

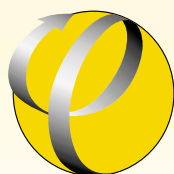
Subcoal milieukundig beoordeeld

Nagescheiden huishoudelijk kunststofafval
in een kolencentrale vergeleken met
biomassa, vergassing, verwerking
in cementoven en AVI

Eindrapport

Delft, oktober 2000

Opgesteld door: drs. H.J. Croezen (CE)
ir. G.C. Bergsma (CE)



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

Croezen, drs. H.J., ir. G.C. Bergsma
Subcoal milieukundig beoordeeld
Delft : Centrum voor energiebesparing en schone technologie, 2000

Kunststoffen / Afval / Huishoudelijk afval / Energievoorziening / Elektriciteit / Milieu / Analyse / Klimaatverandering / Verzuring / Vermesting / Koolwaterstoffen / Verspreiding / Afvalverwijdering / Verbrandingsinstallaties / Vergassingsinstallaties

Dit rapport kost f 32,50 (€ 14,75) (exclusief verzendkosten).
Publicatienummer: 00.5498.21

Opdrachtgever: VMK
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider,
ir. G.C. Bergsma

© 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	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Doel	4
1.3 Projectuitvoering	4
1.4 Leeswijzer	5
2 Uitgangspunten	7
2.1 Subcoal- en AVI-route voor de verwerkingsinrichting Wijster	7
2.2 Gehanteerde methodiek	10
2.3 Referentiekader	12
3 Vergelijking van eindverwerkingsprocessen	15
3.1 Afbakening	15
3.2 Subcoal-initiatief (bijstoken van PPF in poederkoolcentrale)	16
3.3 Bijstoken van PPF in cementoven	19
3.4 Verwerking middels Texaco-proces	20
3.5 Vergelijking milieuscores eindverwerkingsprocessen	24
3.6 Vergelijking bijstoken van Biomass-korrels en Subcoal	27
4 Netto milieuvoordeel van complete verwerkingsroutes met bijstook in kolencentrale of cementoven	29
4.1 Verbranding in een AVI	29
4.2 Subcoal-initiatief	31
4.3 Bijstoken in cementoven	33
4.4 Vergelijking Subcoal, cementoven en AVI complete routes	35
5 Conclusies	39
Literatuur	41
A Gehanteerde classificatiefactoren	45
B Themascoring voor hulpstoffen, transport en energiedragers	47
C Fysische en chemische samenstelling van kunststof materiaal in de input van de GAVI	49
D Milieubelasting bij verbranding in de GAVI	53
D.1 Beschrijving AVI en rookgasreiniging	53
D.2 Berekeningswijze	53
D.3 Resultaten	56
E Milieubelasting bij verbranding in de Maasvlaktecentrale	59
E.1 Berekeningswijze	59
E.1.1 Emissies naar lucht	59
E.1.2 Invloed van chloorinbreng door plastic materiaal op de afvang van kwik	61
E.1.3 Consumptie van kalksteen	61
E.2 Resultaten	62

E.3	Literatuur	64
F	Bijstoken van PPF bij cementovens	65
F.1	Procesbeschrijving	65
F.2	Emissies en milieuscore	66
G	Invloed HCl-concentratie op Hg-afvang (Cees Gast, KEMA)	71

Samenvatting

Het Subcoal-initiatief

Essent, EZH, DSM en de VMK hebben een nieuw initiatief ontwikkeld om kunststofafval uit huisvuil om te zetten in elektriciteit. In dit initiatief, Subcoal genaamd, wordt in de afvalverwerkingsinstallatie te Wijster een plastic-papierfractie uit huisvuil afgescheiden. Na te zijn gepelletiseerd kan dit materiaal dienen als brandstof voor de EZH-kolencentrale op de Maasvlakte.

Opzet milieuanalyse / milieuscore

Het rapport presenteert de milieuscores van Subcoal betreffende de volgende milieuthema's:

- klimaatverandering;
- verzuring;
- vermesting;
- emissie van niet-methaan koolwaterstoffen (KWS);
- verspreiding van toxische stoffen in het milieu (verspreiding);
- productie van te storten vast afval (verwijdering).

Om een integrale milieubeoordeling te kunnen opstellen, zijn – conform eerdere CE-studies naar kunststofafval – een normalisatie en een optelling van deze milieuthema's berekend. De methodiek hiervoor is ontwikkeld in overleg met de Ministeries van VROM en EZ en de Vereniging Milieubeheer Kunststoffen (VMK). De milieueffecten worden daarvoor gedeeld door de overheidsdoelstellingen (de emissie die in Nederland als acceptabel geldt), zoals geformuleerd in bijvoorbeeld de verschillende Nationale MilieuPlannen (NMP's). Deze genormaliseerde bijdragen worden vervolgens geaggregeerd tot één getal in de vorm van de zogenaamde milieu-indicator.

Subcoal en een AVI

Het CE heeft het kunststofgedeelte van het Subcoal-proces aan een milieuanalyse onderworpen. Daaruit is gebleken dat gebruik van Subcoal duidelijk milieuvriendelijker is dan verbranding van de bestanddelen in een standaard afvalverbrandingsinstallatie (AVI). Indien 35% van het kunststof in het Subcoal-proces wordt verwerkt, levert dat inzake de belangrijke milieuthema's klimaatverandering, verzuring en verwijdering een ca. 50% lagere milieubelasting op in vergelijking met integrale verwerking in een AVI. Dat het gebruik van kunststofafval via Subcoal ook een lagere uitstoot van toxische stoffen oplevert, lijkt vreemd. De rookgasreiniging van een AVI is immers beduidend beter dan die van een kolencentrale. De Subcoal die in plaats van kolen wordt ingezet, is echter relatief weinig vervuild. Dat levert een grotere indirecte milieuwinst op dan bij gebruik van het materiaal in een AVI.

Subcoal en een cementoven

Het Subcoal-proces is beperkt milieuvriendelijker dan gebruik van kunststof in een cementoven. Gebruik van Subcoal reduceert vooral de emissie van verzurende stoffen. Daar staat tegenover dat gebruik van kunststof in de cementindustrie een iets grotere beperking van het broeikas effect oplevert.

Subcoal en Texaco

Subcoal is ook vergeleken met een proces van Texaco voor de verwerking van kunststofafval door vergassing. De inputeisen voor het materiaal van deze techniek zijn echter veel strenger dan die van het Subcoal-proces, zodat vergelijking op inputniveau lastig is. Wel is het mogelijk Subcoal te

vergelijken met een compleet model, waarin 1 ton huishoudelijk kunststofafval wordt verwerkt met mechanische nascheiding (route 2 uit het rapport 'Evaluation of the Texaco-gasification process'). De beperking van het broeikas-effect blijkt in het Subcoal-proces groter te zijn. Het Texaco-proces levert daarentegen een grotere reductie van koolwaterstofemissies op.

Subcoal en Biomassa

Tot slot is er een vergelijking gemaakt met de milieuwinst van het Biomassaproject, waarin biomassa (RWZI-slib, hout, papierslib) wordt bijgestookt in de Maasvlaktecentrale. Biomassa is CO₂-neutraal, zodat dit project inzake het broeikas-effect uiteraard beter scoort. Subcoal veroorzaakt echter minder verzuring en verspreiding van toxische stoffen. Uiteindelijk komt de milieu-indicator van beide projecten per GJ elektriciteit vrijwel gelijk uit.

Milieuscore subcoal in andere E-centrales

Tot slot is geanalyseerd of gebruik van Subcoal in andere Nederlandse kolencentrales afwijkende milieuscores zou opleveren. Ondanks de verschillen in rookgasreiniging per centrale zijn de afwijkingen in de uiteindelijke milieubeoordeling relatief klein. Er zijn zowel centrales die met Subcoal iets beter zouden scoren dan centrales die iets slechter zouden scoren.

Eerder heeft de Nederlandse overheid het Texaco-proces gekwalificeerd als milieukundig vergelijkbaar met herverwerking. Omdat de milieuscore van het Subcoal-proces hetzelfde niveau haalt, ligt het in de lijn der verwachting dat het beleidsmatige oordeel over het Subcoal-initiatief vergelijkbaar zal luiden.

Tot slot zijn de conclusies nog samengevat in een tabel.

Tabel 1 Routes voor verwerking huishoudelijk kunststofafval met hun milieuscore.

Manier van verwerken (route)	Onderdelen opgenomen in route	Milieu-indicator (10 ⁹ jaar per ton kunststof in RDF) <lager = beter>	CO ₂ -emissie (kg/ton kunststof in RDF) <lager = beter>	Opmerkingen
Subcoal	35% subcoal 65% AVI Wijster	15.7	704	- Economisch haalbaar - Door verdringen kolen uit energievoorziening goed scorend op alle milieueffecten incl. verspreiding
Cementoven	35% cementoven 65% AVI Wijster	17.1	659	- Economisch haalbaar - Door verdringing bruinkool goed scorend
Texaco zonder mechanische recycling	35% Texaco 65% AVI Wijster	circa 20	circa 1150	- Economisch niet haalbaar gebleken - Door verdringing aardgas minder goede score op CO ₂
Texaco met mechanische recycling	35% Texaco 45% AVI Wijster 20% mech. recycling	circa 13	circa 700	- Economisch niet haalbaar gebleken. - Over haalbaarheid mechanische recycling discussie - Mechanische recycling in principe ook toe te passen bij subcoal en cementoven
AVI	100% AVI Wijster	28,5	1600	



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Achtergrond

In het Convenant Verpakkingen II zijn door overheid en bedrijfsleven afspraken gemaakt over preventie en hergebruik van verpakkingen. Doel van het convenant is om de milieubelasting van verpakkingen tijdens de gebruiks- en afvalfase verder te verminderen.

Herwerking van kunststof verpakkingsafval van huishoudens en uit de KWDI-sector tot nieuwe kunststof producten is tot nu toe echter beperkt gebleven tot een klein aantal homogene en geconcentreerde vrijkomende deelstromen uit de KWDI-sector. Het betreft vooral folie en kleinere hoeveelheden kratten en vaten. Herwerking van andere deelstromen is in de praktijk te duur gebleken.

Ook mechanisch afscheiden van kunststof materiaal uit huisvuil en het verwerken van het afgescheiden materiaal tot synthesegas met het Texacovergassingsproces bleek in de praktijk te duur. Wel gaf de combinatie van mechanische afscheiding en Texaco-proces zo'n groot milieuvoordeel ten opzichte van integrale verbranding in een AVI dat deze route door de overheid als milieukundig vergelijkbaar met materiaalrecycling werd gekwalificeerd.

VMK heeft ondanks het stranden van allerlei eerdere initiatieven namens de kunststofindustrie in het Convenant Verpakkingen II beloofd binnen het redelijke al het mogelijke te doen om ervoor te zorgen dat in 2001 8% extra materiaalhergebruik boven op geldende doelstelling van 27% recycling van kunststoffen gerealiseerd wordt. Op dat moment was de verwachting dat deze extra inspanning ingevuld zou kunnen worden met het vergassingsproject van Texaco.

Beoogde realisatie doelstelling

VMK mikt voor wat betreft de realisering van de afspraak op de inzet van mechanisch afgescheiden kunststof verpakkingsafval uit huisvuil als een secundaire brandstof bij energiecentrales en industrie. Met VROM is afgesproken dat op basis van de milieueffecten zal worden vastgesteld of dergelijke bijstookinitiatieven wel of niet kunnen worden gekwalificeerd als milieukundig vergelijkbaar met materiaalhergebruik. Dit is het geval wanneer de combinatie van mechanische afscheiding en inzet als secundaire brandstof *per ton kunststof afval in huisvuil* een vergelijkbaar milieuvoordeel geeft als de combinatie van mechanische afscheiding en het Texaco-proces.

Inmiddels is een (internationale) markt aan het ontstaan voor secundaire brandstoffen geproduceerd uit bedrijfsafval en huisvuil. De secundaire brandstoffen bestaan uit de hoogcalorische componenten van huisvuil en bedrijfsafval, waaronder kunststoffen. Door het ontstaan van een markt voor secundaire brandstoffen zijn er goede vooruitzichten dat de in het convenant gemaakte afspraak daadwerkelijk kan worden gerealiseerd. Afzet van de secundaire brandstoffen is onder meer mogelijk bij energiecentrales, cementovens, hoogovens en kalkovens. Het ontstaan van de markt heeft geleid tot de bouw of uitbreiding van het aantal scheidingsinstallaties voor

huisvuil en bedrijfsafval om aan de toenemende vraag te kunnen voldoen. Tot nu toe is echter niet duidelijk of de inzet van secundaire brandstoffen bij energiecentrales en industriële vuurhaarden voor wat betreft het kunststof materiaal in de secundaire brandstoffen als milieukundig vergelijkbaar met materiaalhergebruik mag worden beschouwd.

1.2 Doel

Het doel van deze studie is om een milieukundige vergelijking van de volgende verwerkingsroutes van kunststofafval uit huisvuil te maken:

- 1 Bijstoken bij kolencentrales via het subcoal-proces.
- 2 Inzet in een cementoven in plaats van bruinkool.
- 3 Vergassen met het Texacoproces.
- 4 Verwerking in een AVI.

Als referentie geldt de AVI (optie 4), de gangbare verwerkingstechniek voor brandbaar afval in Nederland. Op basis van de resultaten kan vervolgens in het kader van de beleidsontwikkeling worden bediscussieerd of bijstoken in deze vuurhaarden als milieukundig vergelijkbaar met materiaalhergebruik voor kunststof verpakkingsafval kan worden beschouwd.

Onderwerp van de studie is het door Essent (voorheen VAM) en EZH met ondersteuning van VMK opgezette Subcoal-initiatief, gebaseerd op de scheidingsinstallatie van de verwerkingsinrichting van Essent te Wijster (Drente).

Tot voor kort werd bij deze inrichting aangeleverd huisvuil na een beperkte voorscheiding in een roosteroven verbrand. Essent heeft de voorscheiding echter inmiddels aangepast. In de nieuwe opzet (Subcoal route) wordt uit het anders in de roosteroven verbrande materiaal een zogenaamde papier-plastic fractie (PPF) afgescheiden. In het Subcoal-initiatief wordt de geproduceerde PPF gedroogd en gepelletiseerd en worden de pellets gemicroniseerd en bijgestookt bij de Maasvlakte kolencentrale van EZH. In de praktijk zal niet alle PPF worden gepelletiseerd en bijgestookt bij de Maasvlaktecentrale, maar zal een deel bij de cementindustrie in Duitsland en andere afnemers worden afgezet.

Op verzoek van het Ministerie van VROM is in deze studie tevens een soortgelijke analyse uitgevoerd voor het bijstoken van PPF in een cementoven.

In de derde plaats is een milieuanalyse uitgevoerd voor het bijstoken van zogenaamde Biomass energiekorrels bij de Maasvlaktecentrale. Doel van deze exercitie is na te gaan of bijstoken van het kunststof materiaal een vergelijkbaar milieuvoordeel oplevert als de door Biomass uit organische reststromen (RWZI-slib, hout, papierslib) geproduceerde energiekorrels.

1.3 Projectuitvoering

Het project is door CE uitgevoerd in de maanden november 1999 tot en met augustus 2000 en is begeleid door een commissie bestaande uit de volgende vaste leden:

- de heer H.J. Lucas (VMK);
- de heer P.C. Roos (Ministerie van VROM);
- de heer K.E. Knol (Ministerie van EZ);
- de heer J. van Tubergen (Essent);



- de heer C.H. Korevaar (EZH);
- de heer L.A.A. Schöen (DSM Research);
- de heer C.J. Adema (SVM PACT).

Daarnaast zijn bij tijd en wijle experts uitgenodigd deel te nemen aan voortgangsvergaderingen.

De milieuanalyse voor bijstoken is uitgevoerd met behulp van informatie geleverd door KEMA. KEMA heeft een aantal berekeningen uitgevoerd met het model Bijster, versie 3.0 van de Maasvlaktecentrale. Daarbij zijn de emissies naar lucht bepaald voor mengsels van steenkool en secundaire brandstoffen en voor enkel steenkool stoken. De resultaten zijn samen met andere, al bij CE bekende informatie gebruikt om de aan het kunststof materiaal in PPF en Biomass-korrels gerelateerde emissies naar lucht te schatten. Daarnaast is voor bijstoken gebruik gemaakt van informatie van EZH (de heer E. Noks, bijvoorbeeld m.b.t. emissies naar water).

De heer P.H.H. Mergelsberg van ENCI was zo vriendelijk informatie te verstrekken over de inzet van secundaire brandstoffen bij de productie van cement en de daarbij optredende milieubelasting.

Gegevens voor de economische analyse zijn geleverd door de heer F.G. Esmeijer en de heer H. Schaap van Essent en de heer B. Gelijmse van HSI Zoetermeer.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een korte beschrijving van AVI en de Subcoal-route toegepast op de afvalverwerkingsinrichting van Essent te Wijster. In dit hoofdstuk wordt verder een korte beschrijving gegeven van de bij de milieuanalyse gehanteerde methodiek en van de als referentie geldende verwijderingsroute.

In hoofdstuk 3 wordt de milieubelasting per ton kunststoffen in PPF bepaald voor bijstoken in cementoven en Maasvlaktecentrale. beide processen worden vergeleken met verbranding van kunststoffen in PPF in een AVI, zodat het voordeel van beide processen ten opzichte van een AVI duidelijk wordt. In dit hoofdstuk worden ook de aan bijstoken van Biomass-korrels en kunststoffen toe te rekenen netto milieubelasting vergeleken.

In hoofdstuk 4 worden de milieubelastingen van de Subcoal- en de AVI-route vergeleken. De belangrijkste conclusies worden nog eens samengevat in hoofdstuk 5.



2 Uitgangspunten

In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de gehanteerde LCA-methodiek, de AVI-route en Subcoal route toegepast op de afvalverwerkingsinrichting in Wijster en het referentiekader behandeld.

De Subcoal- en AVI-route voor de verwerkingsinrichting Wijster worden besproken omdat het verschil tussen de milieubelasting in beide situaties bepalend is voor de milieukundige positionering van bijstoken van kunststof afval in cementoven.

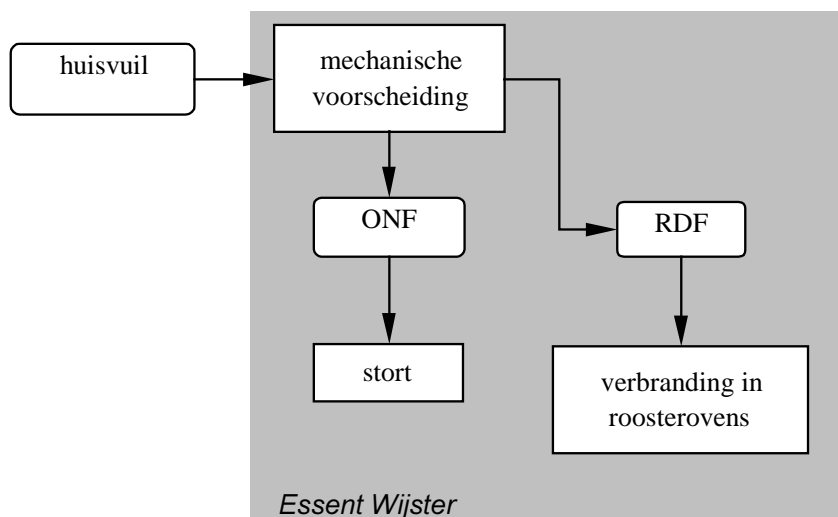
2.1 Subcoal- en AVI-route voor de verwerkingsinrichting Wijster

AVI-route

Figuur 1 geeft de vroegere situatie bij Essent grafisch weer. Voor de duidelijkheid wordt dit de AVI-route genoemd.

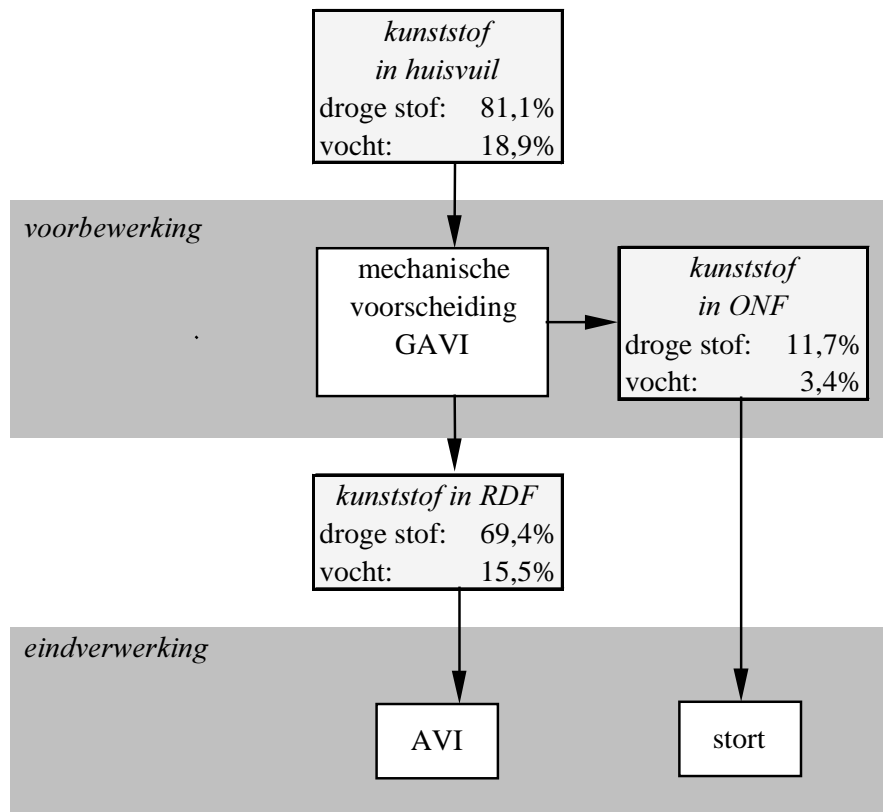
In de AVI-route wordt bij Essent (voorheen VAM) in totaal 720 kton/jaar aan grijs huisvuil en daarop lijkend KWDI-afval verwerkt. Het afval wordt met trommelzeven gescheiden in een organisch natte fractie (ONF) en een RDF-fractie. Daarnaast wordt blik en ander ijzer afgescheiden. De ONF bestaat uit materiaal < 45 mm en wordt volledig gestort. De RDF-fractie wordt in de drie roosterovens van de GAVI verbrand. Daarbij wordt elektriciteit opgewekt.

Figuur 1 AVI-route (oorspronkelijke opzet) van de afvalverwerkingsinrichting van Essent te Wijster



Figuur 2 geeft de massabalans voor kunststof materiaal uit huisvuil over de oude voorscheidingsinstallatie. De hoeveelheid kunststof materiaal in RDF bedraagt 98 kton/jaar.

Figuur 2 Massabalans voor kunststoffen in huisvuil voor de AVI-route



De chemische specificaties en de samenstelling van het kunststof materiaal in ONF en RDF worden gegeven in Bijlage C.

Subcoal route

De Subcoal route is grafisch weergegeven in Figuur 3.

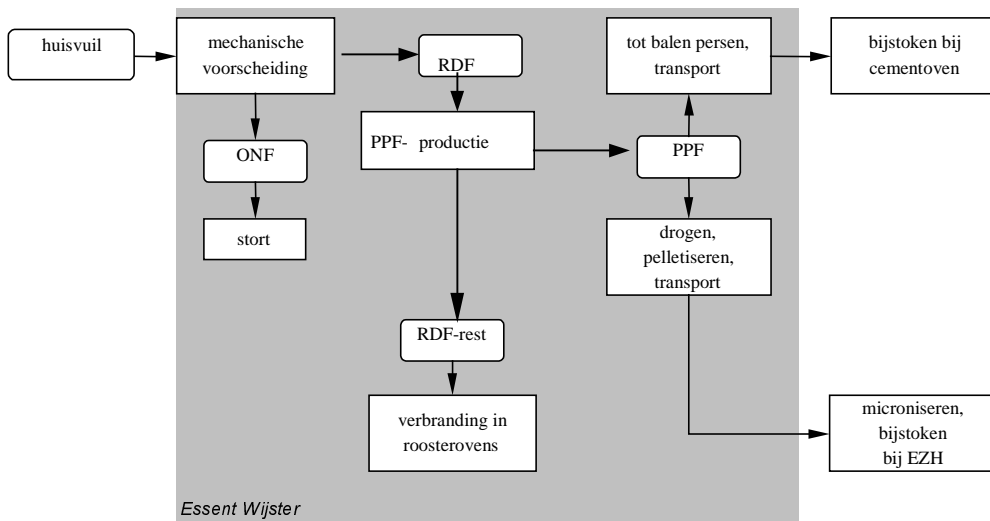
In de Subcoal route wordt de verwerkingscapaciteit van de voorscheiding uitgebreid tot 840 kton/jaar. De capaciteitstoename wordt gebruikt om uit het RDF met windzifters een zogenaamde papier-plasticfractie (PPF) te isoleren (productie 120 kton/jaar), terwijl tegelijkertijd het aanbod voor de drie roosterovens gelijk blijft.

Van het geïsoleerde PPF zal in de praktijk circa de helft (60 kton/jaar) worden gedroogd en gepelletiseerd, waarna de pellets per vrachtwagen naar de centrale Maasvlakte worden getransporteerd. De transportafstand is circa 300 km. Bij de centrale worden de aangevoerde pellets gemicroniseerd en bijgestookt. Het PPF vervangt daarbij steenkool.

De overige PPF wordt gebaald en als secundaire brandstof geëxporteerd, voornamelijk naar een cementoven in Duitsland. Daar wordt het na versnipperen via het hete trommelfront in de oven geblazen. Het PPF vervangt daarbij bruinkool.

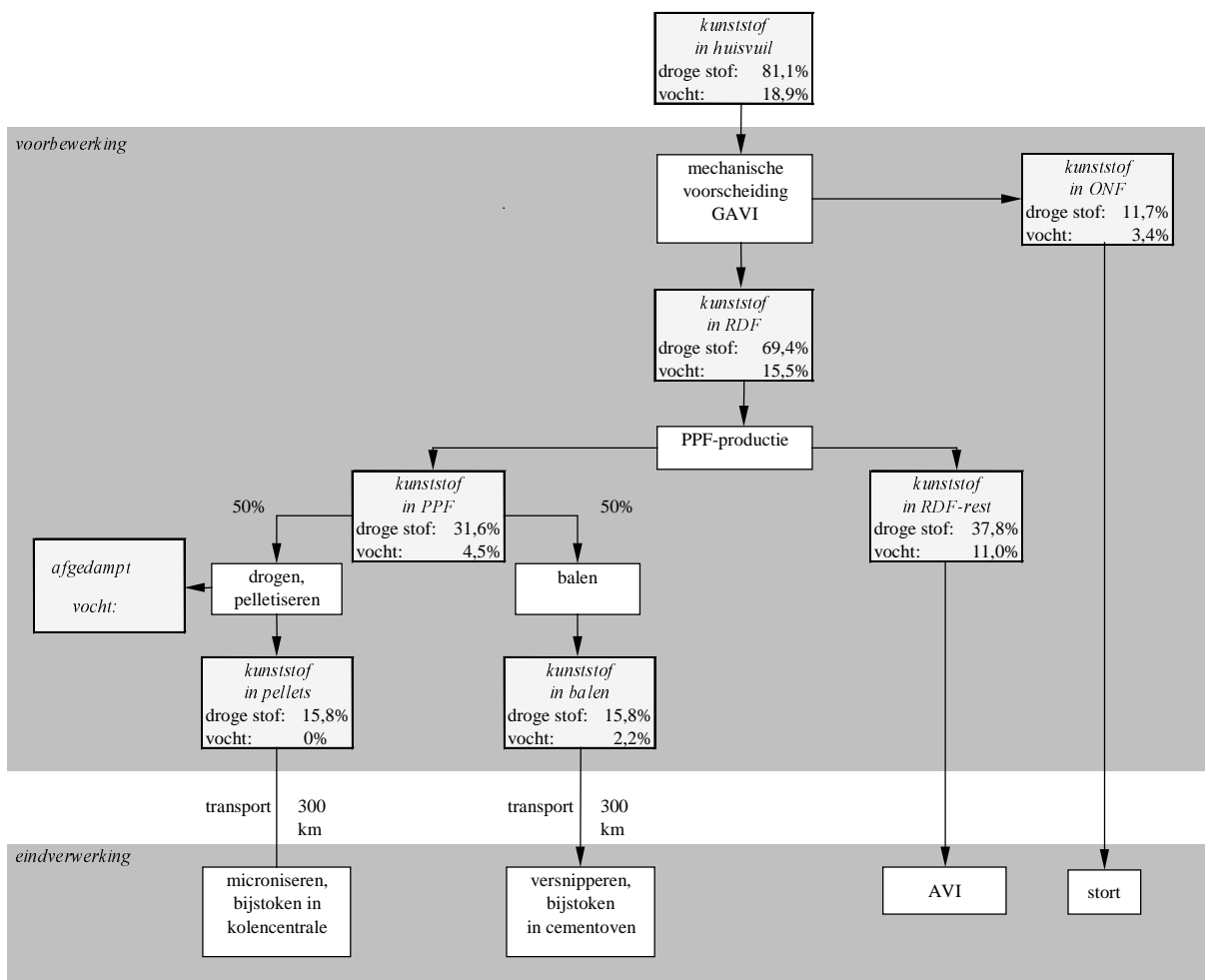
De RDF-rest wordt in de roosterovens van de GAVI verbrand onder opwekking van elektriciteit (zie vorige paragraaf).

Figuur 3 Subcoal route van de afvalverwerkingsinrichting van Essent in Wijster



Figuur 4 geeft de massabalans van kunststoffen uit huisvuil over de aangepaste scheidingsinstallatie en de voorbereidingsprocessen voor PPF.

Figuur 4 Massabalans voor kunststoffen uit huisvuil over de aangepaste scheidingsinstallatie



Het kunststofmateriaal in de RDF komt voor circa 36% in de PPF terecht [5,6] (zie Figuur 4). De hoeveelheid in PPF afgescheiden kunststof materiaal bedraagt circa 42 kton/jaar.

De chemische specificaties en de samenstelling van het kunststof materiaal in ONF, PPF en RDF-rest worden gegeven in Bijlage C.

In de praktijk is de nieuwe situatie nog niet volledig gerealiseerd. De scheidingsinstallatie is uitgebreid, maar er vindt nog geen afzet plaats van PPF-pellets bij de Maasvlakte-centrale. Wel wordt PPF geleverd aan onder meer een cementoven in Duitsland.

2.2 Gehanteerde methodiek

Bij de uitvoering van de studie is gebruik gemaakt van dezelfde methodiek als is toegepast in twee eerdere CE-studies naar de verwerking van kunststof afval uit huisvuil. De methodiek is gebaseerd op de door CML ontwikkelde LCA-methodiek. Deze methodiek wordt in Nederland algemeen toegepast voor de uitvoering van LCA's.

Volgens de CML-methodiek wordt een LCA voor afvalverwijdering in onderstaande vier stappen doorlopen:

- definitie functionele eenheid;
- definitie van de te beschouwen verwijderingsroutes;
- inventariseren van de optredende milieubelasting, uitgedrukt per functionele eenheid;
- classificatie van de optredende milieubelasting per proces, vertaling van de optredende milieubelasting naar de potentiële bijdragen aan milieuthema's;
- somming van de potentiële bijdragen per proces over de gehele route.

De deelstappen worden hieronder in aparte subparagrafen kort behandeld.

Definitie functionele eenheid en verwijderingsroutes

De definitie van de functionele eenheid betreft de vraag voor welk afval de milieuanalyse wordt uitgevoerd. De resultaten van de analyse worden uitgedrukt per ton van dit afval.

De te beschouwen verwijderingsroutes bestrijken in principe alle processen tussen het vrijkomen van het beschouwde afval en het moment waarop dit afval volledig is omgezet in emissies, te storten vast afval en afzetbare secundaire producten (bijvoorbeeld schroot, energiedragers). Bij vergelijkingen tussen meerdere routes kan worden gekozen om gemeenschappelijke processen buiten beschouwing te laten, zoals in deze analyse.

In deze milieuanalyse wordt de inzameling en de eerste scheiding van huisvuil in ONF en RDF buiten beschouwing gelaten. Deze stappen zijn voor de AVI- en Subcoal-route gelijk.

Inventarisatie van optredende milieubelasting

Bij de inventarisatie van de optredende milieubelasting wordt voor alle processen binnen de beschouwde routes de directe en indirecte milieubelasting bepaald. De directe milieubelasting betreft de bij het proces zelf optredende emissies en productie van te storten vast afval. De indirecte milieubelasting heeft betrekking op:

- de milieubelasting door de productie van in het proces geconsumeerde energiedragers en hulpstoffen;
- de milieubelasting die wordt uitgespaard door afzet van de tijdens afvalverwerking geproduceerde secundaire producten.

De afzet van secundaire producten leidt tot substitutie van primaire producten en tot uitsparing van de bij productie daarvan optredende milieubelasting.

Classificatie en somming

De geïnterpreteerde emissies en productie van te storten vaste reststoffen wordt met behulp van classificatiefactoren (zie Bijlage A) omgerekend naar de potentiële bijdrage aan milieuthema's. De bijdragen van de individuele processen uit de route worden vervolgens tot één waarde of score voor de gehele route gesommeerd.

Bij de analyse van het Subcoal-initiatief zijn onderstaande milieuthema's beschouwd:

- klimaatverandering;
- verzuring;
- vermesting;
- emissie van koolwaterstoffen (KWS);
- verspreiding van toxische stoffen;
- verwijdering van te storten vast afval.

Het betreft de in het beleid van het Ministerie van VROM onderscheiden milieuthema's. Deze thema's zijn ook in twee eerder door het CE uitgevoerde studies [2,3] naar de verwijdering van kunststofafval uit huisvuil beschouwd.

In Bijlage B is een overzicht gegeven van de themascores voor de productie van de in deze studie beschouwde hulpstoffen en energiedragers.

Onderlinge weging, milieu-indicator

In de CML-methodiek wordt geen onderlinge weging van de themascores uitgevoerd, omdat een dergelijke weging niet objectief is. Bij veel vergelijkingen van afvalverwijderingsroutes is er echter geen route aan te wijzen, die op alle thema's de laagste bijdrage scoort. Te verwachten viel dat dit ook in deze milieuanalyse het geval zou zijn. Om die reden is in deze analyse wel een weging uitgevoerd. Daarvoor is de zogenaamde distance-to-target methodiek gebruikt. De bijdragen worden daarin gedeeld door de overheidsdoelstellingen, zoals geformuleerd in bijvoorbeeld de verschillende Nationale MilieuPlannen (NMP's). De gedeelde bijdragen worden vervolgens geaggregeerd tot één getal in de vorm van de zogenaamde milieu-indicator.

Tabel 2 geeft de in deze studie gehanteerde doelstellingen. Inmiddels zijn in het NMP III nieuwe maatregelen voor de verschillende milieuthema's aangekondigd. Deze laten zicht echter voor verspreiding niet vertalen in een doelstelling. Voor klimaatverandering heeft een actualisering van de huidige emissies plaatsgevonden, waarna de doelstelling naar boven is bijgesteld. Bovendien omvat de doelstelling in het NMP III meer stoffen dan de doelstelling in NMP II.

Bovendien zijn de resultaten van beide voorgaande CE-studies naar de verwijdering van kunststofafval uit huisvuil gebaseerd op de oude doelstellingen. Vanwege het ontbreken van een complete nieuwe set doelstellingen en om de resultaten vergelijkbaar te kunnen houden met die van voorgaande

studies zijn ook in deze studie de oude doelstellingen gehanteerd. Wel zijn waar mogelijk de nieuwe doelen gegeven.

Tabel 2 Oude en nieuwe milieudoelstellingen

Milieuthema	Doelstellingen	
	NMP II	NMP III
klimaatverandering; Mton CO2-eq	193	206
verzuring; kton SO2-eq	396	242
vermesting kton PO4-eq	354	76
KWS; kton KWS	194	117
verspreiding; 10 ¹⁷ kg vervuild milieu	139	
verwijdering; Mton finaal vast afval	5	2

2.3 Referentiekader

Beschrijving

Het referentiekader voor de kwalificatie is een in een eerdere CE-studie [2], onderzochte verwijderingsroute voor kunststofafval uit huisvuil. De route is deels vergelijkbaar met het Subcoal initiatief. Huisvuil wordt bij de afvalverwerkingsinrichting in Wijster in de Subcoal route gescheiden in ONF, PPF en RDF-rest. Het PPF-materiaal wordt aan een pulper toegevoerd, waarin papier wordt afgescheiden. Uit het overblijvende materiaal wordt PE en PP geïsoleerd door drijf-zink scheiding. Het geïsoleerde materiaal wordt vervolgens middels het Texaco-vergassingsproces omgezet in synthesegas, dat als grondstof voor de productie van oxo-alcoholen wordt toegepast.

Daarnaast worden handmatig HDPE-flacons uit het afval geïsoleerd. De flacons worden herverwerkt tot regranulaat, waaruit nieuwe flacons of vergelijkbare kunststof productie worden vervaardigd.

De voor deze route indertijd verwachte netto milieubelasting per ton kunststoffen in huisvuil was significant lager dan de netto milieubelasting bij verbranding in een AVI. Het verwachte verschil was zo groot dat het Ministerie van VROM concludeerde, dat deze route (Texacoroute) mag worden beschouwd als milieukundig vergelijkbaar met materiaalhergebruik voor kunststof verpakkingsafval uit huisvuil.

Tabel 3 geeft de indertijd voor integrale verbranding en mechanische nascheidingsroute bepaalde bijdragen aan de beschouwde milieuthema's.

Tabel 3 Milieuwinst Texaco-route met mechanische nascheiding (model 2 uit [2])

	Integrale verbranding in een AVI	Texaco-vergassing en mechanische nascheiding (model 2 uit [2])	Verskil
primaire energie (GJ)	-19,1	-31,4	-12,3
klimaatverandering (kg CO2-eq)	1560	1144	-416
verzuring (kg SO2-eq)	2,05	-0,6	-2,65
vermesting (kg PO4-eq)	0,3	0,06	-0,24
KWS (kg KWS)	0,88	-0,27	-1,15
verspreiding (kg vervuild milieu)	1,70E+09	-8,42E+07	-1,78E+09
verwijdering (kg finaal vast afval)	57,8	41,8	-16
milieu-indicator (10e-9 jaar)	30,3	11,5	-18,7



Aantekeningen bij representativiteit

De in de vorige studie verkregen inzichten zijn overigens deels achterhaald:

- gebleken is dat de poortprijs van het Texacoproces het initiatief onevenredig duur zou maken;
- herverwerking van folies uit huisvuil is waarschijnlijk niet mogelijk, doordat daaruit geproduceerd regranulaat onvoldoende kwaliteit heeft;
- waarschijnlijk leidt verwerking middels het Texaco-proces niet tot de eerder geschatte uitsparing van de emissie van koolwaterstoffen.

De Texacoroute is geen reële optie gebleken (te duur) voor de verwerking van kunststofafval in huisvuil. In deze studie is echter aangenomen dat niet zozeer de precieze opbouw van de verwijderingsroute alswel het indertijd verwachte relatieve milieuvoordeel van de route ten opzichte van integrale verbranding in een AVI relevant zijn voor het overheidsbeleid inzake kunststof verpakkingsafval.

De schatting van de bij verwerking middels het Texacoproces uitgespaarde emissie van koolwaterstoffen berust op de aanname dat bij de productie van synthesegas uit aardgas een aanzienlijke emissie van MEA (methyl-,ethylamine) optreedt. Productie van synthesegas uit aardgas wordt naar is aangenomen uitgespaard door productie van synthesegas uit kunststof afval.

MEA is een absorbens gebruikt voor de afvang van CO₂ uit rookgassen. In [2] is indertijd op basis van een modelstudie van de RU Utrecht verondersteld dat MEA of een soortgelijk absorbens wordt gebruikt voor de isolatie van CO₂ uit de rookgassen van de reformer, waarmee synthesegas uit aardgas wordt geproduceerd. Verondersteld is dat de afgevangen CO₂ wordt teruggeleid als voeding voor de reformer om zo synthesegas te krijgen met een samenstelling, die overeenkomt met de eisen van het proces waaraan het synthesegas wordt toegevoerd. Uit praktijkgegevens voor Methanor blijkt echter dat de emissie van koolwaterstoffen als geheel een factor 100 lager is dan de in [2] geschatte MEA-emissie. Daarmee vervalt een belangrijk deel van de bij verwerking middels het Texacoproces gerelateerde milieuwinst.

De milieu-indicator voor model 2 zou bij correctie voor de te hoog geschatte koolwaterstofemissie uitkomen op $15 \cdot 10^9$ jaar/ton kunststoffen in plaats van de eerder berekende $11 \cdot 10^9$ jaar/ton.



3 Vergelijking van eindverwerkingsprocessen

In dit hoofdstuk wordt voor de twee in deze studie beschouwde alternatieve eindverwerkingsprocessen (bijstoken in cementoven en Maasvlaktecentrale) de netto milieubelasting per ton kunststof materiaal bepaald. De analyse wordt uitgevoerd voor één ton kunststof materiaal in PPF.

Ter illustratie wordt ook een schatting gegeven van de netto milieubelasting per ton verwerkt materiaal voor de verwerking van kunststoffen middels het Texacoproces. De schatting van de netto milieubelasting per ton verwerkt kunststof materiaal heeft niet specifiek betrekking op het kunststof materiaal in PPF, maar geeft wel een goede indicatie. De waarden zijn opgenomen om een indruk te geven van de verhouding tussen de netto milieubelasting gerelateerd aan bijstoken in cementoven en kolencentrale en de netto milieubelasting gerelateerd aan verwerking middels het Texaco-proces.

In dit hoofdstuk worden daarnaast ook de aan bijstoken van Biomass-korrels en kunststoffen bij de Maasvlaktecentrale toe te rekenen netto milieubelasting vergeleken.

In paragraaf 3.1 wordt kort aangegeven welke voorbereidingsprocessen wel en niet zijn meegenomen bij het bepalen van de aan bijstoken in cementoven en Maasvlaktecentrale gerelateerde netto milieubelasting. De berekening van de aan beide processen gerelateerde netto milieubelasting wordt gegeven in paragraaf 3.2 en paragraaf 3.3. Bij de analyse voor de Maasvlaktecentrale wordt ook globaal aangegeven wat de netto milieubelasting zou zijn wanneer PPF in een andere Nederlandse kolencentrale zou worden bijgestoken.

In paragraaf 3.4 wordt een schatting gegeven van de aan verwerking van kunststoffen middels het Texaco-proces gerelateerde milieubelasting. De aan verwerking door bijstoken in kolencentrale en cementoven gerelateerde milieubelasting wordt in 3.5 vergeleken met de aan verwerking middels Texaco-proces en verbranding in een AVI gerelateerde milieubelasting.

In paragraaf 3.6 tenslotte wordt een vergelijking gemaakt tussen de aan bijstoken bij de Maasvlaktecentrale van Biomass energiekorrels en kunststof materiaal in PPF gerelateerde netto milieubelasting.

3.1 Afbakening

Bij de milieuanalyse zijn alleen die voorbereidingsprocessen beschouwd die nodig zijn om de secundaire brandstof te kunnen inzetten in het beschouwde eindverwerkingsproces.

Het betreft bijvoorbeeld het pelletiseren en microniseren van PPF voorafgaand aan bijstoken in de Maasvlaktecentrale. Microniseren is nodig om het materiaal voldoende klein te krijgen om invoer in de poederkoolcentrale mogelijk te maken. Pelletiseren is nodig om op industriële schaal te kunnen microniseren met een hoge beschikbaarheid.

Vorbewerkingen als de isolatie van PPF uit afval en transporteren van PPF blijven buiten beschouwing. PPF kan bijvoorbeeld ook op andere manieren worden geïsoleerd dan middels de door Essent toegepaste scheidingsinstallatie, zie bijvoorbeeld de scheidingsinstallatie van ICOVA.

3.2 Subcoal-initiatief (bijstoken van PPF in poederkoolcentrale)

Procesbeschrijving en afbakening

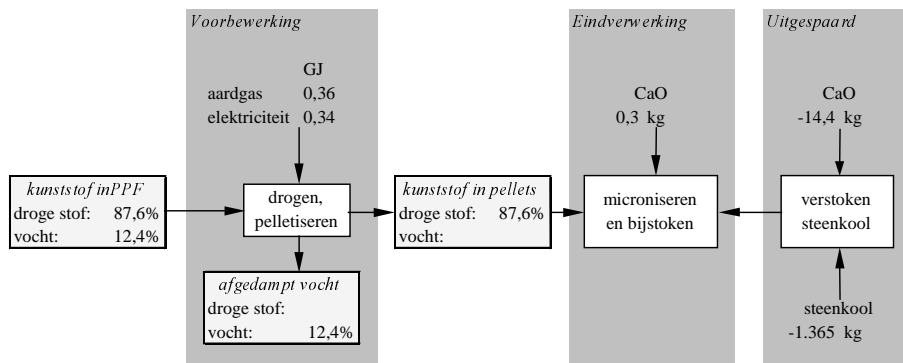
Uit huisvuil geïsoleerd PPF wordt ter plaatse van de scheidingsinstallatie verkleind, gedroogd en gepelletiseerd. De pellets worden bij de poederkoolcentrale gemicroniseerd en in de vuurhaard geblazen. Daarbij wordt steenkool uitgespaard. Voor de chemische specificaties van het kunststof materiaal wordt verwezen naar Bijlage C. Voor de aan bijstoken van gepelletiseerd PPF en aan de inzet van steenkool gerelateerde milieubelasting wordt verwezen naar Bijlage E.

De voorafscheiding van PPF, zoals plaatsvindt in de aangepaste scheidingsinstallatie van Essent Wijster en pellettransport zijn conform de aangehouden afbakening buiten beschouwing gelaten. De aan transport gerelateerde milieubelasting hangt af van de locatie van pelletinstallatie en afnehmer. PPF of soortgelijk RDF kunnen als gezegd ook met een andere installatie dan de bij Essent Wijster toegepaste scheidingsinstallatie worden geïsoleerd.

ffen en energiedragers gegeven.

Figuur 5 geeft de massabalans over het bijstoken van PPF. In de figuur zijn ook de geconsumeerde en geproduceerde hoeveelheden hulpstoffen en energiedragers gegeven.

Figuur 5 Massabalans voor bijstoken kunststof materiaal in gepelletiseerd PPF in de Maasvlaktecentrale (alle kentallen per ton verwerkt kunststof afval)



Milieubelasting bij Maasvlaktecentrale

Tabel 4 geeft de opbouw van de netto bijdragen voor bijstoken aan de beschouwde milieuthema's en milieu-indicator. De berekening van de gepresenteerde waarden wordt gegeven in Bijlage E.

Bij het bepalen van de directe bijdragen is rekening gehouden met het feit dat bijstoken van kunststoffen in PPF een verlagende werking zal hebben op de kwikemissie van de gehele centrale. Door het hoge chloorgehalte van het kunststof materiaal zal de rookgasconcentratie van HCl toenemen, waardoor een hoger percentage kwik reageert tot $HgCl_2$. Deze verbinding wordt in de rookgasreiniging van de poederkoolcentrale afgevangen (zie ook Bijlage G).

De in de Tabel 4 gegeven waarden voor de door substitutie van steenkool uitgespaarde bijdragen aan de beschouwde milieuthema's moeten overigens niet als absolute waarden worden beschouwd. De gegeven waarden hebben betrekking op de gemiddelde samenstelling van het in 1998 bij Nederlandse poederkoolcentrales verstookte steenkool. In andere jaren kan steenkool met een afwijkende samenstelling worden ingezet. De in de tabel gegeven waarden geven de orde van grootte van de uitgespaarde milieubelasting, maar zijn geen absolute waarheid.

Bij de berekening van de aan bijstoken van kunststoffen in PPF gerelateerd netto milieubelasting is aangenomen dat bij verbranding een zelfde percentage van de in het kunststof materiaal aanwezige stikstof wordt omgezet in (brandstof-) NO_x als bij steenkool. Er zijn echter redenen om aan te nemen dat bij inzet van kunststoffen uit PPF geen brandstof NO_x wordt gevormd (zie Bijlage E). Tabel 5 geeft de bijdragen aan de beschouwde milieuthema's voor deze situatie. In de studie is bij wijze van *worst case* benadering verder uitgegaan van de vorming van brandstof NO_x .

Tabel 4 Milieuscore voor bijstoken van kunststof materiaal in gepelletiseerd PPF bij de Maasvlaktecentrale (alle kentallen per ton verwerkt kunststof afval)

	Directe milieubelasting	Indirecte milieubelasting			Netto milieubelasting	
	bijstoken kunststof materiaal in PPF	drogen en pelletiseren	netto consumptie van CaO	vervanging van steenkool	bijdragen aan milieuthema's	equivalente bijdragen aan milieu-indicator
primaire energie (GJ)		-0,1	1,0	-33,1	-32,2	
klimaatverandering (kg CO_2 -eq)	2.534	-12	55	-3.087	-510	-2,6
verzuring (kg SO_2 -eq)	3,50	-0,01	0,02	-4,85	-1,34	-3,4
vermesting (kg PO_4 -eq)	0,25	-0,00	0,00	-0,58	-0,32	-0,9
KWS (kg KWS)	0,04		0,02	-0,03	0,02	0,1
verspreiding (kg vervuild milieu)	3,06E+08			-1,34E+09	-1,03E+09	-0,1
verwijdering (kg finaal vast afval)		-0,01	0,11		0,10	0,0
milieu-indicator (10^9 jaar)	22,9	-0,1	0,4	-30,2		-6,9

Tabel 5 Bijdragen wanneer geen brandstof-NO_x wordt gevormd (alle kentallen per ton verwerkt kunststofafval)

	Directe milieubelasting	Indirecte milieubelasting			Netto milieubelasting	
	bijstoken kunststof materiaal in PPF	drogen en pelletiseren	netto consumptie van CaO	vervanging van steenkool	bijdragen aan milieuthema's	equivalente bijdragen aan milieu-indicator
primaire energie (GJ)		-0,1	1,0	-33,1	-32,2	
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	2.534	-12	55	-3.087	-510	-2,6
verzuring (kg SO ₂ -eq)	2,84	-0,01	0,02	-4,85	-2,00	-5,0
vermesting (kg PO ₄ -eq)	0,13	-0,00	0,00	-0,58	-0,44	-1,3
KWS (kg KWS)	0,04		0,02	-0,03	0,02	0,1
verspreiding (kg vervuild milieu)	3,06E+08			-1,34E+09	-1,03E+09	-0,1
verwijdering (kg finaal vast afval)		-0,01	0,11		0,10	0,0
milieu-indicator (10 ⁻⁹ jr)	20,9	-0,1	0,4	-30,2		-8,9

Milieubelasting bij andere Nederlandse kolencentrales

De beide Maasvlaktecentrales verschillen qua vuurhaard lay-out en opbouw en prestaties van de rookgasreiniging enigszins met de andere 5 kolencentrales in Nederland. De centrale Gelderland 13 en Amer 8 bijvoorbeeld zijn uitgerust met een SCR. De centrales Amer 9 en Hemweg 8 hebben een anders ontworpen vuurhaard.

De invloed van deze verschillen op de netto milieubelasting is onderzocht door de netto milieubelasting per ton kunststoffen in PPF te bepalen voor de bij de vijf andere centrales gerealiseerde hoogste en laagste gerealiseerde verwijderingsrendementen voor emissies naar lucht (zie Tabel 6).

Tabel 6 Bijdragen aan milieuthema's voor verschillende kolencentrales (alle waarden per ton kunststoffen in PPF)

	Maasvlakte-centrale	Overige centrales	
		best case	worst case
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	-510	-514	-506
verzuring (kg SO ₂ -eq)	-1,34	-0,04	-1,55
vermesting (kg PO ₄ -eq)	-0,32	0,00	-0,32
KWS (kg KWS)	0,02	0,02	0,02
verspreiding (kg vervuild milieu)	-1,03E+09	-2,00E+08	-1,22E+09
verwijdering (kg finaal vast afval)	0,10	0,10	0,10
milieu-indicator (10 ⁻⁹ jaar)	-6,9	-2,7	-7,5



Uit de tabel blijkt dat bijstoken in de Maasvlaktecentrale een relatief grote uitgespaarde netto milieubelasting geeft. Uit de tabel blijkt echter ook dat de spreiding in de netto milieubelasting niet bijzonder groot is. De voor bijstoken in de Maasvlaktecentrale bepaalde netto milieubelasting is dus ook een goede indicatie voor de netto milieubelasting, die bij bijstoken in andere kolencentrales zal optreden.

3.3 Bijstoken van PPF in cementoven

Procesbeschrijving en afbakening

Voor het schatten van de aan het bijstoken van PPF in een cementoven gerelateerde milieubelasting is in overleg met de opdrachtgever uitgegaan van informatie met betrekking tot de oven van ENCI in Maastricht.

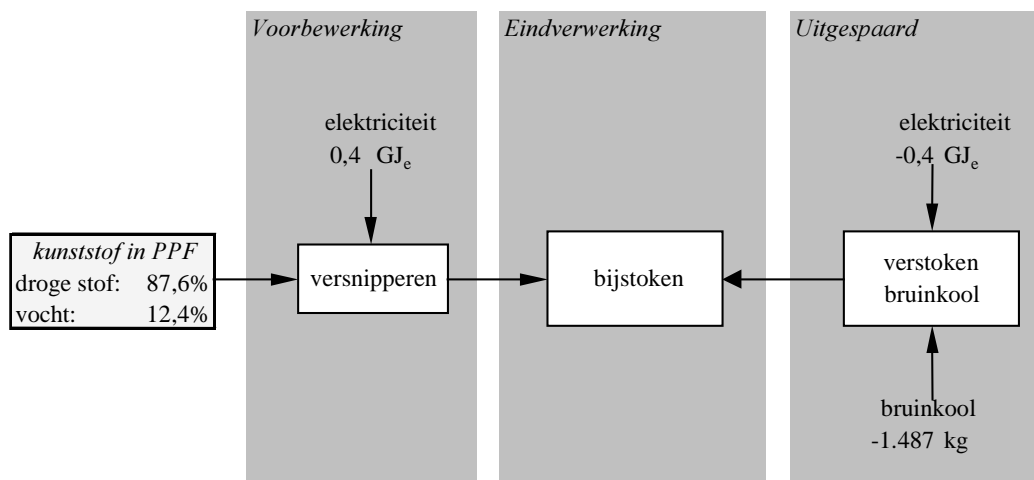
De betreffende oven wijkt iets af van de in België en Duitsland toegepaste ovens. De installatie kan enkel via het hete trommelfront brandstoffen innemen. RDF moet als pellets van beperkte afmetingen worden aangeleverd. Bij de ovens in Duitsland en België kan de secundaire brandstof vaak als fluff ingevoerd. Onderstaande beschrijving heeft betrekking op de situatie van ovens in Duitsland en België.

PPF wordt bij bijstoken in een cementoven versnipperd en via het hete trommelfront als secundaire brandstof in de cementoven geblazen. De inzet van PPF als secundaire brandstof leidt tot de uitsparing van bruinkool.

Figuur 6 geeft de massabalans over het bijstoken van PPF bij een cementoven. In de figuur zijn ook de geconsumeerde hoeveelheden energiedragers gegeven. Tabel 7 geeft de opbouw van de netto bijdragen voor bijstoken aan de beschouwde milieuthema's. De berekening van de gepresenteerde getallen wordt gegeven in Bijlage F.

De voorafscheiding van PPF, zoals plaatsvindt in de aangepaste scheidingsinstallatie van Essent Wijster, balen en balen transport zijn conform de aangehouden afbakening buiten beschouwing gelaten.

Figuur 6 Massabalans voor kunststof materiaal in PPF over bijstoken in cementoven (alle kentallen per ton verwerkt kunststof afval)



Tabel 7 Milieuscore voor bijstoken in cementoven (alle kentallen per ton verwerkt kunststof afval)

	Directe milieubelasting	Indirecte milieubelasting			Netto milieubelasting	
	bijstoken kunststof materiaal in PPF	versnipperen	vervanging van bruinkool	uitgespaard verbruik elektriciteit	bijdragen aan milieuthema's	equivalente bijdragen aan milieu-indicator
primaire energie (GJ)		0,7	-33,4	-0,8	-33,6	
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	2.533	38	-3.146	-45	-620	-3,2
verzuring (kg SO ₂ -eq)	12,10	0,01	-12,30	-0,02	-0,20	-0,5
vermesting (kg PO ₄ -eq)	2,18	0,00	-2,23	-0,00	-0,05	-0,1
KWS (kg KWS)		0,01		-0,01	-0,00	0,0
verspreiding (kg vervuild milieu)	8,95E+06		-9,78E+06		-8,25E+05	0,0
verwijdering (kg finaal vast afval)		0,07		-0,09	-0,01	0,0
milieu-indicator (10 ⁻⁹ jaar)	50,0	0,3	-53,8	-0,4		-3,9

De oven van de ENCI is uitgerust met een (in vergelijking met de meeste andere cementovens) zeer goede rookgasontstopping, waardoor de emissies naar het milieu beperkt zijn. Ook is de procesvoering zodanig dat emissies van SO₂ vrijwel volledig worden voorkomen. Hierdoor is het milieuvoordeel verkregen door uitsparing van bruinkool beperkter dan bij andere cementovens. De voor bijstoken van PPF verwachte milieubelasting moet daarom ook als een conservatieve inschatting worden gezien.

3.4 Verwerking middels Texaco-proces

Procesbeschrijving

Het Texacoproces vergt volgens opgave van de aanbieder (zie [2]) een voeding met de volgende specificaties:

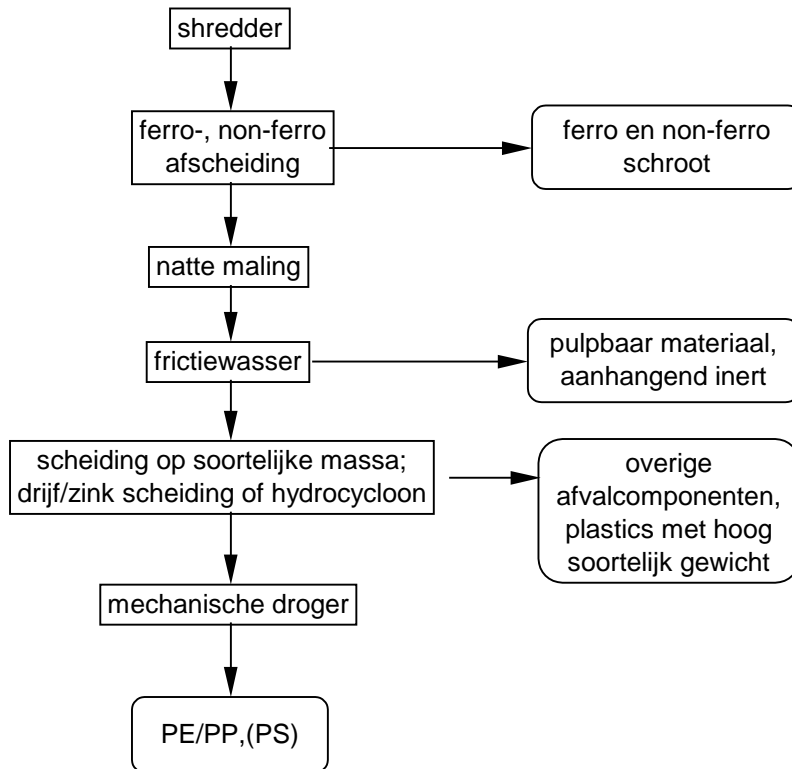
- < 10 gew% (d.s.) GFT, papier en textiel;
- < 5 gew% (d.s.) metalen;
- < 5 gew% (d.s.) chloor;
- < 10 gew% (d.s.) as;
- vochtgehalte < 10 gew% (n.s.).

Een voeding met dergelijke specificaties kan worden gegarandeerd door inzet van de in Figuur 7 getoonde voorbewerking.



Afgescheiden kunststof materiaal of een fractie met een hoog percentage kunststof materiaal wordt geshredderd, nat gemalen en in een frictiewasser ontdaan van aanhangend verpulpbaar organisch materiaal. In de fractie aanwezige metalen worden na de shredder grotendeels afgescheiden met magneten en Eddy Current scheiding. Uit de overblijvende fractie wordt met een drijf/zink scheiding of een hydrocycloon en met water als scheidingmedium PE/PP geïsoleerd.

Figuur 7 Vorbewerking van kunststof(rijke) fracties voor het Texacoproces



PS kan eventueel nog worden teruggewonnen door toepassing van een tweede drijf/zink scheiding of hydrocycloon, waarin een zoutoplossing met een dichtheid van 1,2 kg/l als medium wordt gebruikt. Het afgescheiden kunststof materiaal wordt mechanisch gedroogd tot een resterend vochtgehalte van gemiddeld 5 gew% (n.s.) [14],[15].

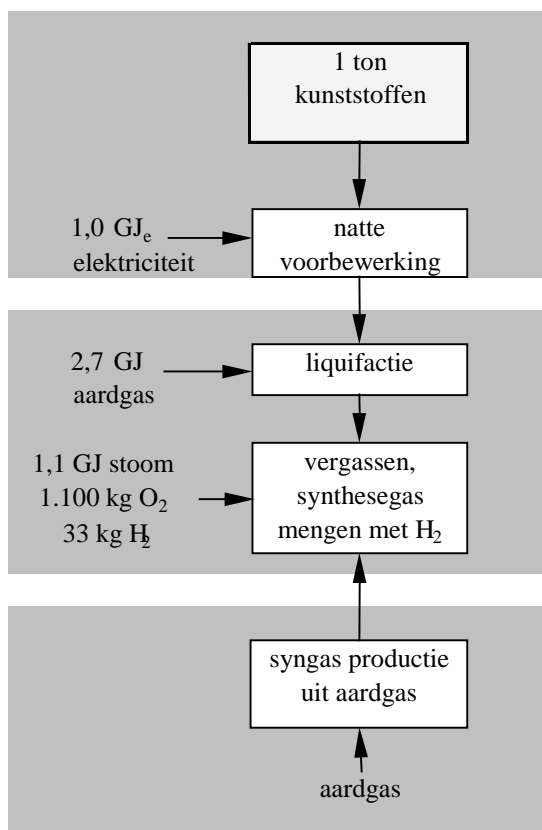
Vorbewerkingsinstallaties met bovenbeschreven opbouw worden ondermeer toegepast voor de Vorbewerking van kunststof materiaal uit het DSD-systeem, voorafgaand aan feedstock recyclingsprocessen als het VEBA-proces. Essent gaat uit van een dergelijke installatie voor de isolatie van plastics uit PPF. Ingangsmateriaal voor deze installatie is overigens PPF waaruit papier al is afgescheiden middels pulpen (zie [2]).

Het Vorbewerkte kunststof materiaal wordt middels een mild thermisch kraakproces (liquifactie) omgezet in een vloeistof. De voor het kraakproces benodigde warmte wordt geleverd door het terugstoken van gasvormige kraakproducten en door ondervuring met aardgas. De vloeistof wordt onder toevoeging van stoom en zuurstof bij hoge temperatuur en druk vergast. Het synthesegas wordt gereinigd en door bijmenging van H₂ op de voor de beoogde afzet wenselijke samenstelling gebracht. Bij inzet bij de productie van oxo-alcoholen is circa 33 kg H₂ nodig (zie Figuur 8).

Milieubelasting

Tabel 8 geeft de bijdragen per ton verwerkt kunststof materiaal aan de beschouwde milieuthema's. Tabel 9 geeft de overeenkomstige opbouw van de totale milieu-indicator voor verwerking middels het Texaco-proces. De gepresenteerde waarden voor de emissie van koolwaterstoffen zijn aangepast aan de nieuwe inzichten in de emissie van koolwaterstoffen bij synthesesgasproductie op basis van aardgas.

Figuur 8 Vergassing van voorbereekt kunststof afval middels het Texaco-proces



Tabel 8 Milieuscore voor verwerking van kunststoffen middels Texaco-proces (alle kentallen per ton verwerkt kunststof materiaal)

	productie oxo-alcoholen			methanolproductie		
	resultaat vorige studie	extra elektriciteit voor natte voorbereiking	netto milieubelasting	resultaat vorige studie	extra elektriciteit voor natte voorbereiking	netto milieubelasting
primaire energie (GJ)	-39,6	1,2	-38,4	-39,4	1,2	-38,2
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	743	69	812	764	69	833
verzuring (kg SO ₂ -eq)	-0,69	0,02	-0,67	-0,76	0,02	-0,74
vermesting (kg PO ₄ -eq)	-0,14	0,00	-0,14	-0,15	0,00	-0,15
KWS (kg KWS)	-0,22	0,02	-0,20	-0,21	0,02	-0,19
verspreiding (kg vervuild milieu)	-1,46E+08		-1,46E+08	-1,32E+08		-1,32E+08
verwijdering (kg finaal vast afval)	5,00	0,13	5,13	5,00	0,13	5,13

De gegeven waarden zijn de bijdragen per ton kunststof materiaal zoals bepaald in [2], echter gecorrigeerd voor elektriciteitsverbruik tijdens natte voorbewerking van kunststof(rijke) deelfracties uit huisvuil. De natte voorbewerking vergt circa 270 kWh_e/ton output.

Tabel 9 Bijdragen aan milieu-indicator voor verwerking middels Texaco-proces (alle waarden in 10⁻⁹ jaar/ton verwerkt kunststof materiaal)

	productie oxo-alcoholen			methanolproductie		
	resultaat Texaco-studie [2]	extra elektriciteit voor natte voorbewerking	netto milieu-belasting	resultaat vorige studie	extra elektriciteit voor natte voorbewerking	netto milieu-belasting
Milieuthema:						
- klimaatverandering	3,8	0,4	4,2	4,0	0,4	4,3
- verzuring	-1,7	0,1	-1,7	-1,9	0,1	-1,9
- vermesting	-0,4	0,0	-0,4	-0,4	0,0	-0,4
- KWS	-1,1	0,1	-1,0	-1,1	0,1	-1,0
- verspreiding	0,0		0,0	0,0		0,0
- verwijdering	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0
Totaal	1,6	0,6	2,1	1,5	0,6	2,1

Representativiteit voor de verwerking van kunststoffen uit PPF

De combinatie van natte opwerking middels de in deze studie beschouwde voorbewerkingsinstallatie en PPF-productie is maar één van de manieren om plastics mechanisch uit huisvuil te isoleren voor verwerking middels het Texaco-proces. Sinds enkele jaren zijn bijvoorbeeld scheidingstechnieken op basis van vormherkenning of op basis van infrarood spectra commercieel beschikbaar. Met deze technieken kunnen in principe kunststof voorwerpen uit grijs huisvuil worden afgescheiden.

Nieuwe scheidingstechnieken als identificatie met behulp van infrarood scanners (bijvoorbeeld Titech scheidingsinstallatie) bieden waarschijnlijk betere mogelijkheden voor de afscheiding van een plasticrijke fractie. In de route via PPF-productie wordt uiteindelijk slechts een kwart van het kunststof materiaal in RDF geïsoleerd. Toepassing van nieuwe technieken als Titech scheidingsapparatuur maken het waarschijnlijk mogelijk de dubbele hoeveelheid te isoleren¹.

Bovendien is het de bedoeling PPF als een secundaire brandstof af te zetten en heeft PPF een kunststofgehalte van slechts circa 35%. PPF bestaat verder uit papier en andere brandbare afvalcomponenten. Bij inzet van scheidingstechnieken specifiek bedoeld voor de afscheiding van kunststoffen worden waarschijnlijk kunststofrijke deelfracties afgescheiden met een aanzienlijk hogere concentratie kunststof materiaal. Bij afscheiding van drankkartons met Titech-installaties bijvoorbeeld worden in praktijkproeven zuiverheden van circa 75% bereikt.

Het is al met al waarschijnlijker dat bij afscheiding van kunststoffen voor verwerking middels het Texaco-proces andere scheidingstechnieken worden ingezet.

¹ Bij praktijkproeven zijn voor plastics in DSD-afval efficiency's van 80% gerealiseerd.

3.5 Vergelijking milieuscores eindverwerkingsprocessen

Tabel 10 geeft de netto milieubelasting voor de in voorgaande paragrafen beschouwde eindverwerkingsprocessen. Ter vergelijking zijn ook de bijdragen gegeven voor verbranding van het kunststof materiaal in PPF in de roosterovens van Essent Wijster en voor verwerking van kunststoffen middels het Texaco-proces (zie Tabel 8). Tabel 11 geeft de omgerekende bijdragen per thema aan de milieu-indicator.

Tabel 10 Milieuscore eindverwerkingsprocessen (alle kentallen per ton kunststof afval)

	verbranden kunststoffen in PPF in een AVI	Subcoal-initiatief bijstoken PPF in Maasvlakte centrale	bijstoken PPF in cementoven	Texaco-proces	
				productie oxo-alcoholen	methanol-productie
primaire energie (GJ)	-14,0	-32,2	-33,6	-38,4	-38,2
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	1.792	-510	-620	812	833
verzuring (kg SO ₂ -eq)	0,62	-1,34	-0,20	-0,67	-0,74
vermesting (kg PO ₄ -eq)	0,03	-0,32	-0,05	-0,14	-0,15
KWS (kg KWS)	-0,18	0,02	-0,00	-0,20	-0,19
verspreiding (kg vervuild milieu)	2,41 ^E +06	-1,03E+09	-8,25E+05	-1,46E+08	-1,32E+08
verwijdering (kg finaal vast afval)	88,31	0,10	-0,01	5,13	5,13

Tabel 11 Bijdragen aan milieu-indicator (alle waarden in 10⁻⁹ jaar/ton kunststof afval)

	verbranden kunststoffen in PPF in in AVI	Subcoal-initiatief bijstoken PPF in Maasvlakte centrale	bijstoken PPF in cementoven	Texaco-proces	
				productie oxo-alcoholen	methanol-productie
milieuthema:					
- klimaatverandering	9,3	-2,6	-3,2	4,2	4,3
- verzuring	1,6	-3,4	-0,5	-1,7	-1,9
- vermesting	0,1	-0,9	-0,1	-0,4	-0,4
- KWS	-0,9	0,1	0,0	-1,0	-1,0
- verspreiding	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0
- verwijdering	17,7	0,0	0,0	1,0	1,0
totaal	27,6	-6,9	-3,9	2,1	2,1

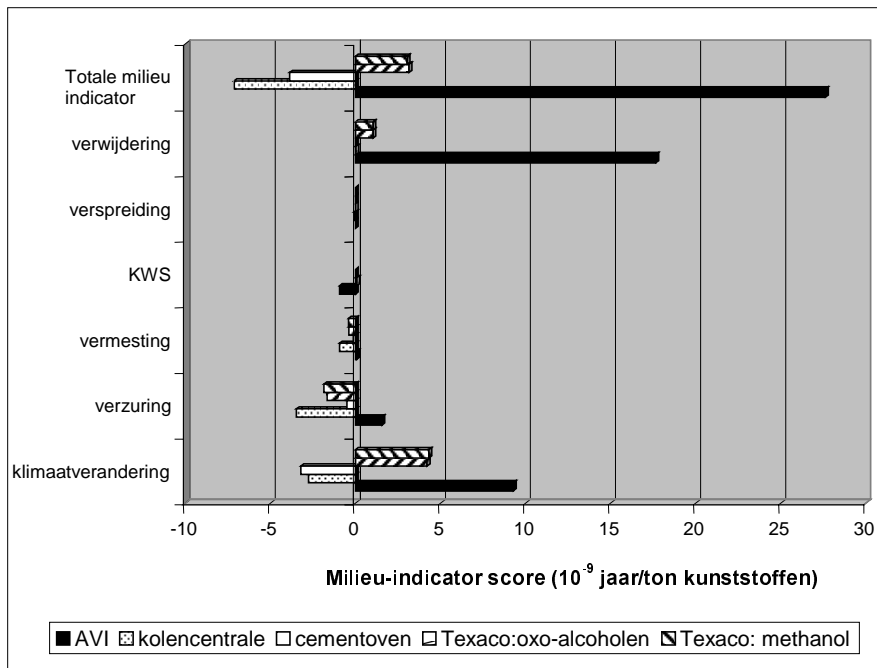
Uit beide tabellen volgt dat het Subcoal-initiatief en bijstoken in een cementoven qua netto milieubelasting ongeveer even goed scoren, in vergelijking met verbranding in een AVI. Beide processen scoren beter op alle thema's, behalve de emissie van koolwaterstoffen.

De bijdragen aan de milieu-indicatoren zijn nog eens grafisch weergegeven in Figuur 9.

Vergelijking met verbranding in een AVI

Het belangrijkste voordeel dat beide processen bieden ten opzichte van verbranden in een AVI zijn de reductie van de emissies van broeikasgassen en verzurende stoffen en het kunnen verwerken van kunststoffen zonder dat te storten vast afval wordt geproduceerd. De bijdragen aan de andere milieuthema's hebben minder belang voor de totale milieu-indicator van de drie verwerkingsprocessen.

Figuur 9 Grafische weergaven opbouw milieu-indicator voor eindverwerkingsprocessen



Het Subcoal-initiatief en bijstoken in een cementoven scoren beter voor klimaatverandering doordat het kunststof materiaal in deze processen met een hoger energetisch rendement worden ingezet dan bij verbranding in een AVI. Bovendien wordt bij de kolencentrale (steenkool) en cementoven (bruinkool) een brandstof met een hogere CO₂-emissie per GJ vervangen dan bij verbranding in een AVI (aardgas).

Bij verbranding in een AVI ontstaat een aanzienlijke hoeveelheid rookgasreinigingsresidu door de afvang van HCl en SO₂ uit de rookgassen. Deze stoffen worden omgezet in zouten, die vanwege de verontreiniging van zware metalen moeten worden gestort. Ook een deel van de afgevangen vliegias moet worden gestort. Bijstook in een kolencentrale of cementoven geven geen vaste reststoffen. De reststoffen van de kolencentrale kunnen worden afgezet als grondstof of secundair product. Bij de cementoven worden alle minerale brandstof bestanddelen in de klinker gebonden.

De goede score voor de emissie van koolwaterstoffen bij verbranding in een AVI is gerelateerd aan het uitsparen van de winning en transport van aardgas. Aangenomen is dat door de afzet van de door de AVI geproduceerde elektriciteit geen elektriciteit hoeft te worden geproduceerd met een gasgestookte STEG. Daarbij wordt ook de bij winning, transport en -distributie optredende aardgaslekkage uitgespaard.

De werkelijke winst is waarschijnlijk echter kleiner dan hier geschat. Er is uitgegaan van lekverliezen, inclusief verliezen tijdens distributie. Een energiecentrale van enige omvang krijgt waarschijnlijk direct vanaf het hoofdnet aangeleverd. Bovendien treedt het overgrote deel van de lekverliezen tijdens distributie op in oude stadsgasnetten. Een moderne centrale is waarschijnlijk niet aan een dergelijk net gekoppeld. De werkelijke winst zou daarom wel eens 50% kleiner kunnen dan zijn dan hier geschat.

Bijstoken in cementoven en kolencentrale geeft een lagere netto bijdrage aan verspreiding dan verbranding in een AVI. Dit lijkt op het eerste gezicht vreemd vanwege de zeer goede rookgasreiniging van de in Nederland in gebruik zijnde AVI's, maar kan worden verklaard door de aard van de bij bijstoken vervangen brandstoffen. De eigen bijdrage is in geval van verbranding van het kunststof materiaal in PPF in een AVI lager dan bij bijstoken in een cementoven of kolencentrale. Hieruit blijkt de betere reiniging van de rookgassen bij verbranding in een AVI. Het kunststof materiaal in PPF bevat echter minder zware metalen dan de bij cementoven en kolencentrale uitgespaarde bruinkool en steenkool. Hierdoor is de uitgespaarde en netto bijdrage aan verspreiding beter dan bij verbranding in een AVI.

Gevoeligheidsanalyse vergelijking AVI versus Subcoal en cementoven

Bij wijze van gevoeligheidsanalyse is ook geanalyseerd hoe verbranding in een AVI milieukundig scoort wanneer wordt aangenomen dat levering van elektriciteit door een AVI leidt tot uitsparing van elektriciteitsproductie door het gemiddelde park in plaats van door een STEG.

Productie door het gemiddelde park geeft per kWhe een grotere emissie van NO_x , SO_2 en CO_2 omdat (zie Tabel 12):

- een deel van de productie is gebaseerd op kolen en hoogovensgas;
- een deel van de gasgestookte centrales bestaat uit oude 'combi's' met een lager netto elektrisch rendement en een hogere NO_x -emissie per GJ brandstof.

Hierdoor is de bij verbranding in een AVI uitgespaarde milieubelasting groter dan wanneer een moderne aardgasgestookte STEG als referentieproces voor elektriciteitsproductie wordt gehanteerd. De uitgespaarde milieubelasting en de netto milieubelasting zijn echter nog steeds ongunstiger dan bij verbranding in kolencentrale of cementoven (zie Tabel 13).

Tabel 12 Milieuscore eindverwerkingsprocessen bij gemiddeld park als referentie voor elektriciteitsproductie (alle kentallen per ton kunststof afval)

	verbranden in AVI	bijstoken in Maasvlakte- centrale	bijstoken in cement- oven
primaire energie (GJ)	-18,4	-32,2	-33,6
klimaatverandering (kg CO_2 -eq)	1.206	-505	-625
verzuring (kg SO_2 -eq)	-1,84	-1,27	-0,23
vermesting (kg PO_4 -eq)	-0,20	-0,31	-0,05
KWS (kg KWS)	-0,11	0,01	-0,00
verspreiding (kg vervuild milieu)	-1,84E+08	-1,03E+09	-2,82E+06
verwijdering (kg finaal vast afval)	88,67	0,09	-0,01



Tabel 13 Bijdragen aan milieu-indicator bij gemiddeld park als referentie voor elektriciteitsproductie (alle waarden in 10^9 jaar/ton kunststof afval)

	verbranden in AVI	bijstoken in Maasvlakte- centrale	bijstoken in cement- oven
klimaatverandering	6,2	-2,6	-3,2
verzuring	-4,6	-3,2	-0,6
vermesting	-0,6	-0,9	-0,1
KWS	-0,6	0,1	0,0
verspreiding	0,0	-0,1	0,0
verwijdering	17,7	0,0	0,0
milieu-indicator	18,2	-6,7	-4,0

Vergelijking met Texaco-proces

Bijstoken van het kunststof materiaal in PPF in cementoven en kolencentrale scoren over het algemeen vergelijkbaar op de meeste thema's als vergassing in het Texaco-proces, behalve voor klimaatverandering. De betere score voor klimaatverandering hangt ondermeer samen met het uitsparen van steenkool en bruinkool. Bij het Texaco-proces wordt aardgas uitgespaard. Steenkool en bruinkool geven een hogere CO₂-emissie per GJ brandstof.

Vergelijking kolencentrale en cementoven

Het Subcoal-initiatief geeft in vergelijking met bijstoken in een cementoven een kleinere netto reductie van de emissie van broeikasgassen. Dit hangt samen met het verbruik van elektriciteit en aardgas bij pelletproductie en micronisatie.

Bijstoken in de Maasvlaktecentrale leidt in vergelijking met bijstoken in een cementoven wel tot een grotere reductie van verzurende stoffen. Het verschil heeft te maken met de aard van de NO_x-emissie bij cementoven en kolencentrale. Deze stof geeft voor beide processen de belangrijkste bijdrage aan het thema verzuring.

In een cementoven wordt vooral thermische NO_x gevormd. De NO_x-emissie per GJ brandstof is daardoor vrijwel onafhankelijk van de chemische samenstelling van de geconsumeerde brandstoffen. De uitgespaarde bijdrage door bijstoken van kunststoffen in PPF houdt verband met het (in vergelijking met bruinkool) lagere zwavelgehalte van het kunststof materiaal.

Bij bijstoken in een kolencentrale wordt vooral brandstof NO_x gevormd. Het kunststof materiaal in PPF bevat behalve minder zwavel ook beduidend minder stikstof dan de normaliter ingezette steenkool. Hierdoor is de NO_x-emissie bij inzet van kunststoffen in PPF lager dan bij inzet van steenkool.

3.6 Vergelijking bijstoken van Biomass-korrels en Subcoal

Voor bijstoken in de Maasvlaktecentrale is ook een vergelijking gemaakt tussen de netto milieubelasting gerelateerd aan bijstoken van het kunststof materiaal in PPF en aan bijstoken van Biomass-energiekorrels.

De vergelijking is uitgevoerd per GJ elektriciteit, zoals geleverd aan het openbare net. Bij de vergelijking is aangenomen dat de productie van de

Maasvlaktecentrale niet wordt beïnvloed door de hoeveelheid en kwaliteit van de bijgestookte secundaire brandstof.

Tabel 14 geeft de bijdragen aan de beschouwde milieuthema's. De bijdragen zijn inclusief de aan de consumptie van kalk gerelateerde bijdragen. Tabel 15 geeft de bijdragen per thema aan de milieu-indicator.

De aan kunststoffen in PPF en Biomass-korrels gerelateerde netto milieu-belasting per GJe is vergelijkbaar. Door de organische oorsprong van het in de Biomass-korrels verwerkte materiaal geeft bijstoken van deze korrels per GJe een betere bijdrage aan klimaatverandering. Bijstoken van kunststoffen in PPF geeft echter een betere bijdrage aan verzuring, vermesting en de verspreiding van toxische stoffen. Het kunststof materiaal bevat minder zware metalen, stikstof en zwavel, waardoor ook de emissies van NO_x, SO₂ en zware metalen naar lucht geringer zijn.

Tabel 14 Bijdragen aan milieuthema's (alle kentallen per GJ_e)

	bijstoken Biomass-korrels			bijstoken kunststoffen in PPF		
	eigen bijdrage	uitgespaard	netto bijdrage	eigen bijdrage	uitgespaard	netto bijdrage
primaire energie (GJ)	0,0	-2,5	-2,5	0,0	-2,5	-2,5
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	1	-235	-234	191	-235	-44
verzuring (kg SO ₂ -eq)	0,55	-0,37	0,18	0,26	-0,37	-0,10
vermesting (kg PO ₄ -eq)	0,06	-0,04	0,02	0,02	-0,04	-0,02
KWS (kg KWS)	2,3E-03	-2,60E-03	-2,74E-04	2,6E-03	-2,60E-03	4,83E-05
verspreiding (kg vervuild milieu)	1,1E+08	-1,01E+08	1,20E+07	2,3E+07	-1,01E+08	-7,83E+07
verwijdering (kg finaal vast afval)	verwaarloosbaar	verwaarloosbaar	verwaarloosbaar	verwaarloosbaar	verwaarloosbaar	verwaarloosbaar

Tabel 15 Bijdragen aan milieu-indicator (alle kentallen in 10⁻⁹ jaar per GJ_e)

	bijstoken Biomass-korrels			bijstoken kunststoffen in PPF		
	eigen bijdrage	uitgespaard	netto bijdrage	eigen bijdrage	uitgespaard	netto bijdrage
milieuthema:						
- klimaatverandering	0,0	-1,2	-1,2	1,0	-1,2	-0,2
- verzuring	1,4	-0,9	0,4	0,7	-0,9	-0,3
- vermesting	0,2	-0,1	0,0	0,1	-0,1	-0,1
- KWS	0,012	-0,013	-0,001	0,014	-0,013	0,000
- verspreiding	0,008	-0,007	0,001	0,002	-0,007	-0,006
- verwijdering	verwaarloosbaar	verwaarloosbaar	verwaarloosbaar	verwaarloosbaar	verwaarloosbaar	verwaarloosbaar
totaal	1,6	-2,3	-0,7	1,7	-2,3	-0,6

4 Netto milieuvoordeel van complete verwerkingsroutes met bijstook in kolencentrale of cementoven

In dit hoofdstuk wordt voor kunststoffen in huisvuil een milieuvergelijking uitgevoerd tussen verbranding in een AVI (zie paragraaf 4.1), Subcoal-initiatief en bijstoken in een cementoven. Geanalyseerd wordt of het milieuvoordeel dat het Subcoal-initiatief en bijstoken in een cementoven bieden vergelijkbaar is met het indertijd verwachte milieuvoordeel van de Texaco-route ten opzichte van integrale verbranding in een AVI.

De analyse wordt als gezegd uitgevoerd voor kunststof afval in het bij de afvalverwerkingsinrichting in Wijster afgescheiden RDF (zie ook hoofdstuk 2). Voorscheiding en storten van ONF verschillen niet in beide situaties. Voor het schatten van de aan verbranding in een AVI gerelateerde milieubelasting wordt uitgegaan van de specificaties van de roosterovens van de afvalverwerkingsinrichting in Wijster. De resultaten zijn daarom specifiek van toepassing op het Subcoal-initiatief.

In paragraaf 4.1 wordt de aan integraal verbranden van RDF in AVI's gerelateerde milieubelasting geschat. In paragraaf 4.2 en paragraaf 4.3 worden de aan bijstoken van PPF in cementoven en kolencentrale milieubelasting geschat. De milieuscore van huidige en toekomstige situatie worden in 4.4 vergeleken.

4.1 Verbranding in een AVI

Figuur 10 geeft nogmaals de massabalans voor verwerking van kunststoffen in huisvuil in de AVI's van de afvalverwerkingsinrichting te Wijster. De figuur geeft ditmaal ook de geconsumeerde, geproduceerde en uitgespaarde hoeveelheden hulpstoffen en energiedragers.

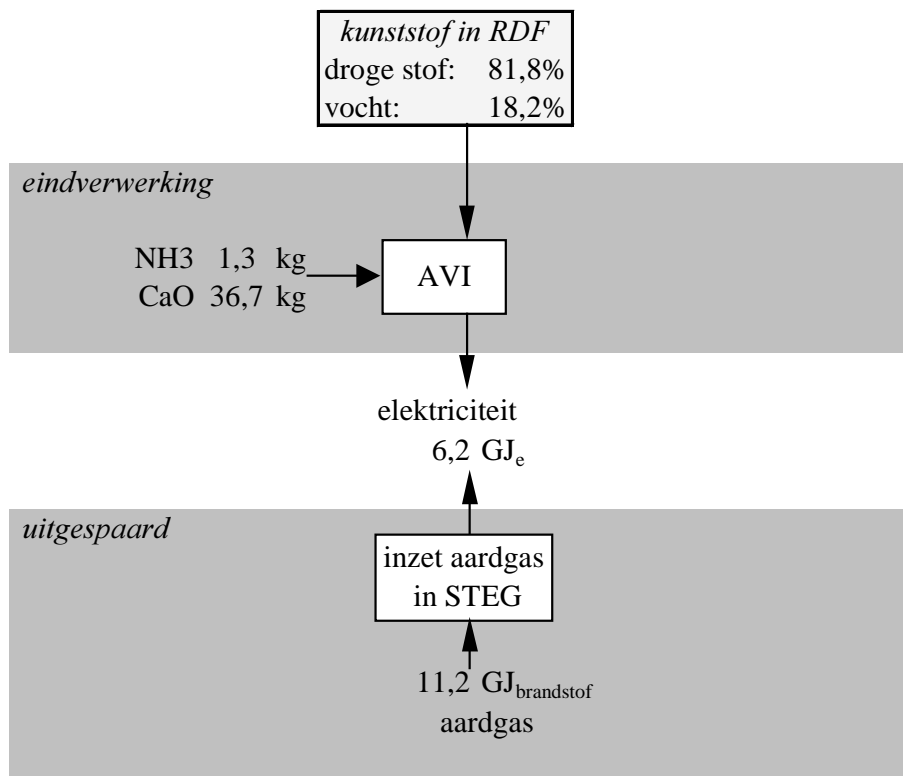
Aangenomen is dat afzet van de door de roosterovens opgewekte elektriciteit leidt tot uitsparing van elektriciteitsproductie door een moderne gasgestookte STEG. Verondersteld is dat de door de GAVI geproduceerde elektriciteit wordt gebruikt om een deel van de groei van de elektriciteitsconsumptie in Nederland te dekken.

De rookgasreiniging van elke roosteroven bij Essent Wijster omvat de volgende componenten [9]:

- 1 velds elektrofilter;
- sproeidroger, waarin kalkmelk en spui van de natte wassers wordt toegevoerd aan de rookgassen;
- doekfilter;
- 2-traps natte wasser met quench;
- tail-end DeNO_x-SCR met warmtewisselaar.

Bij de rookgasreiniging worden kalk (CaO) en ammonia gebruikt. In de SCR wordt een kleine hoeveelheid aardgas verbrand om de rookgassen op de gewenste temperatuur te brengen.

Figuur 10 Massabalans voor kunststoffen in huisvuil voor de AVI-route (alle kentallen per ton kunststoffen in RDF)



Tabel 16 geeft de netto bijdragen aan de beschouwde milieuthema's voor de AVI-route.

Tabel 16 Netto bijdragen voor verwijdering kunststoffen in RDF in AVI (alle kentallen per ton kunststoffen in RDF)

	directe bijdrage	indirecte bijdrage	uitgespaarde bijdrage	totaal
primaire energie (GJ)		0,1	-14,1	-14,0
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	2.377	11	-788	1.600
verzuring (kg SO ₂ -eq)	0,39	0,47	-0,27	0,59
vermesting (kg PO ₄ -eq)	0,07	0,00	-0,05	0,02
KWS (kg KWS)	0,04	0,00	-0,22	-0,19
verspreiding (kg vervuild milieu)	2,24E+06	0,00 ^F +00	0,00E+00	2,24E+06
verwijdering (kg finaal vast afval)	99,64	0,00	-1,55	98,10

De berekening van de directe bijdragen is gegeven in Bijlage D. De bijdragen van chemicaliën voor de rookgasreiniging en de door productie van elektriciteit uitgespaarde bijdragen zijn berekend door combinatie van de in Tabel 16 gegeven hoeveelheden en de bijdragen per eenheid hulpstof of energiedrager, zoals gegeven in Bijlage B. Het bijstoken met aardgas is verdisconteerd in de directe bijdragen bij verbranding in de roosteroven.

Tabel 17 geeft de omgerekende bijdragen per milieuthema aan de milieu-indicator.

Tabel 17 Bijdragen aan milieu-indicator voor verwijdering kunststoffen in RDF in AVI (alle kentallen in 10⁻⁹ jaar per ton kunststoffen in RDF)

	directe bijdrage	indirecte bijdrage	uitgespaarde bijdrage	totaal
Milieuthema:				
- klimaatverandering	12,3	0,1	-4,1	8,3
- verzuring	1,0	1,2	-0,7	1,5
- vermesting	0,2	0,0	-0,1	0,1
- KWS	0,2	0,0	-1,2	-1,0
- verspreiding	0,0	0,0	0,0	0,0
- verwijdering	19,9	0,0	-0,3	19,6
Totaal	33,6	1,3	-6,4	28,5

De getallen in tabel 13 en 14 wijken licht af van de opgenomen cijfers in de eerdere studies van CE naar kunststofafval voor de milieubeoordeling van het Texaco-vergassingsproces[2]. Dit komt doordat in de eerdere studie is gewerkt met een gemiddelde van alle Nederlandse AVI's en er hier specifiek gekeken wordt naar de installatie in Wijster. De verschillen zijn echter niet zodanig dat de conclusies significant wijzigen.

4.2 Subcoal-initiatief

Figuur 11 geeft de massabalans voor kunststoffen in huisvuil voor het Subcoal-initiatief. De figuur geeft ook de geconsumeerde, geproduceerde en uitgespaarde hoeveelheden hulpstoffen en energiedragers. Op nate stof basis wordt ongeveer 40% van het kunststof materiaal in RDF afgescheiden ten behoeve van bijstoken in de Maasvlaktecentrale.

De netto bijdragen aan de beschouwde milieuthema's per ton kunststofafval in RDF zijn gegeven in Tabel 18.

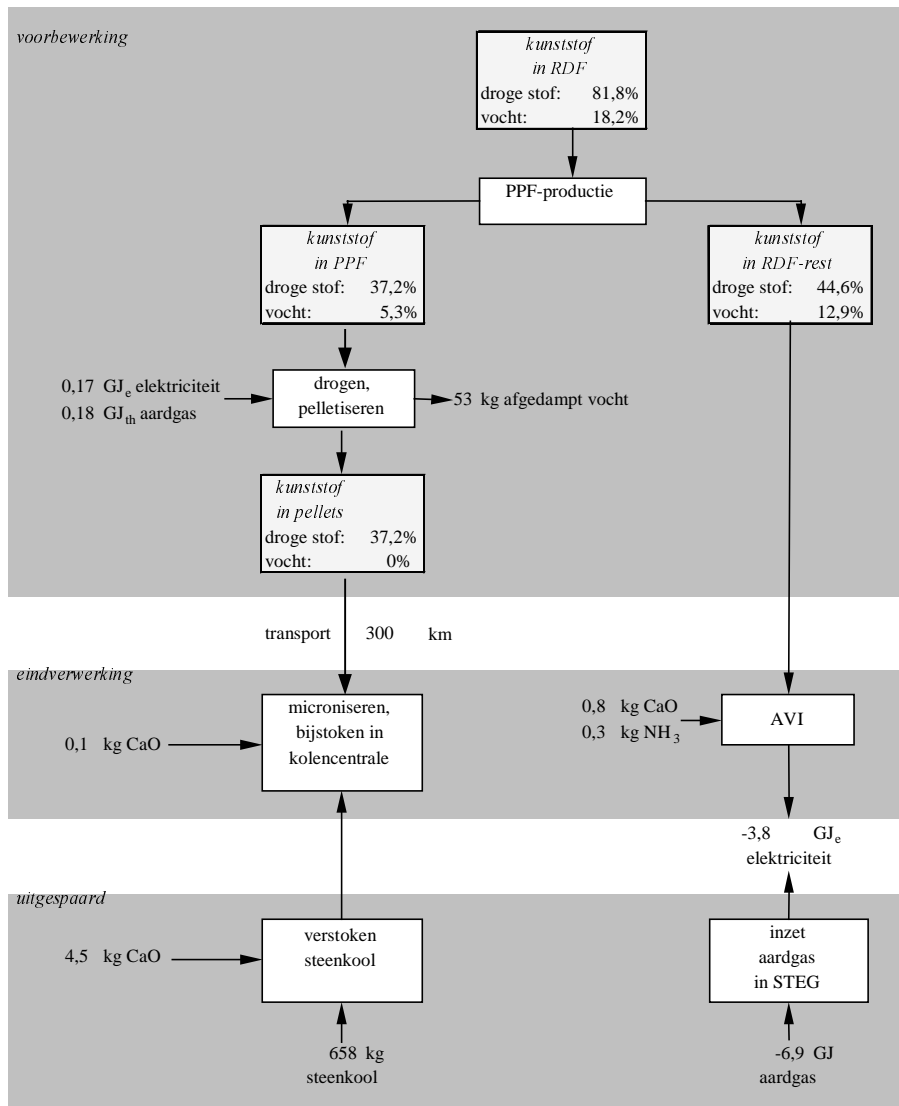
De directe en uitgespaarde bijdragen voor bijstoken in de Maasvlaktecentrale volgen uit de massabalans over de scheidingsinstallatie en pelletproductie en uit de in paragraaf 3.2 gegeven bijdragen per ton kunststoffen in PPF.

De berekening van de directe bijdragen bij verbranding van de kunststoffen in RDF-rest in de AVI worden gegeven in Bijlage D. Het bijstoken met aardgas bij verbranding van de kunststoffen in RDF-rest in de AVI is verdisconteerd in de directe bijdragen bij verbranding in de roosteroven.

De indirecte bijdragen en door de AVI uitgespaarde bijdragen zijn berekend door combinatie van de in Figuur 11 gegeven hoeveelheden en de bijdragen per eenheid hulpstof of energiedrager, zoals gegeven in Bijlage B.

Tabel 19 geeft de resulterende bijdragen aan de milieu-indicator voor het Subcoal-initiatief. Uit de tabel blijkt dat verbranding van de kunststoffen in RDF-rest in de AVI een twee maal grotere directe milieubelasting geeft dan bijstoken van het kunststof materiaal in PPF bij de Maasvlakte. De grotere milieubelasting bij verbranding in een AVI is voornamelijk toe te schrijven aan de productie van vaste reststoffen.

Figuur 11 Massabalans voor kunststoffen in huisvuil voor het Subcoal-initiatief (alle kentallen per ton kunststoffen in RDF)



Tabel 18 Netto bijdragen aan milieuthema's voor Subcoal-initiatief (alle kentallen per ton kunststoffen in RDF)

	Directe bijdragen		Indirecte bijdragen	Uitgespaard		Totaal
	Maasvlakte	AVI		Maasvlakte	AVI	
primaire energie (GJ)			0,6	-14,1	-6,9	-20,3
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	1.076	1.286	42	-1.316	-384	704
verzuring (kg SO ₂ -eq)	1,49	0,20	0,58	-2,06	-0,13	0,07
vermesting (kg PO ₄ -eq)	0,11	0,03	0,03	-0,24	-0,02	-0,10
KWS (kg KWS)	0,01	0,02	0,09	-0,01	-0,11	0,00
verspreiding (kg vervuild milieu)	1,30E+08	1,14E+06	3,01E+07	-5,67E+08		-4,06E+08
verwijdering (kg finaal vast afval)		61,48	0,07	-0,00	-0,75	60,80

Tabel 19 Bijdragen aan milieu-indicator voor Subcoal-initiatief (alle kentallen in 10⁹ jaar per ton kunststoffen in RDF)

	Directe bijdragen		Indirecte bijdragen	Uitgespaard		Totaal
	Maasvlakte	AVI		Maasvlakte	AVI	
Milieuthema:						
- klimaatverandering	5,6	6,7	0,2	-6,8	-2,0	3,6
- verzuring	3,8	0,5	1,5	-5,2	-0,3	0,2
- vermesting	0,3	0,1	0,1	-0,7	-0,1	-0,3
- KWS	0,1	0,1	0,5	-0,1	-0,6	0,0
- verspreiding	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
- verwijdering		12,3	0,0	0,0	-0,2	12,2
Totaal	9,7	19,6	2,3	-12,9	-3,1	15,7

Bijstoken geeft naar verwachting een hogere bijdrage aan verzuring en vermesting. De bijdrage hangt voornamelijk samen met de NO_x-emissie van beide processen. Door de goede rookgasreiniging van de AVI blijft de emissie van NO_x in geval van verbranding van de kunststoffen in RDF-rest beperkt. Voor bijstoken van de kunststoffen in PPF in de Maasvlaktecentrale is uitgegaan van eenzelfde omzettingpercentages van stikstof naar NO_x als voor steenkool. De resulterende NO_x-emissie is ongeveer 5 maal groter dan bij verbranding van de kunststoffen in RDF-rest in de AVI. De werkelijke emissie bij bijstoken van kunststoffen in PPF kan echter als gezegd ook vrijwel nul zijn, wanneer het kunststof materiaal al in de reducerende zone ontgast.

De bijdrage van verbranding in de AVI en bijstoken in de Maasvlaktecentrale is ongeveer in overeenstemming met de massabalans over het initiatief.

De bij verbranding in de AVI uitgespaarde bijdrage is 4 maal kleiner dan bij bijstoken. Verbranding in een AVI spaart relatief weinig milieubelasting uit door het lage energetische rendement en doordat naar verondersteld 'schoone' opwekking van elektriciteit op basis van aardgas wordt vervangen. Inzet van steenkool in de Maasvlaktecentrale geeft in vergelijking met inzet van aardgas in een STEG een twee maal hogere CO₂-emissie per GJ brandstof en een 4 maal hogere NO_x-emissie per GJ brandstof.

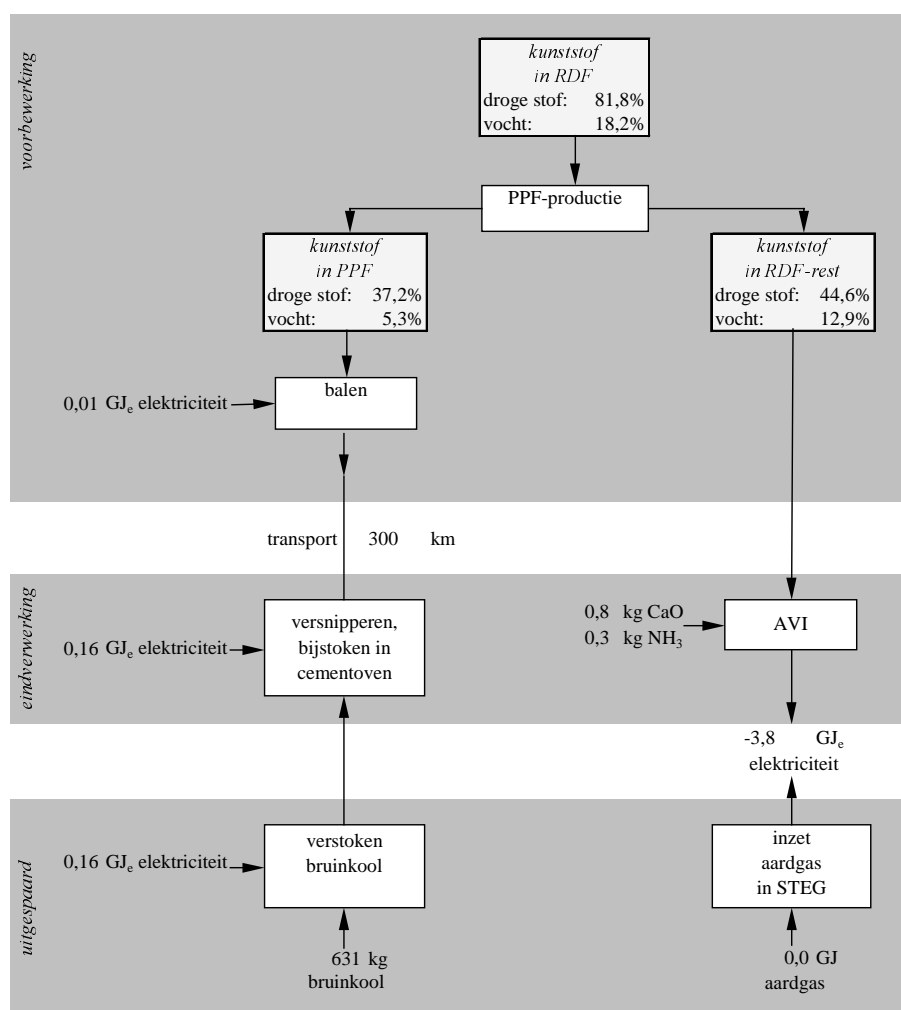
Uit de tabel blijkt verder dat de bijdragen aan de thema's vermesting, KWS en verspreiding weinig bijdragen aan de totale milieu-indicator. De indirecte bijdragen hebben eveneens een relatief geringe invloed op de hoogte van de indicator.

4.3 Bijstoken in cementoven

Figuur 12 geeft de massabalans voor de situatie waarin PPF wordt bijgestookt in een cementoven. In de figuur zijn ook de geconsumeerde en uitgespaarde hoeveelheden hulpstoffen en energiedragers gegeven.

De netto bijdragen aan de beschouwde milieuthema's per ton kunststofafval in RDF zijn gegeven in Tabel 20. De directe en uitgespaarde bijdragen voor bijstoken in een cementoven volgen uit de massabalans over de scheidingsinstallatie en pelletproductie en uit de in paragraaf 3.3 gegeven bijdragen per ton kunststoffen in PPF.

Figuur 12 Massabalans voor kunststoffen in huisvuil voor bijstoken van PPF in een cementoven (alle kentallen per ton kunststoffen in RDF)



Tabel 20 Netto bijdragen aan milieuthema's voor bijstoken van PPF in cementoven (alle kentallen per ton kunststoffen in RDF)

	Directe bijdragen		Indirecte bijdragen	Uitgespaard		Totaal
	cementoven	AVI		cementoven	AVI	
primaire energie (GJ)			0,5	-14,5	-6,9	-20,9
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	1.076	1.286	36	-1.355	-384	659
verzuring (kg SO ₂ -eq)	5,14	0,20	0,60	-5,23	-0,13	0,57
vermesting (kg PO ₄ -eq)	0,93	0,03	0,03	-0,95	-0,02	0,02
KWS (kg KWS)		0,02	0,10	-0,01	-0,11	0,01
verspreiding (kg vervuild milieu)	2,41E+06	1,14E+06	3,44E+07	-2,87E+06		3,51E+07
verwijdering (kg finaal vast afval)		61,48	0,06	-0,04	-0,75	60,75

De directe en uitgespaarde bijdragen bij verbranding van het kunststof materiaal in RDF-rest in een AVI zijn al gegeven in Tabel 18.

Tabel 21 geeft de resulterende bijdragen aan de milieu-indicator per ton kunststoffen in RDF in geval van bijstoken van PPF in een cementoven.

Tabel 21 Bijdragen aan milieu-indicator voor bijstoken PPF in cementoven (alle kentallen in 10⁻⁹ jaar per ton kunststoffen in RDF)

	Directe bijdragen		Indirecte bijdragen	Uitgespaard		Totaal
	cementoven	AVI		cementoven	AVI	
Milieuthema:						
- klimaatverandering	5,6	6,7	0,2	-7,0	-2,0	3,4
- verzuring	13,0	0,5	1,5	-13,2	-0,3	1,4
- vermesting	2,7	0,1	0,1	-2,7	-0,1	0,1
- KWS		0,1	0,5	0,0	-0,6	0,0
- verspreiding	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
- verwijdering		12,3	0,0	0,0	-0,2	12,2
Totaal	21,2	19,6	2,3	-23,0	-3,1	17,1

Uit de tabel blijkt dat de directe bijdragen van AVI en cementoven vergelijkbaar is. De door bijstoken in een cementoven uitgespaarde milieubelasting is echter circa acht maal groter dan de door verbranding van kunststoffen in RDF-rest uitgespaarde milieubelasting.

Bij bijstoken van het kunststof materiaal in PPF in een cementoven wordt veel NO_x geëmitteerd. Dit geeft een grote bijdrage aan de thema's verzuring en vermesting. De door bijstoken uitgespaarde NO_x-emissie is echter ongeveer even groot. Daardoor is de directe en uitgespaarde bijdrage aan vermesting vergelijkbaar. Bijstoken van kunststoffen in PPF geeft per GJ brandstof een lagere SO₂-emissie dan inzet van bruinkool, zodat de directe bijdrage aan verzuring kleiner is dan de uitgespaarde bijdrage.

4.4 Vergelijking Subcoal, cementoven en AVI complete routes

Onderlinge vergelijking van de drie routes

Tabel 22 en Tabel 23 geven voor de drie beschouwde verwerkingswijzen voor uit huisvuil afgescheiden RDF respectievelijk de bijdragen aan de beschouwde milieuthema's en de omgerekende bijdragen per milieuthema aan de milieu-indicator.

Tabel 22 Vergelijking Subcoal-initiatief, AVI en bijstoken PPF in cementoven op scores voor milieuthema's (alle kentallen per ton kunststoffen in RDF)

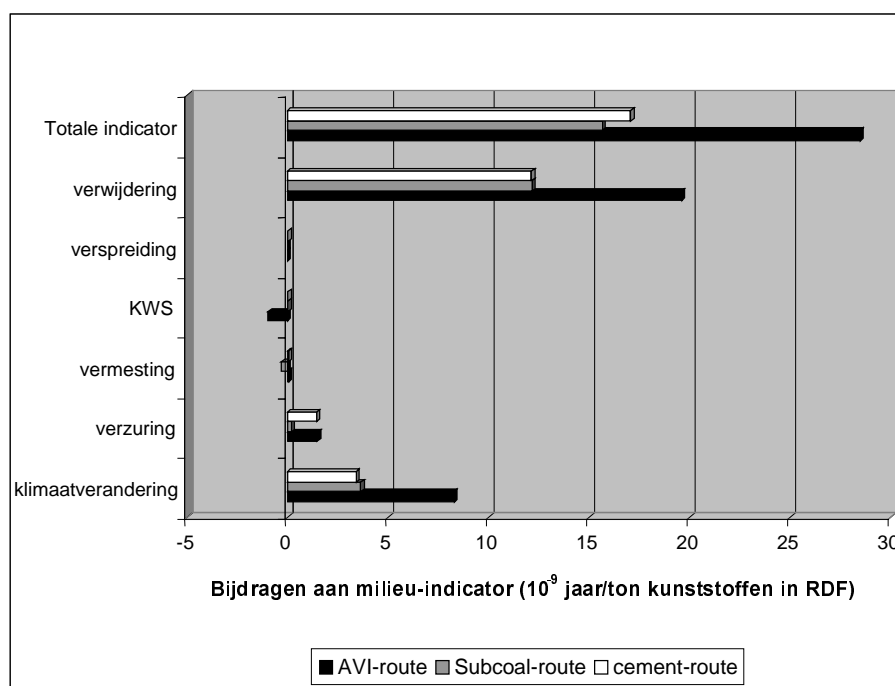
	integrale verbranding RDF in AVI	Subcoal-initiatief	bijstoken PPF in cementoven
primaire energie (GJ)	-14,0	-20,3	-20,9
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	1.600	704	659
verzuring (kg SO ₂ -eq)	0,59	0,07	0,57
vermesting (kg PO ₄ -eq)	0,02	-0,10	0,02
KWS (kg KWS)	-0,19	0,00	0,01
verspreiding (kg vervuild milieu)	2,24 ^E +06	-4,06E+08	3,51E+07
verwijdering (kg finaal vast afval)	98,10	60,80	60,75

Tabel 23 Vergelijking Subcoal-initiatief, AVI en bijstoken PPF in cementoven op milieu-indicator (alle kentallen in 10^{-9} jaar per ton kunststoffen in RDF)

	integrale verbranding RDF in AVI	Subcoal-initiatief	bijstoken PPF in cementoven
Milieuthema:			
- klimaatverandering	8,3	3,6	3,4
- verzuring	1,5	0,2	1,4
- vermisting	0,1	-0,3	0,1
- KWS	-1,0	0,0	0,0
- verspreiding	0,0	0,0	0,0
- verwijdering	19,6	12,2	12,2
Totaal	28,5	15,7	17,1

De opbouw van de milieu-indicator van de drie routes is nog eens grafisch weergegeven in Figuur 13.

Figuur 13 Opbouw milieu-indicatoren voor de drie beschouwde routes



Uit beide tabellen blijkt dat de milieubelasting per ton kunststoffen in RDF bij het Subcoal-initiatief en in geval van bijstoken van PPF in een cementoven vergelijkbaar is en de afstand tot integrale verbranding in een AVI ongeveer even groot is.

Het afscheiden van 40% van het kunststof materiaal als onderdeel van PPF en bijstoken van PPF in cementoven of kolencentrale geeft in beide gevallen een reductie van de netto milieubelasting per ton kunststoffen in RDF van circa 50% ten opzichte van integrale verbranding in een AVI .

De reductie hangt samen doordat in beide toepassingen van PPF het kunststof materiaal in PPF met een hoger rendement dan in de AVI wordt ingezet

als (secundaire) brandstof (zie consumptie van primaire energie). Hierdoor is de bijdrage aan klimaatverandering lager dan in geval van integrale verbranding van RDF in de AVI.

Ook wordt bij bijstoken van PPF in cementoven of Maasvlaktecentrale een brandstof uitgespaard, die een hogere emissie van CO₂, NO_x, SO₂ en zware metalen per GJ geeft dan het kunststof materiaal in PPF. Hierdoor wordt zelfs na aftrek van indirecte milieubelasting door bijvoorbeeld transport en pelletproductie netto milieubelasting uitgespaard (zie ook Tabel 4 en Tabel 7).

Bij integrale verbranding van RDF in de AVI wordt netto echter geen milieubelasting uitgespaard. Naar is aangenomen wordt door levering van elektriciteit door de AVI aan het openbare net elektriciteitsproductie door een moderne aardgasgestookte STEG uitgespaard. Door het lage energetische rendement van de AVI en door de aard van de uitgespaarde brandstof is de emissies van CO₂ en verzurende elementen per GJ_e bij de door de AVI geleverde elektriciteit twee maal hoger dan bij elektriciteitsproductie door de aardgasgestookte STEG.

Een ander nadeel bij integrale verbranding van RDF in de AVI is het ontstaan van vaste, te storten restproducten. Deze worden bij bijstoken van PPF in cementoven en kolencentrale niet gevormd.

De netto bijdragen in de drie beschouwde verwijderingsroutes aan vermesing, emissie van koolwaterstoffen en verspreiding van toxische stoffen naar het milieu geeft een relatief verwaarloosbare bijdrage aan de totale milieu-indicator voor de drie routes.

Wat betreft de twee mogelijke verwerkingsopties voor PPF geeft bijstoken in de Maasvlaktecentrale ondanks de uitgebreidere voorbewerking een net iets kleinere netto milieubelasting dan bijstoken in een cementoven.

Vergelijking milieuvoordeel met referentiekader

Het verschil tussen het Subcoal-initiatief of de route met cementoven enerzijds en integrale verbranding van RDF in een AVI anderzijds is gemiddeld circa $12 \cdot 10^{-9}$ jaar per ton kunststoffen in RDF. Voor de vergelijking met eerdere studie is dit omgerekend naar circa $10 \cdot 10^{-9}$ jaar per ton kunststoffen in huisvuil.

Het verschil tussen de Texaco-route en integrale verbranding in een AVI is in voorgaande CE-studie indertijd geschat op circa $19 \cdot 10^{-9}$ jaar per ton kunststoffen in huisvuil. Na correctie voor de bijdrage aan KWS (zie paragraaf 2.3) bedraagt het verschil circa $15 \cdot 10^{-9}$ jaar per ton. Dit voordeel wordt in belangrijke mate gegenereerd door de inzet van mechanische recycling voor flacons en folie. Over de haalbaarheid van deze techniek bestaan grote twijfels.

Het netto milieuvoordeel van de Texaco-route zonder de mechanische recycling van de flacons en folie bedraagt (uitgedrukt in de milieu-indicator) circa $8 \cdot 10^{-9}$ jaar per ton kunststoffen in huisvuil. Hierin is verdisconteerd dat niet geregranuleerde folie en flacons aan het Texacoproces zouden worden toegevoerd. In deze situatie bieden het Subcoal-initiatief en de route met cementoven dus een groter milieuvoordeel ten opzichte van verbranding in een AVI.

Gevoeligheidsanalyse

Bij wijze van gevoeligheidsanalyse is geanalyseerd hoe de scores van de routes verandert wanneer wordt aangenomen dat elektriciteitsproductie bij de AVI leidt tot uitsparing van elektriciteitsproductie door het gemiddelde Nederlandse elektriciteitsproductiepark.

Tabel 24 en Tabel 25 geven voor deze referentie de bijdragen per route aan de beschouwde milieuthema's en de opbouw van de milieu-indicator.

Tabel 24 Vergelijking van de drie verwijderingsroutes op scores voor milieuthema's voor gemiddeld park als referentie voor elektriciteitsproductie (alle kentallen per ton kunststoffen in RDF)

	integrale verbranding in AVI	Subcoal-initiatief	bijstoken PPF in cementoven
primaire energie (GJ)	-18,4	-22,4	-23,0
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	1.014	429	371
verzuring (kg SO ₂ -eq)	-1,87	-1,08	-0,63
vermesting (kg PO ₄ -eq)	-0,21	-0,21	-0,09
KWS (kg KWS)	-0,11	0,04	0,04
verspreiding (kg vervuild milieu)	-1,84E+08	-4,93E+08	-5,66E+07
verwijdering (kg finaal vast afval)	98,45	60,96	60,92

Tabel 25 Vergelijking van de drie verwijderingsroutes op milieu-indicator voor gemiddeld park als referentie voor elektriciteitsproductie (alle kentallen in 10⁻⁹ jaar per ton kunststoffen in RDF)

	integrale verbranding in AVI in PPF in AVI	Subcoal-initiatief	bijstoken PPF in cementoven
Milieuthema:			
- klimaatverandering	5,3	2,2	1,9
- verzuring	-4,7	-2,7	-1,6
- vermesting	-0,6	-0,6	-0,3
- KWS	-0,6	0,2	0,2
- verspreiding	0,0	0,0	0,0
- verwijdering	19,7	12,2	12,2
Totaal	19,0	11,2	12,4

Zoals uit de tabellen blijkt wordt de afstand tussen verbranden in een AVI enerzijds en beide routes anderzijds circa 50% kleiner.

Productie door het gemiddelde park geeft per kWh_e een grotere emissie van NO_x, SO₂ en CO₂ omdat (zie Tabel 12):

- een deel van de productie is gebaseerd op kolen en hoogovengas;
- een deel van de gasgestookte centrales bestaat uit oude 'combi's' met een lager netto elektrisch rendement en een hogere NO_x-emissie per GJ brandstof.

Hierdoor is de bij verbranding in een AVI uitgespaarde milieubelasting groter dan wanneer een moderne aardgasgestookte STEG als referentieproces voor elektriciteitsproductie wordt gehanteerd.



Milieuscore eindverwerkingsprocessen

Bijstoken in een kolencentrale en in een cementoven geven gemiddeld genomen minder milieubelasting dan verwerken middels het Texaco-proces.

Milieuscore verwerkingsroutes voor RDF

Het Subcoal-initiatief en bijstoken van PPF in een cementoven bieden in vergelijking met de eerder onderzochte Texaco-route een vergelijkbaar milieuvoordeel ten opzichte van integrale verbranding, wanneer regranulatie van flacons en folie in de Texaco-route buiten beschouwing wordt gelaten.

Het milieuvoordeel van deze routes is echter kleiner dan dat van de Texaco-route wanneer hergebruik van folies en flacons in de Texaco-route wel wordt beschouwd.

Milieubelasting bij bijstoken in vergelijking met biomassa reststromen

Het bijstoken van kunststoffen in PPF in een poederkoolcentrale geeft per GJ_e geen wezenlijk hogere milieubelasting dan het bijstoken van energiekorrels geproduceerd uit biomassa reststromen. Dit ondanks het gegeven dat de bij bijstoken van kunststoffen vrijkomende CO₂ bijdraagt aan klimaatverandering.

Samenvattend

Bijstoken van kunststof materiaal in een kolencentrale via het Subcoal proces of gebruik van kunststof in een cementoven zijn qua netto milieubelasting vergelijkbaar. Deze twee routes scoren milieukundig beter dan feedstock recycling door vergassing van kunststofafval in het Texaco-proces. Deze drie toepassingen van kunststofafval scoren alle beduidend beter dan inzet in een conventionele afvalverbrandingsinstallatie (AVI).

Ook is de bij bijstoken in een kolencentrale optredende milieubelasting vergelijkbaar met de netto milieubelasting voor het bijstoken van een secundaire organische brandstof als Biomass energiekorrels in Maasvlaktecentrale.

Voor de materialen waarbij dat technisch en financieel mogelijk is alleen materiaalhergebruik milieukundig nog weer beter dan de Subcoal route en de cementoven.



Literatuur

- [1] Anonymus
jaarverslag VMK 1998
VMK, Leidschendam, 1999.
- [2] H. Croezen, H. Sas
Evaluation of the Texaco-gasification process for treatment of mixed plastic household waste
CE, Delft, februari 1997.
- [3] H. Sas et al
Verwijdering van huishoudelijk kunststofafval: analyse van milieueffecten en kosten
CE, Delft, 15 september 1994.
- [4] J.B. Guinnee et al
Milieugerichte levenscyclusanalyse van producten
NOH, Utrecht, oktober 1992.
- [5] Informatie ontvangen van de heer F.G. Esmeijer van Essent (voorheen VAM), d.d. 20 december 1999.
- [6] Informatie ontvangen van de heer J. van Tubergen van Essent (voorheen VAM), d.d. 8 maart 2000.
- [7] Anonymus
MER GAVI Wijster
Ijsselmij, Deventer, 1989.
- [8] Mondeling verstrekte informatie van de heer M. Kuipers van Essent (voorheen VAM), d.d. 11 april 2000.
- [9] Anonymus
Afvalverwerking in Nederland, gegevens 1997
AOO, Utrecht, juli 1998.
- [10] L.P.M. Rijpkema, J.A. Zeevalkink
Specific processing costs of waste materials in a municipal solid waste combustion facility
TNO MEP, Apeldoorn, juli 1996.
- [11] Informatie ontvangen van de heer Havinga van KEMA, d.d. 31 maart 2000.
- [12] Anonymus
MER bijstoken secundaire brandstoffen in de Centrale Maasvlakte
KEMA, Arnhem, juli 1999.
- [13] C.M. Rozendaal
Impact of coal quality on NO_x emissions from power plants
TU Delft, Delft, 1999
- [14] Informatie ontvangen van de heer W. Hoenderdaal van TNO-IMEP, d.d. 2 januari 1995.

- [15] G. Härdtle et al
Recycling von Kunststoffabfällen
Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1988.

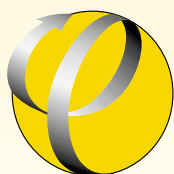


Subcoal milieukundig beoordeeld

Bijlagen

Delft, oktober 2000

Opgesteld door: drs. H.J. Croezen
ir. G.C. Bergsma





A Gehanteerde classificatiefactoren

	Klimaat- verandering GWP 100 (kg CO ₂)	Verzuring (kg SO ₂)	Vermes- ting (kg PO ₄)	KWS (kg KWS/kg)	Versprei- ding (kg vervuild)	Verwijde- ring (kg finaal)	Milieu- indicator (1°-9)
CO ₂	1						0,01
NO _x (als NO ₂)		0,70	0,13				2,14
SO ₂		1,00					2,53
N ₂ O	270	2,30	0,27				7,99
CO							
koolwaterstoffen (als C)				1			5,15
PAK's (als Benzo(a)pyreen)				1	1,04E+13		753,36
dioxines (in TEQ)				1	1,04E+16		748.206,5
halogenen							
HCl		0,90					2,29
HF		1,69			2,74E+10		6,23
micro- en sporen- elementen die onder BLA vallen							
As					2,08E+10		1,50
Co							
Cr							
Cu					1,04E+09		0,07
Mn							
Ni							
Pb							
Sb							
Se							
Te							
V							
Cd					2,08E+09		0,15
Hg					6,93E+10		4,99
micro- en sporen- elementen, die niet onder BLA vallen							
B							
Ba							
Be							
Br							
Mo							
Zn							
Mo							
Zn					1,04E+08		0,01

Voor verwijdering wordt een classificatiefactor 1 gehanteerd voor alle stromen te storten vast afval.



B Themascodes voor hulpstoffen, transport en energiedragers

Tabel 26 Themascodes voor hulpstoffen, transport en energiedragers

	elektriciteit STEG (1 GJ)	ondervuring met G-gas (1 GJ)	winning van steen- kool (1 GJ)	transport per vracht- wagen (1 ton-km)	productie van CaO (1 kg)	productie van NH ₃ (1 kg)
primaire energie (GJ)	1,82	1,00	1,08	0,001	0,01	0,03
klimaatverande- ring (kg CO ₂ -eq)	101,89	56,04	7,41	0,09	0,84	1,22
verzuring (kg SO ₂ -eq)	0,03	0,01	0,12	1,31E-03	4,00E-04	0,71
vermesting (kg PO ₄ -eq)	6,43E-03	2,11E-03	8,10E-03	2,18E-04	2,90E-05	7,02E-04
KWS (kg KWS)	0,03	0,02		0,001		0,0049
verspreiding (kg vervuild milieu)				269.990,0		
verwijdering (kg finaal vast afval)	2,00E-01	1,10E-01	2,00E-02	1,92E-04	3,80E-04	
milieu-indicator (10e-9 jaar)	0,82	0,43		0,01		1,8



C Fysische en chemische samenstelling van kunststof materiaal in de input van de GAVI

Tabel 27 geeft de verdeling van folie en hard plastic materiaal over de voorscheiding van de GAVI en over de afscheiding van PPF. De verdeling is gebaseerd op informatie van Essent. De verdeling van folie en hard plastics naar polymeersoorten is gebaseerd op de door RIVM uitgevoerde sorteeranalyses.

Tabel 27 Verdeling van plastics in huisvuil over productstromen voorscheiding

	integrale fractie kunststoffen	RDF-rest	PPF totaal	ONF
folie				
- vochtgehalte	12,4%	6,8%	3,4%	2,2%
- PE/PP	46,1%	18,8%	21,3%	6,0%
- PVC				
- PS				
- PET				
- overige				
plastic hard				
- vochtgehalte	6,5%	4,2%	1,1%	1,2%
- PE/PP	15,2%	8,3%	4,4%	2,5%
- PVC	4,1%	2,2%	1,2%	0,7%
- PS	9,9%	5,4%	2,9%	1,6%
- PET	1,2%	0,6%	0,3%	0,2%
- overige	4,7%	2,5%	1,4%	0,8%
Totaal	100,0%	48,8%	36,0%	15,1%

Tabel 28 geeft de per polymeersoort aangehouden chemische samenstelling. De gehanteerde gegevens zijn, met het oog op de continuïteit tussen deze en voorgaande CE-studies naar de verwijdering van plastic afval uit huisvuil uit [2],[3] overgenomen.

Tabel 29 geeft de chemische samenstelling van plastic materiaal in huisvuil en van het plastic materiaal in de verschillende productfracties van de voorscheiding, inclusief PPF-productie. De samenstellingen zijn bepaald door combinatie van de in beide voorgaande tabellen gegeven informatie. In de tabel is voor de volledigheid ook de chemische samenstelling van de bij de Maasvlakte bijgestookte biomassa en van de in 1998 ingezette steenkool gegeven (uit [12]).

Tabel 28 Chemische samenstelling per polymersoort

	PE/PP	PVC	PS	PET	overig
- C	81,3%	37,5%	87,3%	59,6%	57,1%
- H	13,6%	4,6%	6,6%	4,8%	9,5%
- O		0,9%	0,9%	30,8%	19,0%
- N	0,1%	0,1%	0,1%		9,5%
- S	0,0%	0,1%	0,1%		
- P	0,0%		0,0%		
- vocht					
- as	4,8%	4,6%	4,7%	4,8%	4,8%
micro- en sporenelementen (in mg/kg n.s.)					
- As	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
- Cd	10	100	10	0,3	100
- Cl	1.933	521.978	1.933		
- Co	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0
- Cr	25	25	25	25	25
- Cu	100	250	500	250	250
- F					
- Hg	0,1	0,1	0,3		0,1
- Mn	10	25	25	25	25
- Ni	1	10	10	10	100
- Pb	250	500	50	5	250
- Sb	10	10	10		500
- V	25	50	50	25	25

Tabel 29 Chemische samenstelling van productfracties van voorscheiding

	plastics in PPF pellets	plastics in RDF-rest Natte stof	integraal plastic afval in huisvuil	biomassa	steenkol
stookwaarde (MJ/kg)	38,5	28,4	31,0	10,0	24,4
hoofdelementen (% n.s.)					
C	79%	60%	64%	25%	62%
H	12%	9%	10%	3%	4%
O (berekend)	1,3%	1,5%	1,4%	25,9%	9,3%
N	0,5%	0,6%	0,5%	0,8%	1,3%
S	0,02%	0,02%	0,02%	0,41%	0,67%
P	0,004%	0,003%	0,003%	0,819%	0,042%
H ₂ O		22%	18%	10%	11%
as-gehalte	5%	4%	4%	34%	12%
halogenen (in mg/kg n.s.)					
Cl	21.568	25.044	22.428	1.440	444
F				46,3	104,0
micro- en sporenelementen die onder BLA vallen (in mg/kg n.s.)					
As	0,5	0,39	0,41	1,89	3,55
Co	0,3	0,28	0,3	18,5	4,9
Cr	25	19,38	20,4	66,7	14,5
Cu	151	138,30	135,6	227,8	13,3
Mn	13	11,07	11	354	36
Ni	7	7,45	7	28	9
Pb	238	179,83	192	59	6
Sb	31	33,11	31	2	1
Se				1,89	2,22
Sn				18,54	0,89
Te				18,54	0,887
V	28	33	24	19	25
Cd	17	57	16	4	0
Hg	0,1	0,1	0,1	1,1	0,1
micro- en sporenelementen, die niet onder BLA vallen (in mg/kg n.s.)					
B					
Ba				222,0	137,0
Be				0,2	
Br				14,9	
Mo				3,7	2,1
Zn				392,6	18,6



D Milieubelasting bij verbranding in de GAVI

In deze bijlage wordt kort weergegeven hoe de aan verbranding van kunststof materiaal in de GAVI gerelateerde milieubelasting is bepaald. De berekeningswijze is gegeven in paragraaf D.2. De resultaten van de berekeningen zijn gegeven in paragraaf D.3.

D.1 Beschrijving AVI en rookgasreiniging

Bij de GAVI zijn drie roosterovens met een middenstroom oven opgesteld. De rookgasreiniging van elke roosteroven bestaat uit de volgende componenten [9]:

- 1 velds elektrofilter;
- sproeidroger, waarin kalkmelk en spui van de natte wassers wordt toegevoerd aan de rookgassen;
- doekfilter;
- 2-traps natte wasser met quench;
- tail-end DeNO_x-SCR met warmtewisselaar.

De bij verbranding geproduceerde rookgassen worden in de ketel van de roosteroven afgekoeld tot circa 200°C. Meegevoerd vlieggas wordt grotendeels afgevangen in het 1-velds elektrofilter. Vervolgens wordt in de sproeidroger afvalwater van de natte wassers in de nog warme stroom rookgassen verneveld. Kalkmelk wordt toegevoegd als neutralisatiemiddel voor de in het afvalwater aanwezige sulfaten, chloriden en fluoriden. Door de warmte van de rookgassen verdampt het water. De rookgassen koelen daarbij af tot circa 140°C. De overblijvende droge calciumzouten worden in een doekfilter afgevangen.

De rookgassen worden vervolgens in een tweetraps natte wasser met quench gezuiverd van SO₂, HCl, HF en kwik. De rookgassen koelen daarbij verder af tot circa 80°C. Voor de verwijdering van NO_x worden de rookgassen daarna naar een SCR DeNO_x geleid. De SCR opereert bij een temperatuur van circa 270°C. De uit de wassers komende rookgassen worden eerst tot circa 240°C opgewarmd door warmteoverdracht met de uit de SCR tredende rookgassen in de warmtewisselaar. Voor opwarmen tot 280°C wordt aardgas in de rookgasstroom verstoekt. In de SCR wordt ammonia in de gastroom gespoten. De SCR is uitgerust met een extra katalysatorlaag waarop dioxinen en andere koolwaterstoffen en ammonia worden geoxideerd. na afkoelen in de warmtewisselaar tot circa 100°C worden de rookgassen via de schoorsteen geëmitteerd.

D.2 Berekeningswijze

Productie en consumptie van energiedragers

De geproduceerde hoeveelheid elektriciteit en door de SCR geen de geconsumeerde hoeveelheid aardgas zijn berekend op basis van de aanname dat de zuurstofconcentratie in de natte rookgassen door de stookautomaat op circa 6,5 vol% wordt gehouden. Deze aanname bepaalt het rookgasvolume per eenheid brandstof en de samenstelling van de rookgassen.

Op basis van het rookgasvolume per eenheid brandstof en de rookgastemperatuur bij uitreden van de ketel is het ketelrendement berekend. Door vergelijking met het ketelrendement voor RDF (81%) en het netto elektrisch rendement bij verbranding van RDF (21%) is vervolgens een schatting gemaakt van het elektrisch rendement voor de beschouwde brandstof.

De aardgasconsumptie door de SCR is bepaald aan de hand van het rookgasvolume per eenheid brandstof na de wassers en aan de hand van de warmte-inhoud van de rookgascomponenten (CO_2 , H_2O , N_2 en O_2) bij 240 en 270°C.

Emissies van zware metalen

De emissie van zware metalen anders dan Hg en Sb is bepaald aan de hand van de scheidingsefficiëntie van het elektrofilter en van de daarachter opgestelde reinigingsprocessen (99%) voor stof.

Bij de berekening is aangenomen dat alle in kunststof materiaal aanwezige as als vlieggas uit de oven wordt meegevoerd.

Aangenomen is dat de restconcentratie van vlieggas na het elektrofilter circa 100 mg/Nm³ bedraagt, ongeacht de stofbelading voor het filter. De efficiëntie van een elektrofilter kan in de praktijk deels worden ingesteld door de spanning tussen de elektrodes aan te passen. De stofconcentratie in de gereinigde rookgassen is verondersteld een vaste waarde van 1 mg/Nm³ (bij 11 vol% O_2 , droog rookgas) te zijn.

Bij de berekening is verder aangenomen dat alle metalen met uitzondering van Hg en een deel van het in de brandstof aanwezige Sb tijdens de rookgasreiniging condenseren en op stofdeeltjes neerslaan. Vervluchtiging van een deel van de zware metalen in de vuurhaard is verdisconteerd.

Voor elk metaal is ingeschat welk percentage van de in de brandstof aanwezige hoeveelheid bij het passeren van het elektrofilter nog vluchtig is. Van het niet verdampte of voor het elektrofilter al op stof neergeslagen deel wordt eerst een percentage verwijderd dat overeenkomt met het reinigingsrendement van het elektrofilter voor stof. Van het bij het passeren van het elektrofilter vluchtige deel wordt $(100\% - 99\%) = 1\%$ geëmitteerd.

Voor het in de huidige situatie verbrande RDF is de reinigingsefficiëntie van het elektrofilter circa 98%. Van het bij het passeren van het elektrofilter niet vluchtige deel van de in de brandstof aanwezige zware metalen wordt voor $1 - (1 - 98\%) \cdot (1 - 99\%) = 99,98\%$ verwijderd. Het vluchtige deel wordt voor 99% verwijderd.

Emissies naar lucht van andere verontreinigingen

De emissies van SO_2 , HCl, HF, Hg en Sb zijn bepaald aan de hand van het in de rookgassen afgevoerde percentage van het betreffende element en aan de hand van de reinigingsefficiëntie van de rookgasreiniging voor het betreffende element of de daaruit gevormde verbinding.

De emissie van NO_x , CO, stof en dioxines zijn bepaald op basis van een vaste restconcentratie per Nm³ rookgas. Dit is voor NO_x een goede benadering aangezien de SCR in de praktijk is ingesteld om een bepaalde vaste restconcentratie te bereiken (het setpoint). De omvang van de emissie volgt uit de restconcentratie en het rookgasvolume per eenheid brandstof.



Tabel 30 Uitgangspunten voor berekening emissies zware metalen

	percentage element vluchtig na elektro- filter	percentage element gasvormig na elektro- filter	verwijderings- rendement gasvormige verbindingen
S		50%	98%
halogenen			
Cl		75%	100%
F		29%	90%
micro- en sporenelementen die onder BLA vallen			
As	50%		
Co			
Cr	2%		
Cu			
Mn			
Ni			
Pb	10%		
Sb		100%	99%
Se	7%		
Sn	10%		
Te			
V			
Cd	10%		94%
Hg		100%	95%
Totaal			
micro- en sporenelementen die niet onder BLA vallen			
B			
Ba			
Be			
Br			
Mo			
Zn	10%		

Productie van te storten vaste reststoffen

Bij verbranding in de GAVI worden twee reststromen geproduceerd; te storten vliegias en rookgasreinigingsresidu.

De hoeveelheid rookgasreinigingsresidu is berekend op basis van de voor de GAVI roosterovens bekende vangstrendementen van de rookgasreiniging voor HCl en SO₂. Beide verbindingen worden met kalk geneutraliseerd en omgezet in calciumzouten. Geproduceerd worden CaSO₃·½H₂O, CaSO₄·2H₂O CaCl₂·2H₂O. Uit de afgevangen hoeveelheden HCl en SO₂ volgt ook het kalkverbruik.

De hoeveelheid vliegias is berekend op basis van de aanname dat alle in het kunststof materiaal aanwezige as als vliegias wordt afgevoerd. Er is conform het implementatieplan Hergebruik AVI-reststoffen aangenomen dat 35% wordt hergebruikt. De rest wordt gestort.

Verbruik van additieven voor de rookgasreiniging

Het verbruik van CaO volgt uit de afgevangen hoeveelheden SO₂, HCl en HF. Het verbruik van NH₃ wordt berekend uit de rookgasconcentraties voor en na de SCR en uit het rookgasvolume per eenheid brandstof. De NO_x-concentratie voor de SCR wordt berekend op basis van de aanname dat gemiddeld 10% van de stikstof in de brandstof wordt omgezet in NO_x.

D.3 Resultaten

Tabel 31 geeft voor kunststof materiaal in RDF en RDF-rest een overzicht van:

- de emissies naar lucht;
- de geproduceerde hoeveelheid elektriciteit;
- de geproduceerde hoeveelheden vaste reststoffen;
- de geconsumeerde hoeveelheden additieven en aardgas.

Tabel 31 Milieubelasting bij verbranding in GAVI (alle kentallen per ton brandstof)

	Kunststoffen in RDF-rest	Kunststoffen in RDF
Emissies naar lucht: (kg/ton)		
CO ₂	2.235	2.377
NO _x (als NO ₂)	0,45	0,53
SO ₂	4,50E-03	4,26E-03
stof	1,60E-03	1,69E-03
koolwaterstoffen (als C)	0,03	0,04
dioxines (in TEQ)	1,51E-10	1,76E-10
HCl	0,02	0,02
As	1,95E-06	2,05E-06
Co	1,18E-08	1,11E-08
Cr	4,69E-06	4,95E-06
Cu	5,93E-06	5,81E-06
Mn	4,74E-07	4,76E-07
Ni	3,19E-07	2,88E-07
Pb	1,87E-04	2,00E-04
Sb	3,33E-04	3,08E-04
V	1,42E-06	1,02E-06
Cd	5,94E-05	1,64E-05
Hg	3,41E-06	4,77E-06
Productie van vaste reststoffen (kg/ton)		
- RGR residu	40,4	36,2
- vliegas	24,2	25,6
Productie/consumptie van energiedragers (GJ/ton)		
- elektriciteit	-6,7	-7,2
- aardgas	0,5	0,6
Consumptie van additieven voor rookgasreiniging (kg/ton)		
- CaO	29,9	26,7
- NH ₃	1,0	0,9

Het ketelrendement bedraagt voor beide fracties circa 89%. Het elektrisch rendement is geschat op 23%.

De concentratie van stof voor het elektrofilter bedraagt voor kunststof materiaal in RDF circa 2.240 mg/Nm³ en voor kunststof materiaal in RDF-rest circa 2.470 mg/Nm³ (bij 11 vol% O₂, droog gas).

De rookgasconcentratie van NO_x voor de SCR bedraagt voor kunststof materiaal in RDF circa 96 mg/Nm³ en voor kunststof materiaal in RDF-rest circa 123 mg/Nm³ (bij 11 vol% O₂, droog gas).

Het rookgasvolume per eenheid brandstof bedraagt circa 17,6 voor kunststof materiaal in RDF en circa 15,1 voor kunststof materiaal in RDF-rest.

Tabel 32, Tabel 33 en Tabel 34 geven de resulterende directe en indirecte bijdragen aan de beschouwde milieuthema's. In Tabel 35 is de resulterende netto bijdragen aan de milieuthema's gegeven.

Tabel 32 Directe milieubelasting bij verbranding in een AVI (alle kentallen per ton kunststof materiaal)

	kunststoffen in RDF-rest	kunststoffen in RDF
primaire energie (GJ)		
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	2.235	2.142
verzuring (kg SO ₂ -eq)	0,3	0,3
vermesting (kg PO ₄ -eq)	0,06	0,02
KWS (kg KWS)	0,03	0,03
verspreiding (kg vervuild milieu)	1,98E+06	2,04E+06
verwijdering (kg finaal vast afval)	64,6	73,0
milieu-indicator (10e-9 jaar)	25,7	26,8

Tabel 33 Indirecte milieubelasting door verbranding van kunststof materiaal in RDF-rest (alle kentallen per ton kunststof materiaal)

	elektriciteit STEG	ondervuring met G-gas	productie van CaO	productie van NH ₃	Totaal
primaire energie (GJ)	-11,91	0,54	0,18		-11,20
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	-667,56	30,15	25,08		-612,33
verzuring (kg SO ₂ -eq)	-0,23	0,01	0,01		-0,21
vermesting (kg PO ₄ -eq)	-0,04	0,00	0,00		-0,04
KWS (kg KWS)	-0,19	0,01			-0,18
verspreiding (kg vervuild milieu)					
verwijdering (kg finaal vast afval)	-1,31	0,06	0,01		-1,24
milieu-indicator (10e-9 jaar)	-5,40	0,23			-5,17

Tabel 34 Indirecte milieubelasting door verbranding van kunststoffen materiaal in RDF (alle kentallen per ton kunststof materiaal)

	elektriciteit STEG	ondervuring met G-gas	productie van CaO	productie van NH ₃	Totaal
primaire energie (GJ)	-11,25	0,51	0,22		-10,52
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	-630,16	28,63	30,80		-570,73
verzuring (kg SO ₂ -eq)	-0,22	0,01	0,01		-0,19
vermesting (kg PO ₄ -eq)	-0,04	0,00	0,00		-0,04
KWS (kg KWS)	-0,18	0,01			-0,17
verspreiding (kg vervuild milieu)					
verwijdering (kg finaal vast afval)	-1,24	0,06	0,01		-1,17
milieu-indicator (10e-9 jaar)	-5,10	0,22			-4,88

Tabel 35 Netto milieubelasting voor verbranding van kunststoffen in RDF en RDF-rest in de GAVI (alle kentallen per ton kunststof materiaal)

	kunststoffen in RDF-rest	kunststoffen in RDF
primaire energie (GJ)	-11,2	-10,5
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	1.623	1.571
verzuring (kg SO ₂ -eq)	0,1	0,1
vermesting (kg PO ₄ -eq)	0,02	-0,02
KWS (kg KWS)	-0,15	-0,14
verspreiding (kg vervuild milieu)	1,98E+06	2,04E+06
verwijdering (kg finaal vast afval)	63,4	71,9
milieu-indicator (10e-9 jaar)	20,5	21,9

E Milieubelasting bij verbranding in de Maasvlaktecentrale

In deze bijlage wordt kort weergegeven hoe de aan bijstoken van kunststof materiaal in PPF en de aan inzet van steenkool gerelateerde milieubelasting is bepaald. Ter vergelijking zijn ook de aan inzet van biomassakorrels gerelateerde emissies bepaald. De berekeningswijze is gegeven in paragraaf E.1. De resultaten van de berekeningen voor bijstoken van kunststof materiaal in PPF en voor steenkool zijn gegeven in paragraaf E.2. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de in Tabel 36 gegeven brandstofmixen.

Tabel 36 Brandstofmix

	alleen steenkool	bijstook van	
		biomassa korrels	kunststof materiaal in PPF
Hoeveelheden (ton/jaar)			
- steenkool	1.361.232	1.314.101	1.303.635
- kunststoffen			36.456
- biomassa korrels		115.000	

E.1 Berekeningswijze

E.1.1 Emissies naar lucht

Voor het bepalen van de omvang van emissies naar lucht is een eenvoudig spreadsheet model gehanteerd. Het model is grotendeels gebaseerd op informatie ontvangen van de KEMA [1]. Daarnaast is gebruik gemaakt van informatie uit [2] en [3].

Emissies van SO₂, HCl, HF, stof en zware metalen

De emissies van SO₂, HCl, HF, stof en zware metalen worden berekend door vermenigvuldiging van de concentraties van zwavel, chloor, fluor en zware metalen in de brandstof en aan de hand van de in Tabel 37 gegeven percentages. De gegeven percentages zijn de percentages van het betreffende element dat wordt geëmitteerd. Bij de berekeningen wordt uiteraard gecorrigeerd voor het verschil tussen de molmassa van element en geëmitteerde verbinding.

Voor kwik is een aparte schatting gemaakt waarin rekening is gehouden met de chloorconcentratie in de ruwe rookgassen (zie Bijlage G).

Tabel 37 Percentage naar de lucht geëmitteerd element

	Percentage geëmitteerd in centrale
Hoofdelementen	
S	8,8%
As	0,04%
Halogenen	
Cl	12,0%
F	28,0%
micro- en sporenelementen die onder BLA vallen	
As	0,4%
Co	0,1%
Cr	0,1%
Cu	0,1%
Mn	0,1%
Ni	0,1%
Pb	0,2%
Sb	0,2%
Se	6,1%
Sn	0,2%
Te	0,2%
V	0,1%
Cd	0,3%
micro- en sporenelementen die niet onder BLA vallen	
B	6,0%
Ba	0,1%
Be	0,0%
Br	1,2%
Mo	0,2%
Zn	0,2%

Emissie van NO_x

Bij het schatten van de NO_x-emissie zijn twee cases beschouwd:

- een case waarin geen brandstof NO_x wordt gevormd (nulscenario);
- een case waarin eenzelfde percentage stikstof uit de brandstof wordt omgezet in NO_x als bij steenkool (6%; conventionele conversie).

Er zijn twee cases beschouwd omdat onduidelijk is hoe het plastic materiaal in PPF zich als brandstof in de Maasvlaktecentrale zal gedragen.

Het plastic materiaal in PPF heeft een veel hoger percentage vluchtige componenten dan het bij de Maasvlaktecentrale ingezette steenkool; circa 95% versus circa 40% van het brandbare materiaal. Stikstof in de brandstof zal zich ongeveer evenredig over vluchtige componenten en char verdelen.

PPF wordt in de primaire verbrandingszone van de vuurhaard geïnjecteerd. Bij een snelle ontgassing van het plastic materiaal in PPF komen de vluchtige componenten in deze zone vrij. In de primaire verbrandingszone heerst een reducerende atmosfeer, waardoor stikstof uit de brandstof wordt omgezet in moleculaire stikstof.

Het is echter onduidelijk of de ontgassing van het plastic materiaal snel genoeg verloopt en afgelopen is voordat de brandstof de primaire zone heeft verlaten.

Er wordt naast brandstof NO_x ook thermische NO_x gevormd. De specifieke emissiefactor is geschat op 33 g/GJ brandstof.

Overige emissies

De emissies van N_2O , CO, dioxines, PAK's en andere koolwaterstoffen worden geschat op basis van een vaste rookgasconcentratie van deze verbindingen (zie Tabel 37). De vracht per eenheid brandstof volgt uit het product van deze vaste concentraties en het rookgasvolume.

E.1.2 Invloed van chloorinbreng door plastic materiaal op de afvang van kwik

Bij het bepalen van de Hg-vracht is rekening gehouden met de invloed van de voor de brandstofmix gemiddelde concentratie van HCl in de ongereinigde rookgassen. Bij een hogere concentraties wordt meer kwik uit de brandstof omgezet in HgCl_2 . Deze verbinding wordt door de rookgasreiniging van de kolencentrale afgevangen (zie ook G).

Tabel 38 geeft een overzicht van de concentraties van HCl in de ongereinigde rookgassen voor steenkool en voor een mix van steenkool en secundaire brandstof. In de tabel is ook aangegeven wat naar verwachting bij de betreffende HCl-concentratie het percentage Hg is dat wordt geëmitteerd. De schattingen zijn gebaseerd op een analyse van de KEMA (zie Bijlage G). Doordat het vangstrendement niet alleen voor de secundaire brandstof, maar voor de gehele brandstofmix groter wordt, is er bij toerekening van dit effect naar de secundaire brandstof voor kunststof materiaal in PPF een negatieve emissie. De extra afgevangen hoeveelheid kwik uit steenkool is groter dan de uit het kunststof materiaal geëmitteerde hoeveelheid kwik.

Tabel 38 Invloed HCl-concentratie op vangstrendement voor kwik bij bijstoken

	enkel steenkool	bijstook van	
		biomassa korrels	kunststof materiaal in PPF
HCl-conc. in ruwe rookgas			
- in mg/Nm^3 , 6vol% O_2	52,7	65,6	119,0
- relatief, t.o.v. steenkool	100%	124%	226%
Percentage Hg in mix geëmitteerd	29%	23%	20%

E.1.3 Consumptie van kalksteen

De consumptie van kalksteen wordt berekend aan de hand van het vangstrendement van de ROI voor SO_2 . De reinigingsefficiency van de ROI van de Maasvlaktecentrale bedraagt 91% [4,5].

Combinatie van:

- de zwavelconcentratie in de brandstof;
- het percentage als SO_2 geëmitteerde zwavel;
- bovengenoemde reinigingsefficiency.

geeft het afgevangen percentage brandstofzwavel. Combineren van dit percentage met de verhouding tussen de molmassa van zwavel en SO_2 geeft de afgevangen hoeveelheid SO_2 .

In deze studie is aangenomen dat voor de omzetting van SO_2 naar gips kan worden volstaan met het toevoegen van een stoichiometrische hoeveelheid kalksteen. Verbruik van kalksteen door reacties met chloor en andere halogenen zijn verwaarloosd. De halogenen worden voor het grootste deel in de spui van de ABI geloosd. De concentraties van halogenen in het gips zijn in de praktijk verwaarloosbaar [6].

E.2 Resultaten

Tabel 39 geeft de emissies naar lucht en de door de rookgasreiniging verbruikte hoeveelheid kalksteen.



Tabel 39 Emissies naar lucht en verbruik van kalksteen bij verbranding in Maasvlaktecentrale

	steenkool	biomassa korrels	kunststof materiaal in PPF
a Emissies naar lucht (kg/ton brandstof)			
CO ₂	2.277		2.893
NO _x (als NO ₂)			
a nul-scenario	3,26	0,33	1,28
b conventionele conversie	n.v.t.	1,84	2,21
SO ₂	1,19	0,71	0,03
Stof	0,04	0,12	0,02
N ₂ O	1,68E-03	6,23E-04	2,67E-03
CO	4,21E-02	1,56E-02	6,69E-02
Koolwaterstoffen (als C)	2,53E-02	9,35E-03	4,01E-02
PAK's (als Benzo(a)pyreen	1,35E-05	4,99E-06	2,14E-05
Dioxines (in TEQ)	1,68E-11	6,23E-12	2,67E-11
halogenen			
HCl	0,05	0,18	2,66
HF	0,03	0,01	
micro- en sporenelementen die onder BLA vallen			
As	1,38E-05	7,36E-06	1,95E-06
Co	4,14E-06	1,57E-05	2,26E-07
Cr	8,25E-06	3,80E-05	1,42E-05
Cu	1,15E-05	1,97E-04	1,30E-04
Mn	2,20E-05	2,14E-04	7,73E-06
Ni	1,04E-05	3,24E-05	7,64E-06
Pb	1,07E-05	9,92E-05	3,99E-04
Sb	1,45E-06	3,87E-06	6,38E-05
Se	1,35E-04	1,15E-04	
Sn	1,45E-06	3,02E-05	
Te	1,45E-06	3,02E-05	
V	2,72E-05	2,04E-05	3,10E-05
Cd	2,45E-07	1,02E-05	4,76E-05
Hg	3,60E-05	2,31E-04	-3,53E-04
micro- en sporenelementen die niet onder BLA vallen			
B			
Ba	8,89E-05	1,44E-04	
Be		2,81E-08	
Br		1,79E-04	
Mo	3,36E-06	5,82E-06	
Zn	3,75E-05	7,91E-04	
b Consumptie van kalksteen (kg/ton brandstof)	10,53	6,33	0,30

Tabel 40 geeft de op basis van de emissies naar lucht en water en de consumptie van kalksteen berekende bijdragen aan de beschouwde milieuthema's.

Tabel 40 Netto bijdragen aan beschouwde milieuthema's

	Bijstoken sec. brandstoffen		Steenkool
	biomass korrels	kunststoffen in PPF/MP1 Subcoal	
primaire energie (GJ)			24,4
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	0	2.894	2.277
verzuring (kg SO ₂ -eq)	2,19	3,99	3,58
vermesting (kg PO ₄ -eq)	0,24	0,29	0,42
KWS (kg KWS)	9,36E-03	4,01E-02	2,53E-02
verspreiding (kg vervuild milieu)	4,56E+08	3,50E+08	9,85E+08
verwijdering (kg finaal vast afval)			
milieu-indicator (10e-9 jaar)	6,3	26,1	22,3

E.3 Literatuur

- [1] Informatie ontvangen van de heer Havinga van KEMA, d.d. 9 februari 2000.
- [2] Anonymus
MER bijstoken secundaire brandstoffen in de Centrale Maasvlakte
KEMA, Arnhem, juli 1999.
- [3] C.M. Rozendaal
Impact of coal quality on NO_x emissions from power plants
TU Delft, Delft, 1999.
- [4] Informatie verstrekt door de heer M. Van Der Poel van SEP, maart 1999.
- [5] H. Jansen et al
4^e voortgangsrapportage betreffende de bestrijding van SO₂- en NO_x-emissies van de elektriciteitsproductiebedrijven in de jaren 1996 en 1997 in het kader van het Convenant
SEP, Arnhem, 1998.
- [6] Mondelinge mededeling van de heer E. Noks van EZH, d.d. 23 maart 2000.
- [7] V.C. Ortmanns, G. Brem
Experimenteel onderzoek naar de emissies en uitbrand bij verbranding van huishoudelijk afval op een rooster
TNO MEP, Apeldoorn, februari 1996.



F Bijstoken van PPF bij cementovens

F.1 Procesbeschrijving

Klinkervorming

Bij ENCI wordt een droog proces met twee cyclonen voor voorverwarmen van de grondstoffen toegepast. Als grondstoffen worden mergel, hoogovenslak, zavel, granietzand, pyriet en poederkoolvliegias en vliegias van het eigen bedrijf toegepast.

Mergel wordt gebroken, gezeefd en samen met hoogovenslak gedroogd in een trommeldroger. De benodigde droogwarmte wordt geleverd door onderverwarming met aardgas en door de rookgassen van de cementoven. Gedroogd mergel en slak worden vervolgens met de andere grondstoffen gemengd en gemalen tot 'meel'.

Het meel wordt via twee voorverwarmingscyclonen opgewarmd tot circa 780°C en in de trommeloven gebracht. In de trommeloven wordt het meel verder opgewarmd tot 1.450°C. De mergel decarboniseert en sintert met de andere grondstoffen tot Portlandklinker. De klinker verlaat de oven en wordt in de nakoelers afgekoeld tot circa 150°C.

Brandstofinzet

De voor het proces benodigde brandstof wordt in de oven gebracht aan de kant waar de klinker de oven verlaat. De vlamtemperatuur bedraagt circa 2.000°C.

De gebruikte brandstof bestaat voor 80% (energie-inhoud) uit vloeibare en vaste secundaire brandstoffen en voor de overige 20% uit aardgas en bruinkool. De primaire brandstoffen worden voornamelijk toegepast om het verbrandingsproces te sturen. De vaste brandstof bestaat uit kleine, pneumatisch transporteerbare deeltjes; korrels, chips, pellets of poeder. De belangrijkste secundaire brandstoffen zijn anodestof van aluminiumproductie, petrocokes en leisteen. Daarnaast worden ondermeer gemalen autobanden, glycolbodems en RWZI-slib ingezet.

Vanaf 2000 worden Rofire pellets toegepast, terwijl ook wordt gestreefd naar een verdubbeling van de verwerkte hoeveelheid RWZI-slib. Het op die manier extra toegevoegde thermische vermogen is nodig voor het opvoeren van de productie. Daarnaast vervangt Rofire (een deel van het) bruinkool als stuurbrandstof.

Rookgasreiniging

De rookgassen doorlopen de trommeloven in tegenstroom aan meel/klinker en worden via voorverwarmingscyclonen, droger en een viervelds elektrofilter op de atmosfeer geloosd. Het rendement van het elektrofilter bedraagt circa 99,99%. Het rendement is vergelijkbaar met dat van de viervelds elektrofilters van de Amer 91 kolencentrale. De afgevangen vliegias wordt in het proces teruggevoerd als grondstof.

Emissies

Zwavel, halogenen en de meeste zware metalen worden grotendeels in de klinker gebonden. Alleen kwik en thallium blijken slecht te worden gebonden. De inbindingsrendementen voor zwavel en halogenen zijn hoog door het lange en intensieve contact tussen gasfase en het calciumrijke meel in trommeloven en cyclonen.

De rookgasconcentraties van koolwaterstoffen bedraagt enkele tientallen mg/Nm³ (droog, 11 vol% O₂) doordat in brandstoffen als anodestof en petrocokes teer aanwezig is. De rookgasconcentratie van CO is enkele honderden mg/Nm³ (droog, 11 vol% O₂) doordat met een lage luchtfactor wordt gestookt. De NO_x-concentratie is hoog door de hoge vlamtemperatuur. De NO_x-emissie bestaat voornamelijk uit thermische NO_x en is daarom weinig gevoelig voor de brandstofsamenstelling. De dioxineconcentratie is duidelijk lager dan 0,1 ng/Nm³ (droog, 11 vol% O₂). De belangrijkste redenen voor de lage dioxine concentratie zijn de hoge vlamtemperatuur, de lange verblijftijd van de rookgassen bij hoge temperaturen en het hoge gehalte aan zwavel en het lage chloorgehalte van de brandstof.

F.2 Emissies en milieuscore

In de analyse van de netto milieubelasting bij bijstoken van Subcoal RDF in een cementoven is aangenomen dat het RDF bruinkool vervangt. Het RDF heeft vergelijkbare eigenschappen als bruinkool, dat bij de ENCI wordt gebruikt als stuurbrandstof. Met name het hoge percentage vluchtige brandbare bestanddelen en de snelle uitbrand van beide brandstoffen is hierbij van belang. Aangenomen is dat RDF bruinkool vervangt in de verhouding 1 GJ : 1 GJ. Het energetisch rendement over de oven is voor beide brandstoffen vrijwel gelijk.

Bij het bepalen van de aan bruinkool gerelateerde emissies is uitgegaan van de in Tabel 41 gegeven chemische samenstelling. De emissies van SO₂, HCl, HF en zware metalen is voor beide brandstoffen geschat aan de hand van de eveneens in Tabel 41 gegeven emissiepercentages. De percentages zijn bepaald aan de hand van de massabalans van de betreffende elementen over de oven, cyclonen, trommeldroger en elektrofilter. De massabalans is opgesteld aan de hand van door ENCI verstrekte informatie.



Tabel 41 Chemische samenstelling brandstoffen cementoven

	Samenstelling van:		percentage geëmitteerd
	PPF (natte stof)	bruinkool	
stookwaarde (MJ/kg)	33,45	22,50	
hoofdelementen			
C	69%	58%	
H	11%	3%	
O (berekend)	1%	24%	
N	0,4%	0,5%	
S	0,017%	0,510%	2%
P	0,004%		
H ₂ O	12%	10%	
as-gehalte	4%	3%	
halogenen			
Cl	18.884	350	2%
F			2%
micro- en sporenelementen die onder BLA vallen			
As	0,4	5,0	0,1%
Co	0,2	10,0	0,01%
Cr	22	20	0,01%
Cu	132	25	0,01%
Mn	11		0,01%
Ni	6	10	0,01%
Pb	209	15	0,1%
Sb	27	3	0,1%
Se		5	4,0%
Sn			0,10%
Te			0,10%
V	25	600	0,01%
Cd	15	1	0,25%
Hg	0,1	0,1	76%
Totaal	98,15%		
micro- en sporenelementen, die niet onder BLA vallen			
B			
Ba			
Be			
Br			
Mo			
Zn		25	0,1%

Bijstoken van Subcoal RDF zal een verhoging van het gehalte aan chloor in de brandstoffen- en grondstoffenmix geven. Het valt echter niet te verwachten dat dit effect heeft op de mate van binding van kwik in de klinker of vlieggas. Het grootste deel van het in de voeding aanwezige chloor zal bij $\pm 500^{\circ}\text{C}$ zijn gebonden aan alkalimetalen en daardoor niet meer beschikbaar zijn voor de binding van kwik.

Voor de NO_x -emissie is uitgegaan van een vaste emissiefactor van 540 g/GJ brandstof. Voor de emissie van dioxines is uitgegaan van een vaste concentratie van $0,02 \text{ ng/Nm}^3$ (11 vol% O_2). Dit is de gemiddelde waarde in de rookgassen van Duitse cementovens. In Duitsland wordt 95% van het cement geproduceerd met dezelfde technologie als wordt toegepast bij ENCI (droog proces met meerdere cyclonen).

De CO-emissie en emissie van koolwaterstoffen is bepaald aan de hand van de gemiddelde rookgasconcentratie van CO en koolwaterstoffen bij ENCI; respectievelijk 250 mg/Nm^3 en 14 mg/Nm^3 (droog, 11 vol% O_2). Er is geen emissie van PAK's bepaald. De emissie van PAK's hangt samen met de aanwezigheid van PAK's in anodestof en petrocokes. In bruinkool en Sub-coal RDF zijn geen noemenswaardige hoeveelheden PAK's aanwezig.

Tabel 42 geeft voor beide brandstoffen de emissies per ton brandstof. Tabel 43 geeft de bijdragen aan de beschouwde milieuthema's en de milieu-indicator per ton brandstof, zoals bepaald aan de hand van de in Tabel 42 gegeven emissies per ton.



Tabel 42 Emissies naar lucht (alle kentallen in kg per ton brandstof)

	plastics in PPF	bruinkool
CO ₂	2.533,3	2.116
NO _x (als NO ₂)	16,78	11,52
SO ₂	0,01	0,20
N ₂ O		
CO	4,39	2,70
koolwaterstoffen (als C)	0,44	0,27
PAK's (als Benzo(a)pyreen		
dioxines (in TEQ)	3,513E-11	2,164E-11
halogenen		
HCl	0,39	0,01
HF		
micro- en sporenelementen die onder BLA vallen		
As	4,38E-07	5,00E-06
Co	2,33E-08	1,00E-06
Cr	2,19E-06	2,00E-06
Cu	1,32E-05	2,50E-06
Mn	1,12E-06	
Ni	5,75E-07	1,00E-06
Pb	2,09E-04	1,50E-05
Sb	2,73E-05	2,50E-06
Se		2,00E-04
Sn		
Te		
V	2,47E-06	6,00E-05
Cd	3,77E-05	2,50E-06
Hg	7,50E-05	6,08E-05
micro- en sporenelementen die niet onder BLA vallen		
B		
Ba		
Be		
Br		
Mo		
Zn		2,50E-05

Tabel 43 Bijdragen aan beschouwde milieuthema's (alle kentallen per ton brandstof)

	plastics in PPF	bruinkool
primaire energie (GJ)	33,4	22,5
klimaatverandering (kg CO ₂ -eq)	2.533	2.116
verzuring (kg SO ₂ -eq)	12,10	8,28
vermesting (kg PO ₄ -eq)	2,18	1,50
KWS (kg KWS)		
verspreiding (kg vervuild milieu)	5,67E+06	4,55E+06
verwijdering (kg finaal vast afval)		
milieu-indicator (10e-9 jaar)	50,0	36,2

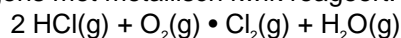
G Invloed HCl-concentratie op Hg-afvang (Cees Gast, KEMA)

De verwijdering van kwik uit de rookgassen van kolencentrales met een ROI (rookgas-ontzwavelingsinstallatie) wordt in het KEMA model gemiddeld op circa 75% gesteld. Dit is gebaseerd op praktijkmetingen bij Nederlandse kolencentrales en komt goed overeen met buitenlandse ervaringen (IEA, 1995). De daadwerkelijke verwijdering is geen constante, maar wordt beïnvloed door de temperatuur in het E-filter en de verdeling van de gasvormige kwikverbindingen in het rookgas, namelijk kwik(II)chloride (HgCl_2) dat goed oplost in water en Hg^0 dat vrijwel onoplosbaar is. Door de goede oplosbaarheid in water is de verwijdering van HgCl_2 met een ROI een effectief proces, waarbij het HgCl_2 vrijwel volledig uit het rookgas wordt verwijderd (Meij, 1991, Meij 1994, Gutberlet, 1992, EPRI, 1994, IEA, 1995, Paur, 1995, Galbreath, 1996). Onder condities waarbij meer kwik in de HgCl_2 -vorm voorkomt, is de verwijdering van kwik uit rookgassen hoger.

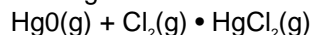
Bij de verbranding in een vuurhaard wordt algemeen verondersteld dat alle kwikverbindingen ontleden die in de brandstof aanwezig zijn. Boven 600°C zijn de verbindingen namelijk instabiel. In het grootste deel van de ketel is kwik dus gasvormig en in de elementaire vorm in het rookgas aanwezig (Meij, 1991, Hall, 1990, Galbreath, 1996). Beneden de 600°C kan het kwik worden geoxideerd en verbindingen vormen, wat weer wordt beïnvloed door de rookgassamenstelling en in wat mindere mate door de ketelconfiguratie en bedrijfsvoering.

Thermodynamisch ligt het evenwicht vanaf 400°C en lager volledig naar de Hg_2^+ -kant. Bij normale concentraties aan HCl in het rookgas zou bij evenwicht vrijwel al het kwik in de HgCl_2 -vorm aanwezig moeten zijn. Dat dit niet het geval is, geeft al aan dat de oxidatie van Hg^0 in het rookgas kinetisch bepaald is. Uit berekeningen blijkt verder dat Hg^0 slechts in geringe mate voorkomt ten opzichte van Hg en HgCl_2 .

Bekend is dat de reactie van Hg met HCl niet (direct) verloopt. Eerst moet HCl via het zogenaamde Deacon-evenwicht worden omgezet naar Cl_2 dat vervolgens met metallisch kwik reageert:



Het chloor reageert daarna met Hg



Het is onduidelijk welke reactie snelheidsbepalend is. Maar dat de HCl-concentratie van invloed is, blijkt wel uit de resultaten van diverse onderzoeken en uit praktijkmetingen bij afvalverbrandingsinstallaties. Bij afvalverbrandingsinstallaties is gebleken dat bij voldoende chloor in de brandstof vrijwel al het Hg in de HgCl_2 vorm aanwezig is. In een recente publicatie (Sänger et al., 1999) wordt aangegeven dat bij een gehalte van 0,4 gewichtsprocent aan chloor in de brandstof, het aandeel aan metallisch kwik in het rookgas zo goed als nul is. Ook door Felsvang (1995) is een vergelijkbare relatie gevonden voor kolengestookte centrales. Bij de Nederlandse E-bedrijven is het gehalte aan chloor in de gebruikte steenkool de laatste jaren gemiddeld 0,03%. Bij dit chloorgehalte is het verwijderingsrendement van Hg circa 75%.

Wanneer er sprake is van hogere chloorconcentraties in de brandstof, zal de HCl-concentratie in het rookgas stijgen en zal het verwijderingrendement van Hg toenemen. Bij het bijstoken van subcoal is dit het geval en door praktijkmetingen moet worden aangetoond wat de exacte invloed op het verwijderingrendement zal zijn. Voorlopig kan op basis van de relaties bij afvalverbrandingsinstallaties een eerste schatting worden gemaakt. Op grond van de berekende toename van het chloorgehalte in de brandstof als gevolg van het bijstoken van subcoal, is geschat dat er een toename van de Hg-verwijdering van 30% kan optreden. Voor het bijstoken van biomassa, met lagere chloorgehaltenes dan in subcoal maar wel beduidend hoger dan in kolen, is een toename van de Hg-verwijdering geschat van 20%.

In Tabel 44 zijn de Hg-concentraties in het rookgas na ROI opgenomen voor de diverse bijstooksituaties zoals reeds gerapporteerd, met en zonder 'chlooreffect'. De concentraties zonder chlooreffect zijn reeds gerapporteerd en bij de concentraties met chlooreffect is rekening gehouden met bovengenoemde geschatte toename van de Hg-verwijdering als gevolg van het hogere chloorgehalte in de bijstookbrandstof.

Tabel 44 Hg-concentraties in het rookgas met en zonder 'chlooreffect'

	100% kolen	6% PPF	3% MP 1	3% MP 1+	8% Biomassa EZH
Hg-concentraties in rookgas- sen uit schoorsteen ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$):					
zonder chlooreffect	4,2	5,3	4,4	4,2	7,2
met chlooreffect	n.v.t.	3,7	3,0	3,0	5,8

Referenties

EPRI, 1994 (J. Peterson, D. Seeger, R. Skarupa, M. Stohs, B. Hargrove, D. Owens). Mercury removal by wet limestone FGD-systems: EPRI HSTC test results. Air & Waste Management Association, juni 1994, 94-RP114B.01.

Felsvang, 1995. Control of mercury, air toxics and SO₂ by advanced dry scrubbing technology. Power-Gen Europe '95, Book 1, pp. 477-498.

Galbreath, K.C., Zygarlicke, C.I., 1996. Mercury speciation in coal combustion and gasification flue gases. In: Environmental Science & Technology, Vol. 30, Nr. 8, pp. 2421-2426.

Gutberlet, H., Spiesberger, A., Kastner, F., Tembrink, J., 1992. Zum Verhalten des Spurenelementes Quecksilber in Steinkohlefeurungen mit Rauchgasreinigungsanlagen. In: VGB Kraftwerkstechnik 72, Vol. 7, pp. 636 – 641.

Hall, B., Lindqvist, O., Ljungström, E., 1990. Mercury Chemistry in simulated flue gases related to waste incineration. In: Environ. Sci. Technol., Vol. 24, No., 1. pp. 108-111.

IEA, 1995 (Sloss, L.L.). Mercury emissions and effects – the role of coal. IEA Coal Research, ISBN 92-9029-258-X.



Meij, R., 1991. The fate of mercury in coal-fired power plants and the influence of wet flue-gas desulphurisation. In: Water, Air and Soil Pollution, 56, pp. 21-33 (1991).

Meij, R., 1994. Trace elements behavior in coal-fired power plants. Fuel Processing Technology 39 (1994) pp. 199-217.

Paur, H.R., Braun, H., Büchele, H., 1995. Messung und Abscheidung von Quecksilber bei der thermischen Abfallbehandlung. In: BWK/TÜ/UMWELT-SPECIAL, oktober 1995, pp. R47-R51.

Sänger, M., et al., 1999. Quecksilberabscheidung bei der Verbrennung von Klärschlämmen. In: VGB Kraftwerkstechnik , Vol. 99, Heft 6, pp. 776-784.