doekfilter met absorbens-injectie (in mg/Nm<sup>3</sup>, 11 vol% O<sub>2</sub>)

Component	BLA-norm	Afalstromen								
		RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
<b>in BLA</b>										
Stof	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
HCl	10	11	46	28	4	7	29	22	6	1
HF	1	3 E <sup>-5</sup>	4 E <sup>-5</sup>	4 E <sup>-5</sup>		1 E <sup>-5</sup>		3 E <sup>-5</sup>	0	
CO	50	12	12	12	12	12	12	12	12	12
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	10	3	3	3	3	3	3	3	0	3
SO <sub>2</sub>	40	13	20	17	1	6	57	11	170	1
NO <sub>x</sub>	70	123	123	123	123	123	123	123	123	123
Som ZM	1	0,22	0,26	0,20	0,29	0,09	0,37	0,56	0,04	0,01
Cd	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	4 E <sup>-3</sup>	3 E <sup>-3</sup>	0,02	3 E <sup>-6</sup>	8 E <sup>-5</sup>
Hg	0,05	1 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>	1 E <sup>-3</sup>	5 E <sup>-4</sup>	7 E <sup>-4</sup>		9 E <sup>-3</sup>	6 E <sup>-6</sup>	1 E <sup>-4</sup>
PCDD/F (ng)	0,1	4 E <sup>-4</sup>	5 E <sup>-4</sup>	5 E <sup>-4</sup>	1 E <sup>-3</sup>	5 E <sup>-4</sup>	4 E <sup>-4</sup>	1 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-5</sup>	5 E <sup>-4</sup>
<b>ex BLA</b>										
Ag		4 E <sup>-4</sup>	5 E <sup>-4</sup>	4 E <sup>-4</sup>		1 E <sup>-4</sup>		2 E <sup>-4</sup>		6 E <sup>-7</sup>
Ba									2 E <sup>-4</sup>	9 E <sup>-4</sup>
Be		6 E <sup>-5</sup>	1 E <sup>-4</sup>	7 E <sup>-5</sup>		3 E <sup>-6</sup>		2 E <sup>-5</sup>		2 E <sup>-6</sup>
Br		3 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>	5 E <sup>-3</sup>	4 E <sup>-3</sup>		7 E <sup>-4</sup>		
Mo		3 E <sup>-3</sup>	6 E <sup>-3</sup>	5 E <sup>-3</sup>		2 E <sup>-4</sup>		1 E <sup>-3</sup>	4 E <sup>-4</sup>	3 E <sup>-4</sup>
Zn		0,15	0,21	0,12		0,02	0,87	2,10	3,06	0,10

De restconcentratie van NO<sub>x</sub> kan door de SNCR tot een vooraf ingestelde waarde worden gereduceerd. De SNCR reduceert ook koolwaterstoffen in de vuurhaard, waardoor de ruwe rookgasconcentratie van koolwaterstoffen lager is dan bij verbranding zonder SNCR.

Uit de tabel blijkt dat met de op NeR uitgelegde rookgasreiniging al voor de meeste beschouwde afvalstromen kan worden voldaan aan BLA. De concentratie van NO<sub>x</sub> kan verder worden gereduceerd dan is aangegeven in de tabel. Eventuele slip van ammoniak wordt door de actieve kool voor 80% verwijderd.

De concentratie van de niet onder BLA vallende verontreinigingen zijn met uitzondering van zink vergelijkbaar met of lager dan de restconcentratie van Cd. De emissie van deze stoffen leidt daarom niet tot een significante toename van de belasting van het ecosysteem met toxische stoffen. De concentratie van (stofgebonden) zink is wel hoog

De restconcentraties zijn voor kwik en dioxines vergelijkbaar met de restconcentraties in de rookgassen van een AVI. De restconcentraties van de overige verontreinigingen zijn echter een factor 5 tot 10 hoger dan de bij AVI's gerealiseerde restconcentraties.

Aan de hand van de in [8] gehanteerde kostenkennallen is een schatting gemaakt van de kosten per ton reststoffen voor een verbrandingsinstallatie

met een capaciteit van  $75 \text{ MW}_{\text{th}}$ . Geschat worden dat de kosten variëren van circa 20 gulden per ton voor tapijtkorrels tot circa 65 gulden per ton voor autobanden. De kosten voor een rookgasreinigingsinstallatie met deze opbouw bedragen voor resthout circa 20 gulden per ton.

### **F.3.2 Toepassing van uitgebreide rookgasreiniging**

Hiermee wordt bedoeld een rookgasreiniging die is uitgelijnd op BLA. Met deze rookgasreiniging kunnen in principe dezelfde restconcentraties worden gerealiseerd als bij een AVI. Verschillend zijn alleen de hoeveelheid toegepaste chemicaliën en het energiegebruik van de rookgasreinigingsinstallatie. De beschouwde rookgasreiniging heeft dezelfde opbouw als de rookgasreiniging van de AVI Amsterdam. De concentraties van verontreinigingen in de ruwe rookgassen van de wervelbedinstallatie zijn met uitzondering van stof vergelijkbaar met of lager dan de concentraties in de ruwe rookgassen bij een AVI.

Aan de hand van de in [8] gehanteerde kostenkennallen is een schatting gemaakt van de kosten per ton reststoffen voor een verbrandingsinstallatie met een capaciteit van  $75 \text{ MW}_{\text{th}}$ . Geschat worden dat de kosten variëren van circa 40 gulden per ton voor tapijtkorrels tot circa 95 gulden per ton voor autobanden. De kosten voor een rookgasreinigingsinstallatie met deze opbouw bedragen voor resthout circa 45 gulden per ton.



Tabel 26 Rookgassen van wervelbedverbranding met SNCR DeNox, sproeidroger met actieve koolinjectie, doekfilter en tweetraps natte wasser (in mg/Nm<sup>3</sup>, 11 vol% O<sub>2</sub>)

Com- ponent	BLA-norm	Afalstromen								
		RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
<b>in BLA</b>										
Stof	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HCl	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HF	1	3 E <sup>-5</sup>	4 E <sup>-5</sup>	4 E <sup>-5</sup>		1 E <sup>-5</sup>		3 E <sup>-5</sup>		
CO	50	12	12	12	12	12	12	12	12	12
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	10	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SO <sub>2</sub>	40	5	5	5	5	5	5	5	5	5
NO <sub>x</sub>	70	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Som ZM	1	0,04	0,05	0,04	0,06	0,02	0,07	0,11	8 E-03	2 E <sup>-3</sup>
Cd	0,05	2 E <sup>-3</sup>	3 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>	7 E <sup>-4</sup>	7 E <sup>-4</sup>	3 E <sup>-3</sup>	0,0	2 E <sup>-5</sup>
Hg	0,05	2 E <sup>-4</sup>	3 E <sup>-4</sup>	2 E <sup>-4</sup>	1 E <sup>-4</sup>	1 E <sup>-4</sup>		2 E-3	1 E <sup>-6</sup>	3 E <sup>-5</sup>
PCDD/F (ng)	0,1	4 E <sup>-4</sup>	5 E <sup>-4</sup>	5 E <sup>-4</sup>	1 E <sup>-3</sup>	5 E <sup>-4</sup>	4 E <sup>-4</sup>	1 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-5</sup>	5 E <sup>-4</sup>
<b>ex BLA</b>										
Ag		8 E <sup>-5</sup>	1 E <sup>-4</sup>	8 E <sup>-5</sup>		2 E <sup>-5</sup>		4 E <sup>-5</sup>		0,0
Ba									0,1	0,24
Be		1 E <sup>-5</sup>	2 E <sup>-5</sup>	2 E <sup>-5</sup>		0,0		4 E <sup>-6</sup>		0,0
Br		3 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>	5 E <sup>-3</sup>	4 E <sup>-3</sup>		7 E <sup>-4</sup>		
Mo		6 E <sup>-4</sup>	1 E <sup>-3</sup>	9 E <sup>-4</sup>		4 E <sup>-5</sup>		3 E <sup>-4</sup>	9 E <sup>-5</sup>	6 E <sup>-5</sup>
Zn		0,03	0,04	0,02		4 E <sup>-3</sup>	0,17	0,42	0,61	0,02





## G Vergassing in circulerend wervelbed

Bij vergassing in een circulerend wervelbed is enkel de optie bijstoken van het stookgas in een poederkoolcentrale (meevergassen) beschouwd. Bij toepassing van het stookgas in een STEG worden dusdanig stringente eisen aan de concentraties van verontreinigingen in het stookgas gesteld dat vooraf al kan worden geconcludeerd dat wat betreft de emissies naar lucht aan BLA kan worden voldaan. De emissies zijn vergelijkbaar met de restconcentraties in de rookgassen van AVI's (zie Tabel 16).

Bij het schatten van de bij meevergassen optredende emissies naar lucht is rekening gehouden met:

- reiniging van het stookgas middels een doekfilter en natte wasser voorafgaand aan levering van het stookgas aan de poederkoolcentrale, conform de installatie bij Amer 8;
- reiniging van de bij inzet van het stookgas in de poederkoolcentrale geproduceerde rookgassen door elektrofilter en ROI van de poederkoolcentrale.

Voor de reinigingsefficiëntie van de rookgasreiniging van de poederkoolcentrale wordt verwezen naar bijlage D.

Bij reiniging van het stookgas worden vooral HCl en stof verwijderd. De restconcentraties bedragen respectievelijk 25 mg/Nm<sup>3</sup> voor HCl en 5 mg/Nm<sup>3</sup> voor stof. Aangenomen is dat de restconcentraties van zware metalen evenredig met de stofconcentratie afnemen. Aangenomen is dat stof niet verder wordt verwijderd in de poederkoolcentrale.

HF wordt voor naar schatting 80% in de wasser verwijderd. De natte wasser wordt bedreven met waswater met een lage pH om ook NH<sub>3</sub> te kunnen verwijderen. Om de pH laag te houden wordt zoutzuur toegevoegd. Vanwege de lage pH en de aanwezigheid van chloor is uitgegaan van de verwijdering van Hg met 85%. Bij het schatten van de emissies van SO<sub>2</sub> en HF is verder rekening gehouden met inbinden van zwavel en fluor in de as tijdens vergassing.

Verder is bij het schatten van de emissie van NO<sub>x</sub> rekening gehouden met het chemisch rendement van het vergassingsproces (85%). Aangenomen is dat de omvang van de NO<sub>x</sub>-emissie een constante waarde per GJ brandstof is. De bij meevergassen aan de beschouwde reststof toe te rekenen NO<sub>x</sub>-emissie bedraagt daarom 85% van de bij direct bijstoken optredende emissie.

Voor de concentraties van CO, koolwaterstoffen en dioxines is uitgegaan van de concentraties in de rookgassen van de poederkoolcentrale. Deze aanname geeft voor dioxines en koolwaterstoffen een overschatting van de werkelijke, aan de vergaste reststof toe te rekenen emissie. Door afvangst van chloor bij de reiniging van het stookgas kan bijstoken van stookgas in de poederkoolcentrale feitelijk niet bijdragen aan de emissie van dioxines. De in het stookgas aanwezige koolwaterstoffen worden voor een aanzienlijk deel bij de reiniging van het stookgas verwijderd door condensatie in de natte wasser. De overblijvende koolwaterstoffen (circa 10 g/Nm<sup>3</sup> stookgas) zullen vanwege de hoge temperatuur in de vuurhaard van de poederkoolcentrale vrijwel volledig worden vernietigd. Omdat de concentraties in de rookgassen

op voorhand echter niet kunnen worden geschat is uitgegaan van de rookgasconcentraties zoals bekend voor kolenstoken.

Tabel 27 geeft een overzicht van de restconcentraties in de rookgasen van de poederkoolcentrale.

Tabel 27 Rookgasen van wervelbedvergassing bij meestoken stookgas in poederkoolcentrale met spreiding over het park van poederkoolcentrales (in mg/Nm<sup>3</sup>, 11 vol% O<sub>2</sub>)

Component	BLA-norm	Afalstromen								
		RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapjtkorrels
<b>in BLA</b>										
Stof	5	1		1	1	1				1
HCl	10	0,3 – 1		0,3 - 1	0,2 - 1	0,2 - 1				0,3 – 1
HF	1	2 - 9 E <sup>-4</sup>		3 -13 E <sup>-4</sup>		1 - 4 E <sup>-4</sup>				
CO	50	5		5	5	5				5
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	10	3		3	3	3				3
SO <sub>2</sub>	40	10 – 20		13 - 27	0 – 1	5 - 9				1
NO <sub>x</sub>	70	24 – 250		25 - 250	22 – 250	22 - 250				27 – 250
Som ZM	1	0,02		0,02	0,01	6 E <sup>-3</sup>				8 E <sup>-4</sup>
Cd	0,05	4 E <sup>-4</sup>		3 E <sup>-4</sup>	3 E <sup>-4</sup>	1 E <sup>-4</sup>				3 E <sup>-6</sup>
Hg	0,05	3 - 8 E <sup>-4</sup>		4 - 9 E <sup>-4</sup>	1 - 4 E <sup>-4</sup>	2 - 5 E <sup>-4</sup>				4 - 9 E <sup>-5</sup>
PCDD/F (ng)	0,1	2 E <sup>-3</sup>		2 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>	2 E <sup>-3</sup>				2 E <sup>-3</sup>
<b>ex BLA</b>										
Ag										
Ba										2 E <sup>-4</sup>
Be		6 E <sup>-6</sup>		8 E <sup>-6</sup>		3 E <sup>-7</sup>				2 E <sup>-7</sup>
Br		3 E <sup>-3</sup>		3 E <sup>-3</sup>	5 E <sup>-3</sup>	7 E <sup>-3</sup>				
Mo		3 E <sup>-4</sup>		4 E <sup>-3</sup>		2 E <sup>-5</sup>				3 E <sup>-5</sup>
Zn		5 E <sup>-3</sup>		4 E <sup>-3</sup>		5 E <sup>-4</sup>				3 E <sup>-3</sup>

Uit de tabel blijkt dat alle concentraties lager zijn dan het BLA-niveau. Ook ten opzichte van de AVI heeft de wervelbedvergassing in combinatie met de poederkoolcentrale vrijwel alleen lagere concentraties, met uitzondering van SO<sub>2</sub> en PCDD/F die respectievelijk een factor 4 en een factor 10 hoger zijn dan bij de AVI.

De concentraties van de niet onder BLA vallende emissies zijn zeer laag en daarmee ook de risico's voor de volksgezondheid.

De restconcentraties van dioxines kunnen worden verlaagd door injectie van actieve kool in het doekfilter van de stookgasreiniging. Deze extra reiniging vergt geen extra investeringen en leidt niet tot extra kosten voor onderhoud en elektriciteitsverbruik. De extra kosten bedragen ongeveer een gulden per ton reststof.

De restconcentratie van SO<sub>2</sub> kunnen worden gereduceerd door toevoeging van dolomiet of kalksteen aan het bed van de vergasser of door injectie van

kalk in het stookgas. Ook in dit geval zijn geen extra investeringen nodig, nemen kosten voor onderhoud en elektriciteitsverbruik niet toe en zijn de extra kosten voor de consumptie van chemicaliën verwaarloosbaar, zeker bij een goedkoop materiaal als dolomiet.



## H Vergassen in PEC

De PEC (Product- en EnergieCentrale) is gebaseerd op een combinatie van pyrolyse en vergassing. Afval wordt gezeefd en indien nodig verkleind. Verkleind en gedroogd afval wordt na afscheiding van ferro schroot in een trommel gepyrolyseerd en ontleedt daarbij in cokes en vluchtige en gasvormige producten. De vluchtige en gasvormige producten worden direct vergast met zuurstof in de gaskraker [28].

De cokes wordt bewerkt, waarbij het overgrote deel van de in het afval aanwezige ferro en non-ferro schroot worden afgescheiden, om vervolgens apart onder toevoeging van zuurstof te worden vergast in de smelter. De temperatuur in de smelter is zo hoog (zie ook Tabel 28) dat de in de cokes aanwezige as en overgebleven metalen smelten. Het smeltpunt van de as en metalen wordt verlaagd door toevoeging van een fluxmiddel.

Tabel 28 Technische gegevens PEC

PEC	
Temperatuur	1200-1400° C
Binding Cl, S, F in as	gering
menging zuurstof/brandstof	goed
Standaard rookgasreiniging	natte water zwavelverwijderingsproces 'politiefilter'

In Nederland zijn drie initiatieven waarbij een PEC zal worden toegepast. Bij alle initiatieven wordt afzet van het synthesegas als grondstof in de chemische industrie voorzien. De eisen, die vanuit de chemische industrie aan de concentraties van anorganische verontreinigingen in synthesegas worden gesteld, zijn zo hoog, dat bij voorbaat kan worden geconcludeerd dat aan BLA wordt voldaan (zie Tabel 29). De stringente eisen hangen samen met het risico op vergiftiging en beschadiging van de bij chemische productie gebruikte katalysatoren en met de negatieve invloed van anorganische verontreinigingen op de kwaliteit van het chemische product.

Tabel 29 Rookgassen van vergassing in PEC (in mg/Nm<sup>3</sup>, 11 vol% O<sub>2</sub>)

Component	BLA-norm	Afalstromen								
		RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
<b>in BLA</b>										
Stof	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
HCl	10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
HF	1									
CO	50	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	10	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
SO <sub>2</sub>	40	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
NO <sub>x</sub>	70	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Som ZM	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Cd	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Hg	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PCDD/F (ng)	0,1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<b>ex BLA</b>										
Ag										
Ba										
Be										
Br										
Mo										
Zn		0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7

De emissies van NO<sub>x</sub>, CO, koolwaterstoffen en dioxines zijn bij inzet als grondstof in de chemische industrie op voorhand niet goed te bepalen. In de eerste plaats zal slechts een deel van het gas als brandstof worden gebruikt. Het betreft het als grondstof onbruikbare deel van het synthesegas. Het onbruikbare percentage verschilt voor iedere mogelijke toepassing (onder andere H<sub>2</sub>-productie, methanol-productie, NH<sub>3</sub>-productie, productie van H<sub>2</sub> en CO). De emissies hangen bovendien af van de apparatuur waarin de brandstof wordt ingezet (gasmotor, gasturbine, ketel, andere ondervuring) en de specificaties van de apparatuur. Wel kan vooraf worden gesteld dat de aan het stookgas toe te rekenen concentraties van dioxines verwaarloosbaar zullen zijn, aangezien chloor uit het stookgas is verwijderd. De concentratie van giftige koolwaterstoffen is waarschijnlijk eveneens verwaarloosbaar. In de eerste plaats zal het door de PEC geproduceerde stookgas vanwege de hoge temperatuur van het vergassingsproces sowieso weinig giftige koolwaterstoffen bevatten. Dergelijke verbindingen worden tijdens vergassing vrijwel volledig gekraakt. Bovendien worden eventueel nog aanwezige koolwaterstoffen of verwijderd in de stookgasreiniging of alsnog verbrand bij inzet van het restgas als brandstof.

# I Overzicht emissies t.o.v. BLA en AVI

In deze bijlage wordt voor de vijf beschouwde technieken met factoren (verhoudingsgetallen) aangegeven in hoeverre de emissieniveaus verschillen van BLA- en AVI-niveau. De factoren zijn berekend door de verhouding te nemen tussen de emissies zoals gepresenteerd in de bijlagen D t/m H en de emissies bij de referentieniveaus (conform bijlage C). Alle factoren zijn afgerond op hele cijfers.

Factor "0" betekent dus dat de betreffende emissies lager zijn dan het referentieniveau, factor "1" betekent dat de emissies (afgerond) gelijk zijn aan het referentieniveau en een factor hoger dan 1 betekent dat de emissies hoger zijn dan het referentieniveau.

## I.1 Bijstoken in poederkoolcentrale

### I.1.1 Zonder extra rookgasreiniging

Tabel 30 Verhoudingsfactoren t.o.v. BLA

Component	Afvalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
Stof	0-1		0-1	0-1	0-1				0-1
HCl	1-3		3-7	0-1	1-2				2-5
HF	0		0	0	0				0
CO	0		0	0	0				0
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	0		0	0	0				0
SO <sub>2</sub>	0-1		0-1	0	0				0-1
NO <sub>x</sub>	1-4		1-4	1-4	1-4				1-4
Som ZM	0		0	0	0				0
Cd	0		0	0	0				0
Hg	0		0	0	0				0
PCDD/F	0		0	0	0				0

Tabel 31 Verhoudingsfactoren t.o.v. AVI-niveau

Component	Afvalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
Stof	1-6		1-6	1-6	1-6				1-6
HCl	9-21		22-53	4-8	6-13				16-39
HF	0		0	0	0				0
CO	0		0	0	0				0
CxHy	3		3	3	3				3
SO <sub>2</sub>	3-6		4-7	0	1-3				3-6
NO <sub>x</sub>	1-5		1-5	1-5	1-5				1-5
Som ZM	0-2		0-2	0-2	0-1				0
Cd	0-2		0-2	0-2	0-1				0
Hg	1		1	0-1	0-1				0
PCDD/F	11		11	11	11				11

### I.1.2 Met doekfilter

Tabel 32 Verhoudingsfactoren t.o.v. BLA

Component	Afvalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
Stof	0		0	0	0				0
HCl	0		0-1	0	0				0-1
HF	0		0	0	0				0
CO	0		0	0	0				0
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	0		0	0	0				0
SO <sub>2</sub>	0		0	0	0				0
NO <sub>x</sub>	1-4		1-4	1-4	1-4				1-4
Som ZM	0		0	0	0				0
Cd	0		0	0	0				0
Hg	0		0	0	0				0
PCDD/F	0		0	0	0				0



Tabel 33 Verhoudingsfactoren t.o.v. AVI-niveau

Component	Afvalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
Stof	1		1	1	1				1
HCl	1-2		2-5	0-1	1				2-4
HF	0		0	0	0				0
CO	0		0	0	0				0
CxHy	3		3	3	3				3
SO <sub>2</sub>	0-1		0-1	0	0				0-1
NO <sub>x</sub>	1-5		1-5	1-5	1-5				1-5
Som ZM	0		0	0	0				0
Cd	0		0	0	0				0
Hg	0		0	0	0				0
PCDD/F	0		0	0	0				0

## I.2 Bijstoken in cementoven

Tabel 34 Verhoudingsfactoren t.o.v. BLA

Component	Afvalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
Stof	0		0	0	0			0	0
HCl	0		1	0	0			0	0
HF	0		0	0	0			0	0
CO	5		5	5	5			5	5
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	3		3	3	3			3	3
SO <sub>2</sub>	0		0	0	0			0	0
NO <sub>x</sub>	9		9	9	9			9	9
Som ZM	0		0	0	0			0	0
Cd	0		0	0	0			0	0
Hg	0		0	0	0			0	0
PCDD/F	0		0	0	0			0	0

Tabel 35 Verhoudingsfactoren t.o.v. AVI-niveau

Component	Afvalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
Stof	2		2	2	2			2	2
HCl	2		4	1	1			1	3
HF	0		0	0	0			0	0
CO	10		10	10	10			10	10
CxHy	23		23	23	23			23	23
SO <sub>2</sub>	1		1	0	0			4	1
NO <sub>x</sub>	10		10	10	10			10	10
Som ZM	0		0	0	0			0	0
Cd	0		0	0	0			0	0
Hg	3		3	1	2			0	0
PCDD/F	125		125	125	125			125	125

### I.3 Wervelbedverbranding

#### I.3.1 Met beperkte rookgasreiniging

Tabel 36 Verhoudingsfactoren t.o.v. BLA

Component	Afvalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
Stof	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HCl	1	5	3	0	1	3	2	1	0
HF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	1	0	4	0
NO <sub>x</sub>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Som ZM	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCDD/F	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 37 Verhoudingsfactoren t.o.v. AVI-niveau

Component	Afvalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapjtkorrels
Stof	5	5	5	5	5	5	5	5	5
HCl	8	33	20	3	5	20	16	4	1
HF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CxHy	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SO <sub>2</sub>	3	4	4	0	1	13	2	38	0
NO <sub>x</sub>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Som ZM	4	4	3	5	2	6	9	1	0
Cd	3	5	3	3	1	1	5	0	0
Hg	0	0	0	0	0	0	2	0	0
PCDD/F	2	3	3	9	3	2	9	0	3

### I.3.2 Met uitgebreide rookgasreiniging

Tabel 38 Verhouding t.o.v. BLA

Component	Afvalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapjtkorrels
Stof	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HCl	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>x</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Som ZM	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCDD/F	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 39 Verhoudingsfactoren t.o.v. AVI-niveau

Component	Afvalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapjtkorrels
Stof	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HCl	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CxHy	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SO <sub>2</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NO <sub>x</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Som ZM	1	1	1	1	0	1	2	0	0
Cd	1	1	1	1	0	0	1	0	0
Hg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCDD/F	2	3	3	9	3	2	9	0	3

#### I.4 Vergassing in wervelbedoven

Tabel 40 Verhoudingsfactoren t.o.v. BLA

Component	Afvalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapjtkorrels
Stof	0		0	0	0				0
HCl	0		0	0	0				0
HF	0		0	0	0				0
CO	0		0	0	0				0
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	0		0	0	0				0
SO <sub>2</sub>	0-1		0-1	0	0				0
NO <sub>x</sub>	0-4		0-4	0-4	0-4				0-4
Som ZM	0		0	0	0				0
Cd	0		0	0	0				0
Hg	0		0	0	0				0
PCDD/F	0		0	0	0				0

Tabel 41 Verhoudingsfactoren t.o.v. AVI-niveau

Component	Afalstromen								
	RDF	Grove fractie uit HHA	Lichte fractie uit HHA	Kunststof uit HHA	Rejects papierindustrie	Shredderafval	Rest BSA	Autobanden	Tapijtkorrels
Stof	1		1	1	1				1
HCl	0		0	0	0				0-1
HF	0		0	0	0				0
CO	0		0	0	0				0
CxHy	3		3	3	3				3
SO <sub>2</sub>	2-5		3-6	0	1-2				0
NO <sub>x</sub>	0-5		0-5	0-5	0-5				0-5
Som ZM	0		0	0	0				0
Cd	0		0	0	0				0
Hg	0		0	0	0				0
PCDD/F	11		11	11	11				11

## I.5 Vergassing in PEC

Geen tabellen opgenomen, want alle factoren zijn 0.



# Literatuur

- [1] J. Koppejan et al.  
Informatiedocument potentieelstudie voor Gave-project (concept)  
TNO-MEP, Apeldoorn, juli 1999
- [2] Initiatieven voor de thermische verwerkingsmogelijkheden van  
hoogcalorische afvalstromen  
AOO, Utrecht, september 1998
- [3] F. Noordhoek  
Afvalsector worstelt met zijn product  
Afval!, februari 1999, blz. 26 t/m 28
- [4] Correspondentie van Icova, 1996
- [5] R. Venendaal et al.  
Vergassing van afval: evaluatie van de installaties van Thermoselect en  
TPS/Greve  
BTG, Enschede, 1994
- [6] Tweede wijziging tienjarenprogramma afval 1995 – 2005 (ontwerp)  
AOO, Utrecht, november 1998
- [7] Jaarverslag VVAV 1998
- [8] G.C. Bergsma et al.  
Beperking van emissies naar de lucht bij conversie van biomassa naar  
elektriciteit en warmte  
CE, Delft, april 1999
- [9] Correspondentie met Rockwool, oktober 1999
- [10] Informatie mondeling verstrekt door dhr. Mergelsberg van ENCI, 15  
november 1999
- [11] B. Vanderborght, G.P.J. Dijkema  
Perspectieven voor het gebruik van brandbare reststoffen in de Belgische en  
Franse cementindustrie  
AOO, Utrecht, 1996
- [12] Informatie mondeling verstrekt door dhr. B. Gelijne van Recycling  
Zoetermeer, 10 november 1999
- [13] J.F.M. de Castro  
Energiekentalen in relatie tot Preventie en Hergebruik van Afvalstromen,  
deelrapport: Cement  
CCE, Amersfoort, januari 1992
- [14] Beton en milieu  
VNC, Den Bosch, 1996.
- [15] Milieujaarsverslag ENCI 1998

- [16] K.J. Thomé-Kozmiensky  
Reaktoren zur thermischen Abfallbehandlung  
Berlin: EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik, juni 1993
- [17] Ökobilanzen zur Verwertung von Kunststoffabfällen aus Verkaufsverpackungen  
TÜV Rheinland, Keulen, 1995
- [19] L.P.M. Rijpkema, J.A. Zeevalkink  
Specific processing costs of waste materials in a municipal solid waste combustion facility  
TNO-MEP, Apeldoorn, 1996
- [20] E.A. Pfeiffer et al.  
Vergelijkende studie thermische verwerking van huishoudelijk afval. Een evaluatie van vijf technieken  
VVAV en Kema, Utrecht/Arnhem, augustus 1995
- [21] R. Venendaal, H.J. Middelkamp  
Ontwikkelingen in thermische afvalverwerking: wervelbedverbranding door Kvaerner en het Schwel-Brenn proces van Siemens  
BTG en Kema Milieu Technologie, Enschede/Arnhem, 1994
- [22] Scrap tire technology and markets,  
US Environmental Protection Agency, 1991
- [23] K.J. Thomé-Kozmiensky  
Thermische Abfallbehandlung  
Berlin: EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik, 1994
- [24] J.A. van der Schroeff  
Droge reiniging van rookgassen uit afvalverbranding  
Grontmij, december 1987
- [25] Milieu-effectrapportage Tienjarenprogramma Afval 1995-2005  
AOO, Utrecht, 1995
- [26] Milieu-effectrapport, Bijstoken secundaire brandstoffen in de Centrale Maasvlakte  
Kema, Arnhem, juli 1999
- [27] Monografieën informatiesysteem technieken, Compartiment Lucht,  
TNO, RIVM, augustus 1992
- [28] H.J. Croezen, G.C. Bergsma  
De milieukundige score van verwerking van hoogcalorisch afval in de PEC CE, Delft, december 1997
- [29] Mondelinge mededeling Retourvloer Arnhem, november 1999
- [30] ir. J. Potting, dr. K. Blok  
De milieugerichte levenscyclusanalyse van vier typen vloerbedekking  
Coördinatiepunt wetenschapswinkels Utrecht, Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving, Universiteit Utrecht, maart 1993
- [31] Correspondentie met de heer G.W. Krajenbrink, TNO-MEP, Apeldoorn, 1996





[32] Correspondentie met Kema, 1997

[33] J. Braam  
Samenvatting MER van ENCI Nederland B.V. "De inzet van secundaire grond-, brand- en hulpstoffen en emissiereductie 2000",  
Haskoning, Nijmegen, april 1997.