

CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

Afvalverwerking en CO₂

Quick scan van de broeikasgas-
emissies van de afvalverwerkingsector
in Nederland 1990 - 2004

Rapport

Delft, maart 2006

Opgesteld door: J.T.W. (Jan) Vroonhof
H.J. (Harry) Croezen



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

J.T.W. (Jan) Vroonhof, H.J. (Harry) Croezen
Afvalverwerking en CO₂ : Quickscan van de broeikasgasemissies van de afval-
verwerkingssector in Nederland 1990 - 2004
Delft, CE, 2006

Afvalverwerking / Broeikasgassen / Emissies / Storten / Compostering / Verbranding / Afname

Publicatienummer: 06.6112.12

Alle CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Opdrachtgever: Vereniging Afvalbedrijven
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Jan Vroonhof.

© copyright, CE, Delft

CE

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: www.ce.nl.

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

Inhoud

Samenvatting	1
Executive summary	5
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doel studie	9
1.3 Kader van het project	9
1.4 Opzet rapport	10
2 Hoeveelheden en verwerkingswijze	13
2.1 Inleiding	13
2.2 Hoeveelheden afval in 1990 en 2004 en verwerkingswijze	14
2.3 Overzicht verwerkte hoeveelheden	16
3 Methodologische aspecten broeikasgasemissies	17
3.1 Directe en indirecte emissies	17
3.2 Invulling LCA-methodiek in deze studie	17
3.3 Enkele specifieke methodologische punten	18
4 Storten	21
4.1 Inleiding	21
4.2 Methodologische aspecten	22
4.2.1 Referenties	22
4.2.2 Tijdenhorizon	22
4.2.3 Emissies uit stortplaats	22
4.3 Bepaling specifieke emissies	23
4.3.1 Handling	23
4.3.2 Stortgas	23
4.3.3 Uitgespaarde emissies door afzet van energie op basis van stortgas	29
4.3.4 Koolstofopslag in de stort	29
4.3.5 Resulterende emissies per ton afval	29
4.4 Emissie totalen	31
5 Composteren	33
5.1 Inleiding	33
5.2 Methodologische aspecten	33
5.2.1 Referenties en afbakening systeem	33
5.2.2 Verschillen met bestudeerde methodieken en studies	35
5.3 Bepaling specifieke emissies	35
5.3.1 Energie en brandstofgebruik compostering	35
5.3.2 Emissies composteerproces	35
5.3.3 Compost toepassing en uitsparing van veen en kunstmest	36
5.3.4 Resulterende emissies per ton	38
5.3.5 Emissies van gecomposteed afval in 1990 en 2004	40

6	Verbranden in een AVI	41
6.1	Inleiding	41
6.2	Basisinformatie	41
6.2.1	Het huidige en toenmalige AVI-park	41
6.2.2	Fossiele koolstof in verbrande afval	42
6.3	Broeikasgasemissies verbranden in 1990 en 2004	43
6.4	Emissie totalen	44
7	Aggregatie en overzicht	47
7.1	Broeikasgasemissies in 1990 en 2005	47
7.2	Conclusies	50
	Literatuur	53
A	Bijlage hoeveelheden afval in 1990	59
B	Samenstelling van verbrand afval anno 2004 en 1990	61
C	Kentallen staal, aluminium	65

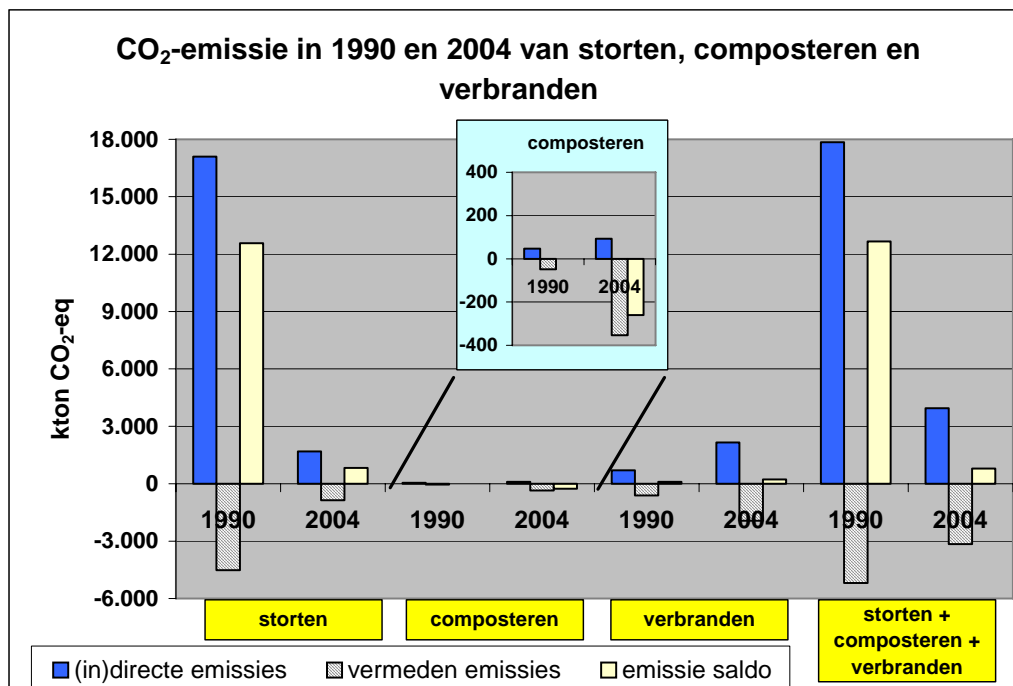
Samenvatting

De broeikasgasemissies van de afvalverwerking in Nederland zijn in 2004 aanmerkelijk lager dan in 1990.

Waren in 1990 de gesommeerde broeikasgasemissies nog circa 12,7 Mton CO₂-equivalenten, in 2004 waren deze gedaald tot 0,8 Mton. Hierin zijn verrekend de vermeden broeikasgasemissies als gevolg van opslag van koolstof in de bodem bij storten en composteren en de energieopwekking bij verbranden in een AVI en benutting van methaan uit stortplaatsen. In 1990 was de bijdrage van de afvalsector van in 1990 gestort afval aan de broeikasgasemissies in Nederland nog ongeveer 6%. In 2004 was dit gedaald tot ongeveer 0,5%.

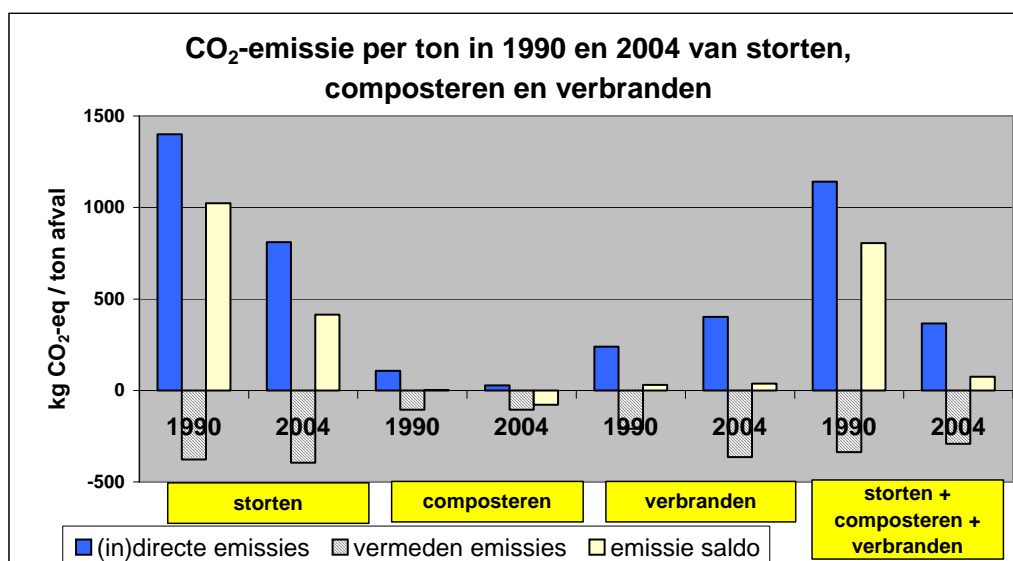
In Figuur 1 zijn de totale broeikasgasemissies van storten, composteren en verbranden alsmede de sommatie daarvan grafisch weergegeven. Belangrijke vermindering van de broeikasgasemissies in 2004 ten opzichte van 1990 is toe te schrijven aan kwantitatieve veranderingen van hoeveelheid verwerkt afval door storten, composteren en verbranden.

Figuur 1 Broeikasgasemissies van afvalverwerking in Nederland in 1990 en 2004



In Figuur 2 zijn de broeikasgasemissies per ton verwerkt afval voor storten, composteren, verbranden en voor deze drie verwerkingsmethoden tezamen weergegeven. Deze figuur geeft de effecten aan van de verbeteringen in de drie verwerkingsprocessen om de broeikasgasemissies terug te dringen.

Figuur 2 Broeikasgasemissie per ton verwerkt afval van de diverse wijzen van afvalverwerking in Nederland in 1990 en 2004



Dit is het resultaat van de quick scan naar de broeikasgasemissies van afvalverwerking die CE in opdracht van de Vereniging Afvalbedrijven heeft gemaakt. Het referentiejaar voor de studie is 1990. Dit is gekozen omdat dat jaar ook als referentiejaar voor de Kyoto afspraken voor reductie van broeikasgasemissies is gekozen. Als peiljaar voor de ontwikkelingen vanaf 1990 is 2004 gekozen, zijnde het meest recente jaar waarover data beschikbaar zijn. De broeikasgasemissies zijn beschouwd van de drie sectoren van de Vereniging Afvalbedrijven, te weten: storten, composteren en verbranden. Per sector worden de hoofdlijnen genoemd. Overigens was reeds vóór 1990 sprake van een milieuverbetering ten opzichte van een 'nulsituatie', omdat toen alle afval al niet meer integraal gestort werd zonder voorzieningen.

Storten

De hoeveelheid gestort afval is door het beleid om storten van brandbaar afval af te bouwen, gereduceerd van 12 Mton in 1990 tot 2,1 Mton in 2004. Deze hoeveelheden zijn exclusief grond, bagger en AVI-reststoffen. Hierdoor wordt de methaanemissie van in 2004 gestort afval sterk gereduceerd ten opzichte van in 1990 gestort afval. Tevens is de winning van methaan die uit de stortplaats vrijkomt door afbraak van biogeen afval verbeterd. Meegerekend zijn de vermeden broeikasgasemissies als gevolg van koolstofopslag in de bodem en winning van energie uit afgevangen methaan.

Composteren

Als gevolg van de start van de inzameling van GFT-afval vanaf 1990 is de hoeveelheid gecomposteerd afval sterk toegenomen. In 1990 werd nog slechts 430 kton GFT-afval en groenafval gecomposteerd. In 2004 was dit 3,3 Mton (waarvan circa 1,7 Mton GFT-afval). De broeikasgasemissies van het composteerproces zijn beperkt. Hoewel goed onderbouwde gegevens ontbreken zijn door verbeteringen in het composteerproces de broeikasgasemissie waarschijnlijk gedaald. Meegerekend zijn de vermeden broeikasgasemissies als gevolg van vervanging van veen en kunstmest door compost.

Verbranden

Door de bouw van nieuwe verbrandingsinstallaties vanaf 1990 is de hoeveelheid verbrand afval toegenomen van 2,9 Mton in 1990 tot 5,4 Mton in 2004. Door deze toename en de geleidelijke stijging van het aandeel kunststof in het afval is de directe broeikasgasemissie van verbranden toegenomen. Echter door de bouw van nieuwe installaties en het sluiten van enkele verouderde installaties is het elektrisch rendement van de AVI's sterk verbeterd. Door deze verbetering houden de vermeden emissies als gevolg van de opgewekte energie ongeveer gelijke tred met de toename als gevolg van de toename van het kunststofgehalte.

De hoeveelheid verwerkt afval via storten, composteren en verbranden is van 1990 tot 2004 sterk gedaald door de toename van de mechanische scheiding (sorteren), gescheiden inzameling van vooral bouw- en sloopafval en bedrijfsafval en export van brandbare mengstromen.

Executive summary

Between 1990 and 2004 the greenhouse gas emissions of the Dutch waste disposal sector declined substantially. In 1990 aggregate emissions stood at around 12.7 Mtonne CO₂-equivalents; by 2004 they had fallen to 0.8 Mt. These figures take account of the greenhouse gas emissions avoided as a result of carbon storage in the soil via landfill and composting, as well as the energy generated at municipal waste incinerators and utilisation of landfill methane. In 1990 the contribution of the waste disposal industry to Dutch greenhouse gas emissions was still around 6%. By 2004 this was down to about 0.5%.

Figure 3 shows the total greenhouse gas emissions arising from landfilling, composting and incineration, as well as their sum. The marked decline in emissions between 1990 and 2004 can be explained largely by substantial changes in the amounts of waste disposed of by the three respective routes.

Figure 3 Greenhouse gas emissions due to waste disposal in the Netherlands, 1990 and 2004

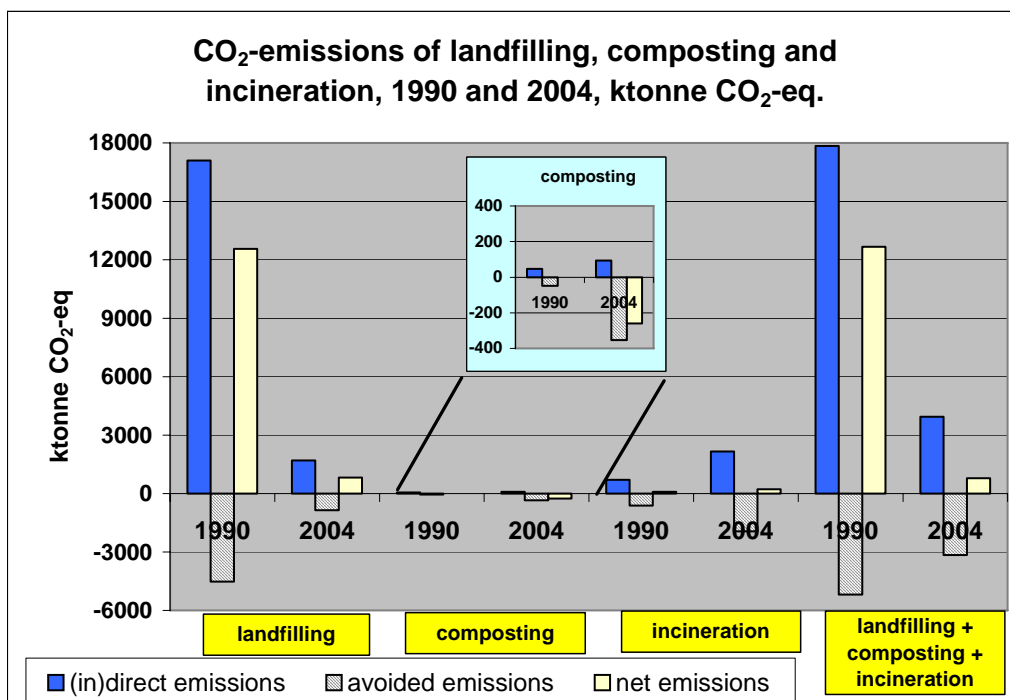
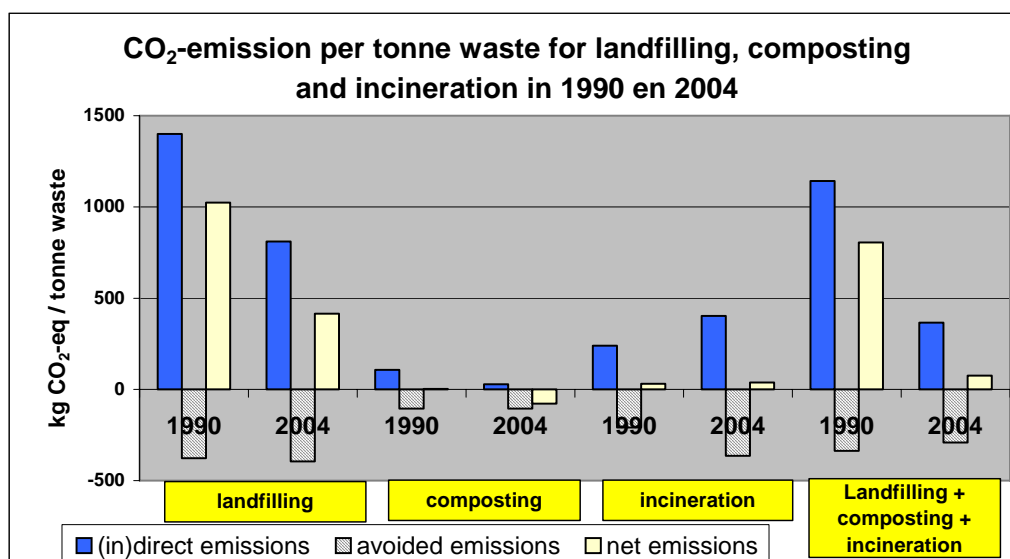


Figure 4 shows the greenhouse gas emissions per tonne of processed waste for landfilling, composting and incineration, as well as their sum. This figure illustrates the major impact of technological improvements to reduce the greenhouse gas emissions of the three disposal routes.

Figure 4 Greenhouse gas emissions per tonne of processed waste due to waste disposal in the Netherlands, 1990 and 2004



This is the outcome of the quick scan of the greenhouse gas emissions of the waste disposal sector carried out by CE Delft for the Netherlands Association of Waste Processors (*Vereniging Afvalbedrijven*). The study took 1990 as its reference year, this being the baseline adopted for the Kyoto commitments on greenhouse gas emissions reduction. To establish trends since 1990 the year 2004 was taken, the most recent date for which data are available. The greenhouse gas emissions of the three sections of the *Vereniging Afvalbedrijven* were reviewed: landfilling, composting and incineration. The main conclusions for each sector are presented below.

It should be noted that prior to 1990 there had already been an improvement in the environmental performance of the waste processing sector relative to the true 'historical baseline', because by then the days of all the country's waste being disposed of in unregulated fashion were already over.

Landfill

Thanks to a policy to phase out the landfilling of combustible waste, the volume of waste going to landfill fell from 12 Mt in 1990 to 2.1 Mt in 2004 (excluding soils, dredgings and incinerator residues). Methane emissions from the waste landfilled in 2004 were consequently far lower than from landfill for the year 1990. In addition, there has been major progress in recovering the landfill methane generated by the decomposition of organic waste. Also included are the greenhouse gas emissions avoided as a result of carbon storage in the soil and power generation from recovered methane.

Composting

With the introduction of separate kerbside collection of household biowaste, since 1990 there has been a major increase in the amount of waste being composted. In 1990 only 430 kt biowaste and other green waste was composted, while by 2004 this had risen to 3.3 Mt (of which some 1.7 Mt household biowaste). The composting process gives rise to only limited greenhouse gas emissions and although solid data are lacking, overall process improvements have probably led to a decline in these emissions. Also included in the sums are the greenhouse gas emissions avoided owing to substitution of peat and artificial fertiliser by compost.

Incineration

As new municipal waste incinerators were brought on stream from 1990 onwards, the amount of waste incinerated rose from 2.9 Mt in 1990 to 5.4 Mt in 2004. Because of this increase as well as the gradual rise in the amount of plastics in the feed, the direct greenhouse gas emissions of incineration have increased. With the construction of new incinerator plant and closure of several older facilities, however, there has been a vast increase in the electrical efficiency of the country's incinerators. Thanks to these improvements, the emissions avoided as a result of additional power output have just about kept pace with the additional emissions due to the growing plastics fraction.

Between 1990 and 2004 there was a marked decrease in the amount of waste disposed of by landfill, composting and incineration, due largely to increased mechanical separation (i.e. sorting), separate collection of, above all, construction and demolition waste and commercial waste, and export of combustible varieties of mixed waste.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Vereniging Afvalbedrijven maakt zich hard voor optimale randvoorwaarden voor een milieuhygiënische en kosteneffectieve afvalverwijdering en –verwerking. In dit kader ziet de vereniging voor zichzelf ook een rol om aan te geven en na te gaan hoe en in welke mate de sector een bijdrage levert aan de landelijke milieudoelstellingen voor reductie van de emissies die bijdragen aan het broeikaseffect. Onder andere door de productie van biogas en elektriciteit bij de verwerking van afval levert de sector reeds vele jaren een belangrijke bijdrage aan het besparen van fossiele brandstoffen en aan beperking van emissies die bijdragen aan het broeikaseffect. Dit neemt niet weg dat er geen uitdagingen meer zullen zijn om de prestaties verder te verbeteren.

In deze studie wordt de ontwikkeling van de broeikasgasemissies van de sector gegeven van 1990 tot heden.

1.2 Doel studie

Het doel van het project is na te gaan welke bijdrage de afvalsector heeft geleverd aan het aanpakken van het klimaatprobleem.

Aangegeven wordt hoe de sector als geheel heeft gepresteerd aangaande de reductie van emissies die bijdragen aan het broeikaseffect in 1990 en 2004.

1.3 Kader van het project

Deze studie is een quick scan. Dit betekent dat de belangrijkste bijdragen van de afvalsector aan het broeikaseffect zijn beschouwd, dat geen uitgebreide literatuurresearch heeft plaatsgevonden en geringe bijdragen zijn verwaarloosd. Dit resulteert erin dat daar waar nodig onzekerheidsintervallen zijn genomen. Met het formuleren van conclusies is hiermee rekening gehouden. Dientengevolge geven de conclusies en resultaten een betrouwbaar beeld.

Het referentiejaar voor deze studie is het jaar 1990. Dit is gekozen omdat in de doelstellingen voor reductie van de broeikasgasemissies in het kader van de Kyoto-afspraken dat jaar ook als referentiejaar is gekozen. Aldus kan dan worden aangegeven welke bijdrage de afvalsector aan de reductie heeft bijgedragen. In dit licht is het niet relevant aan te geven wat de broeikasgasemissies van de afvalverwijdering geweest zouden zijn als alle afval integraal gestort zou worden zonder de eisen die nu aan het storten worden gesteld. Een dergelijk 'nul-scenario' zou in onze ogen ook erg fictief zijn. Dit neemt niet weg dat reeds vóór 1990 sprake is geweest van een milieuverbetering ten opzichte van een 'nulsituatie'. Er werd reeds stortgas teruggewonnen en een deel van het afval werd reeds met energierugwinning verbrand.

In deze studie gaat het om de broeikasgasemissies van het afval dat door drie sectoren van de Vereniging Afvalbedrijven en door de Branche Vereniging Organische Reststoffen (BVOR) wordt verwerkt. Dit geeft de broeikasgasemissies van de afvalverwerking in Nederland. Deze zijn van belang voor de afspraken in het kader van het Kyoto-protocol. Dit impliceert dat de broeikasgasemissies van Nederlands afval dat naar het buitenland wordt geëxporteerd, niet worden meegenomen, hetgeen ook conform de Kyoto-afspraken is. Tevens betekent het dat de broeikasgasemissies van het afval dat wordt gerecycled, ook niet worden meegenomen. De broeikasgasemissies die daarmee samenhangen worden meegenomen bij andere industriële sectoren. Deze import/export en recycling maakt het beeld van ontwikkeling van de totale broeikasgasemissies van de afvalverwerking lastig interpreteerbaar. Daarom wordt de broeikasgasemissie gegeven per in Nederland verwerkte ton afval per techniek en het totale pakket afval dat in Nederland via de drie technieken is verwerkt. Dit geeft een goed beeld van de reductie van de broeikasgasemissies als gevolg van verbeteringen van de technieken en verdeling van het afval over die technieken.

De broeikasgasemissie per ton verwerkte afval in Nederland wordt berekend door de optelling van de broeikasgasemissies van storten, composteren en verbranden en dit te delen door de gesommeerde hoeveelheid verwerkte tonnen via deze drie methoden. Het gaat in deze studie niet om deze drie verwerkingsmethoden met elkaar te vergelijken. Dit is ook niet mogelijk omdat het niet om dezelfde afvalstromen gaat. Zo is de samenstelling van het gestorte afval in 2004 anders dan die van het in 2004 verbrande afval en bij composteren gaat het om GFT-afval terwijl bij verbranding het om huishoudelijk restafval plus bedrijfsafval gaat.

Over de methode voor berekening van de broeikasgasemissies van de drie te beschouwen verwerkingstechnieken bestaat geen eenduidigheid. Verschillende methoden zullen we daar waar relevant aangeven. Als basis zullen we steeds de methode kiezen die volgens ons te verkiezen is. Consequenties van de keuze van een ander methode zullen we steeds aangeven.

1.4 Opzet rapport

Belangrijke ingrediënten voor het in beeld brengen van de broeikasgasemissies van de afvalsector zijn:

- de hoeveelheden, de samenstelling en de verwerkingswijze van de door de sector verwerkte afvalstromen;
- de toegepaste methodologie voor berekenen van de broeikasgasemissies.

Drie wijzen van verwerking worden onderscheiden: storten, composteren en verbranden. Elke wijze van verwerking heeft zijn eigen karakteristieken wat betreft broeikasgasemissies. In hoofdstuk 2 zullen de hoeveelheden worden gegeven voor de jaren 1990 en 2004.

Over emissies van de activiteiten storten, verbranden en composteren zijn verschillende studies verschenen. Ook worden jaarlijks ten behoeve van de verslaggeving in het kader van de Kyoto-afspraken, berekeningen gemaakt van de broeikasgasemissies van afvalverwijdering en energieopwekking in Nederland. Daartoe worden ook bepaalde berekeningsmethoden gebruikt. In dit project gaat het erom een consistente methodiek te gebruiken voor de bepaling van de broeikasgasemissies van de drie verwerkingswijzen storten, verbranden en composteren. In hoofdstuk 3 worden enkele belangrijke algemene methodologische aspecten behandeld voor het bepalen van de CO₂-emissie. In de drie daarop volgende hoofdstukken worden van de drie verwerkingswijzen specifieke methodologische aspecten behandeld en wordt de broeikasgasemissie bepaald voor 1990 en 2004.

Het rapport wordt afgesloten met een overzicht van de totale CO₂-emissie van de sector voor de jaren 1990 en 2004.

2 Hoeveelheden en verwerkingswijze

2.1 Inleiding

Er zijn 2 verschillende bronnen voor de hoeveelheden en verwerkingswijzen, te weten:

- 1 Het Natuur en Milieucompendium van CBS.
- 2 Data van de Werkgroep Afvalregistratie.

Het Natuur & Milieucompendium van CBS gaat uit van een andere indeling dan de Werkgroep Afvalregistratie. CBS gaat van een doelgroepenbenadering uit terwijl Werkgroep Afvalregistratie meer uitgaat van de soort afvalstroom. De indelingen zijn in Tabel 1 weergegeven.

Tabel 1 Indeling CBS en Werkgroep Afvalregistratie

Indeling CBS	Indeling Werkgroep Afvalregistratie
Consumentenafval	(Grof) huishoudelijk afval
Verkeer en vervoer	Reststoffen scheiding
Land- en tuinbouw	Bedrijfsafval, handel, diensten, overheid, ind.
Industrie	Reinigingsdienstenaafval
Handel, diensten, overheid	Shredderafval
Bouw	Bouw- en sloopafval
Energievoorziening	Verontreinigde grond
RWZI's	Niet verontreinigde grond
Drinkwatervoorziening	Zuiveringslib
	AVI-reststoffen
	Niet specifiek ziekenhuisafval

Bij navraag bij SenterNovem over de vertaling van de ene indeling naar de andere blijkt dat dit niet duidelijk is. De Werkgroep Afvalregistratie geeft haar cijfers op basis van enquêtes onder afvalverwerkende bedrijven. De data van de Werkgroep Afvalregistratie zijn voor CBS een aanvullende bron op de enquêtes die zij doet bij het ontdoenende bedrijfsleven. Het CBS meet de hoeveelheid afval die in Nederland door huishoudens, bedrijven en overheden wordt geproduceerd. Terwijl de Werkgroep Afvalregistratie de hoeveelheden inventariseert die in Nederland worden verwerkt. Een belangrijk verschil tussen beide is het geïmporteerde en geëxporteerde afval. Uit inventarisatie van VROM blijkt dat de geëxporteerde hoeveelheid afval aanmerkelijk groter is dan de geïmporteerde hoeveelheid. Een ander verschil is de verwerking of verwijdering van bepaalde afvalstromen (sommige industriële afvalstromen en verontreinigde grond) op andere wijze dan de door de Werkgroep Afvalregistratie wordt geïnventariseerd. Voor het doel van deze studie, het bepalen van de broeikasgasemissies van storten, verbranden en composteren is de indeling die door de Werkgroep Afvalregistratie wordt gebruikt, dan ook het meest geschikt. Ter informatie zullen we voor 2004 ook de exportbalans opnemen. Dit is van belang voor de interpretatie van scherpe veranderingen in verwerkte hoeveelheden en de daarmee samenhangende broeikasgasemissies als gevolg van bijvoorbeeld het in 2005 van kracht geworden stortverbod in Duitsland.

In de volgende paragraaf zullen de cijfers worden gegeven.

2.2 Hoeveelheden afval in 1990 en 2004 en verwerkingswijze

In Tabel 2 en Tabel 3 worden de hoeveelheden van de afvalstromen gegeven en de wijze van verwerking.

De cijfers voor 1990 zijn nog niet afkomstig van de Werkgroep Afvalregistratie, maar van het AOO. Ze zijn afkomstig uit het Milieueffectrapport Ontwerp Tienjaren programma afval 1992-2002 (AOO, 1992). In 1993 kwam het eerste rapport van de Werkgroep Afvalregistratie uit met hoeveelheden en verwerkingswijzen voor 1991. In dat rapport staan ook cijfers genoemd voor 1990. In bijlage A worden de verschillende cijfers voor 1990 die beschikbaar zijn met elkaar vergeleken en is de keuze toegelicht voor de hoeveelheid en verwerkingswijze die voor 1990 in dit rapport zal worden gehanteerd.

AVI-reststoffen en (niet) verontreinigde grond zijn niet in de tabellen opgenomen. Dit omdat ze niet consequent in de bronnen zijn opgenomen en omdat ze geen broeikasgasemissies veroorzaken. De hoeveelheden slib zijn wel in de tabellen opgenomen. De slibverbranding in SVI's (Slib VerbrandingsInstallaties) is echter niet beschouwd. Overigens zijn de broeikasgasemissies van slibverbranding gering omdat het bij de directe emissies gaat om kortcyclisch CO₂ en omdat de hoeveelheid opgewekte energie verwaarloosbaar is.

Naast GFT-afval wordt ook groenafval gecomposteerd. De verwerking van dit groenafval wordt niet door de Werkgroep Afvalregistratie geregistreerd (WAR, 2005). Gelet op het doel van deze studie om de broeikasgasemissies van de drie sectoren van de VA in beeld te brengen, wordt composteren van groenafval eveneens meegenomen. Cijfers voor 1990 ontbreken echter. De eerst beschikbare data zijn van 1994. In dat jaar hebben de leden van de BVOR (Branche Vereniging Organische Reststoffen) 300 kton groenafval verwerkt. Omdat niet alle bedrijven waren (en zijn) aangesloten bij de BVOR is in werkelijkheid meer verwerkt. De heer Sessink van de BVOR raamt de totale verwerkte hoeveelheid groenafval in 1994 op 350 kton. Voor 2000 schat hij de totale verwerkte hoeveelheid op 900 kton en voor 2004 op 1.600 kton. Gelet op deze cijfers ramen we de hoeveelheid voor 1990 op 150 kton.

Tabel 2 Hoeveelheden en verwerking van de verschillende afvalstromen in 1990

	Op stort gebracht	AVI (+ SVI)	Vergisten/ composteren	Totaal AVI + comp. + storten
(Grof) huishoudelijk afval	3.136	1.992	130	5.258
Reststoffen scheiding				0
Bedrijfsafval, handel, diensten, overheid, industrie	3.342	767		4.109
Reinigingsdienstenaafval	918	151	150	1.219
Shredderafval	120			120
Bouw- en sloopafval	3.500			3.500
Zuiveringsslib	908	37		945
Niet specifiek ziekenhuis afval	82	33		115
Groenafval (bij leden BVOR)			150	150
Totaal incl. verwerkt in SVI	12.006	2.980	430	15.416
Totaal excl. verwerkt in SVI	12.006	2.943	430	15.379

Voor 2004 zijn de data afkomstig uit het rapport van de Werkgroep Afvalregistratie Afvalverwerking in Nederland van september 2005 (WAR, 2005). De hoeveelheid vergist en gecomposteerd afval is bij elkaar opgeteld. Hoewel vergisten andere broeikasgasemissies heeft dan composteren is dit niet apart beschouwd. Dit omdat de hoeveelheid vergist afval zeer beperkt is (circa 1% van het GFT-afval en groenafval wordt vergist) ten opzichte van de hoeveelheid gecomposteerd afval, waardoor het op de uiteindelijke broeikasgasemissie een verwaarloosbaar effect heeft. Voor groenafval is de geraamde hoeveelheid afkomstig van de heer Sessink van BVOR.

Ter informatie is in Tabel 3 ook de hoeveelheid geïmporteerd en geëxporteerd afval opgenomen.

Tabel 3 Hoeveelheden en verwerking van de verschillende afvalstromen in 2004

Hoeveelheden in kton	Op stort gebracht*	AVI (+ SVI)	Vergisten/ composteren	Totaal AVI + comp. + storten
(Grof) huishoudelijk afval	59	3.182	1.448	4.689
Reststoffen scheiding	181	769		950
Bedrijfsafval, handel, diensten, overheid, industrie	801	1.231		2.032
Reinigingsdienstenaafval	95			95
Shredderafval	160			160
Bouw- en sloopafval	280			280
Zuiveringsslib	13	800		813
Overig (incl. gevaarlijk)	500	180		680
Overige gecomposteerde/vergiste afvalstromen in GFT-installaties			264	264
Groenafval (bij leden BVOR)			1.600	1.600
Totaal incl. verbrand in SVI	2.089	6.162	3.313	11.564
Totaal excl. verbrand in SVI	2.089	5.362	3.313	10.764
Bron: Int Meldpunt Afvalstoffen VROM	Nuttige toepassing		Verwijdering	
Geëxporteerd in 2004		3.613		756
Geïmporteerd in 2004		540		33

* Incl. bouwstoffen waarvan de milieuhygiënische kwaliteiten conform het Bouwstoffenbesluit is en die in het stortlichaam een nuttige functie hebben gekregen (Bsb-bouwstoffen).

2.3 Overzicht verwerkte hoeveelheden

In Tabel 4 is het overzicht opgenomen van de verwerkte hoeveelheden in de jaren 1990 en 2004.

Tabel 4 Overzicht verwerkte hoeveelheden (excl. slib verbrand in SVI, excl. AVI-reststoffen, excl. (niet) verontreinigde grond), hoeveelheden in kton

	Storten	AVI	Vergisten / Composteren	Totaal
1990	12.006	2.943	430	15.379
2004	2.089	5.362	3.313	10.764

Hieruit komt duidelijk naar voren dat van 1990 tot 2004 storten sterk is vermindert te gunste van verbranden en composteren. Tevens is de totale hoeveelheid verwerkt afval van 1990 tot 2004 sterk vermindert door de toename van export en de toename van de scheiding en nuttige toepassing van vooral bouw- en sloopafval.

3 Methodologische aspecten broeikasgasemissies

3.1 Directe en indirecte emissies

Zowel de directe emissies als de indirecte emissies worden meegenomen. De directe emissies betreffen steeds de aan het proces zelf gerelateerde emissies, bijvoorbeeld emissies van stortgas, maar ook emissies van apparatuur waarin afgevangen stortgas wordt benut (gasmotor). De indirecte emissies betreffen bijvoorbeeld de emissies die worden uitgespaard door gebruik van compost als meststof en grondverbeteraar.

Eén en ander dient met het oog op geloofwaardigheid van en draagvlak voor de resultaten dan wel te gebeuren op een zo objectief en consistent mogelijke wijze. Dat betekent dat waar voordelen als uitsparing van broeikasgasemissies door veenvervanging worden beschouwd, ook 'nadelen' moeten worden meegenomen, zoals de broeikasgasemissies gerelateerd aan de productie van bij waterzuivering en rookgasreiniging gebruikte chemicaliën.

Om het beoogde betrouwbare en complete beeld te kunnen genereren hebben we in deze studie een analyse gedaan van de aan afvalverwerking gerelateerde broeikasgasemissies conform de voor dit soort doeleinden ontwikkelde LCA-methodiek.

3.2 Invulling LCA-methodiek in deze studie

Een LCA omvat steeds de volgende onderdelen:

- bepaling van 'functionele eenheid', tijdhorizon en definitie en begrenzing van het te beschouwen 'systeem';
- inventarisatie: bepaling van de emissies per systeemonderdeel;
- aggregatie van de emissies tot totalen voor het gehele systeem en vertaling van de totalen naar bijdragen aan milieuthema's.

Voor deze studie gelden conform de opdracht de volgende invullingen van bovenstaande:

- de tijdhorizon betreft de jaren 1990 en 2004;
- de functionele eenheid betreft de in deze jaren vrijgekomen en hoeveelheden afval, die door de afvalverwerkende branche in Nederland zijn verwerkt;
- de systemen betreffen voor de jaren 1990 en 2004 de Nederlandse installaties waarin het vrijgekomen afval is verwerkt.

Het beschouwen van verwerking van Nederlands afval door Nederlandse afvalbedrijven betekent dat hergebruikt afval - zoals glas, papier en metalen - niet is meegenomen. Datzelfde geldt voor emissies gerelateerd aan meestoken van deelstromen in kolencentrales en cementovens. Ook is geen rekening gehouden met emissies door verwerking in het buitenland van geëxporteerd Nederlands afval. Voor zover door de Nederlandse bedrijven die in dit rapport zijn betrokken geïmporteerd afval is verwerkt, is dat meegenomen.

Deze afbakening is gehanteerd vanwege de gewenste relatie tussen de studieresultaten en de bijdrage van de afvalverwerkende bedrijven aan de totale Nederlandse broeikasgasemissie. Gezien de gewenste relatie is het dan ook niet zinvol om een analyse van de aan verwerking van Nederlands afval in het buitenland gerelateerde broeikasgasemissies te maken. Ook is het daarom niet zinvol om emissies in andere sectoren (zoals de recycling industrie) te bepalen. Deze studie beperkt zich dus tot het bepalen van de broeikasgasemissies van in Nederland verwerkt afval.

Het resultaat van de analyse is een overzicht van de totale aan de afvalbranche gerelateerde directe broeikasgasemissie in 1990 en 2004. Deze bijdrage wordt vergeleken met de totale broeikasgasemissie in dat jaar om een indruk te geven van het relatieve belang van sector voor het klimaatbeleid. Maar daarnaast worden voor deze jaren ook emissies per ton input gegeven per verwerkingstechniek en per ton door de Nederlandse afvalsector verwerkt afval. Op die manier wordt gevisualiseerd welke vooruitgang de branche in de tussenliggende jaren heeft gemaakt door optimalisatie van bedrijfsvoering en optimalisatie van energierugwinning en nuttige producten uit afval.

3.3 Enkele specifieke methodologische punten

Bij de raming van de aan afvalverwerking gerelateerde broeikasgasemissies zijn een aantal achtergrondkentallen en referenties gebruikt, die niet direct samenhangen met de verwerking van afval. Dit zijn bijvoorbeeld de eerdergenoemde emissies van broeikasgassen gerelateerd aan de bij waterzuivering en gasreiniging gebruikte chemicaliën. Of de broeikasgasemissies gerelateerd aan uitgespaarde inzet van aardgas of productie van elektriciteit.

Referenties voor elektriciteit en aardgas

Elektriciteitsproductie bij verbranding in AVI's en door stortgasbenutting in een gasmotor voorkomt productie van elektriciteit door energiecentrales. De vraag is welke techniek en brandstof of combinatie van technieken en brandstoffen wordt uitgespaard. De in 1990 operationele energiecentrales gebruikten bijvoorbeeld een heel andere brandstofmix en hadden een lager rendement dan in 2004 operationele centrales.

In deze studie is voor alle beschouwde jaren één vaste referentie aangehouden: het elektriciteitsproductiepark in het jaar 2005. Door het hanteren van éénzelfde referentie kunnen bijdragen aan klimaatverandering voor verschillende jaren op een eenduidige manier worden vergeleken. Wanneer voor 1990 en 2004 een andere referentie wordt gebruikt is niet meer te zien of er verbeteringen zijn in de broeikasgasemissies van de drie afvalverwerkingstechnieken en zo ja hoe groot deze dan zijn.

De broeikasgasemissie van het Nederlandse elektriciteitspark in 2005 bedraagt 0,56 kg CO₂ /kWh_e (Schoof, 2003). Er is geen rekening gehouden met transportverliezen en verliezen in transformatoren. 2005 is gekozen omdat dit het meest recente jaar is.

Bij verbranding in AVI's en/of bij storten wordt aardgas uitgespaard door:

- afzet van warmte;
- opwerking van gewonnen gas tot aardgaskwaliteit en injectie van het opgewekte gas in het aardgasnet;
- gebruik van stortgas als brandstof in plaats van aardgas.

Er is aangenomen dat in deze situaties Groningen gas wordt uitgespaard, het gas dat door kleingebruikers en de meeste industriële bedrijven wordt gebruikt. Groningen gas of G-gas geeft een specifieke CO₂-emissie van 56 kg CO₂ /GJ.

Achtergronddata voor chemicaliën

In de analyse wordt als gezegd rekening gehouden met indirecte effecten, zoals broeikasgasemissies gerelateerd aan de chemicaliën gebruikt in waterzuivering of gasreiniging. Informatie over de aan dit soort goederen gerelateerde broeikasgasemissies zijn zoveel mogelijk ontleend aan het MER-LAP en SimaPro.

In bijlage C is een overzicht van de gehanteerde kentallen voor staal en aluminium gegeven.

Karakterisatiefactoren

In de MER-LAP en de contra-expertises wordt steeds uitgegaan van oudere karakteristiekfactoren voor methaan en lachgas van respectievelijk 21 en 310 kg CO₂-eq/kg emissie. Sinds 2002 zijn geactualiseerde karakteristiekfactoren met de respectievelijke waarden 23 en 296 kg CO₂-eq/kg emissie gedefinieerd - zie CML website www.leidenuniv.nl/cml. In dit rapport wordt de achtergrond en de wijze van uitvoering van de levenscyclusanalyse toegelicht en worden voor de verschillende milieuthema's karakterisatiefactoren gegeven. Deze zijn inmiddels algemeen geaccepteerd en worden algemeen toegepast. Wij houden deze geactualiseerde factoren aan.

4 Storten

4.1 Inleiding

De volgende broeikasgasemissies treden op bij of worden vermeden door de activiteit storten:

- 1 Energiegebruik en emissies van handling van het te storten materiaal.
- 2 Stortgasonttrekking en percolaatbehandeling.
- 3 Emissies uit de stortplaats.
- 4 Opslag van biologische koolstof in de stort.
- 5 Emissies bij opwerking en inzet of affakkelen van stortgas.
- 6 Door inzet en nuttige toepassing van stortgas uitgespaarde emissies ten gevolge van aardgasgebruik en elektriciteitopwekking.

De voor onderafdichting en bovenafdichting gebruikte zand, bentoniet en HDPE-folie zijn conform de in het MER-LAP gehanteerde afbakening onderdeel van de installatie en worden niet meegenomen.

Storten is een proces dat na inbrengen van het afval in de stort niet is afgelopen. Gestort afval blijft decennia lang actief en produceert ook tientallen jaren na stort nog broeikasgasemissies. Dit in tegenstelling tot composteren en verbranden, waarbij de emissies veelmeer in één momentopname optreden of die emissies kunnen worden 'platgeslagen' tot één moment.

Broeikasgasemissies gerelateerd aan storten kunnen daarom op twee manieren worden gerapporteerd:

- per ton gestort materiaal, waarbij het gaat om het totaal van de emissies over vele jaren van een ton gestort afval (specifieke emissiebepalingen);
- voor een zichtjaar, waarbij het gaat om de emissies in dat zichtjaar van in dat jaar en voorgaande jaren gestort afval.

Voor emissiehandel en dergelijke is er eerder behoefte aan emissies per zichtjaar dan aan specifieke emissiekentallen. Aan de andere kant kan middels specifieke emissiekentallen per ton in een bepaald jaar gestort afval wel worden geïllustreerd of en hoe de milieubelasting gerelateerd aan storten in de afgelopen jaren is afgenomen. In deze studie zijn voor de compleetheid beide inzichten gegenereerd. Omdat bij schatten van de jaaremmissies informatie wordt gebruikt gebaseerd op analyses per ton afval wordt bepaling van de specifieke emissiekentallen hieronder voorop gezet.

Allereerst wordt op enkele methodologische aspecten ingegaan, waarna de broeikasgasemissies als gevolg van de verschillende activiteiten worden toegelicht.

4.2 Methodologische aspecten

4.2.1 Referenties

Voor storten wordt in de NIR (NIR, 2005) zoals voor alle sectoren enkel de directe emissie van broeikasgassen naar lucht vanuit de stort beschouwd. Indirecte emissies, maar ook directe effecten als emissies van fakkels en gasmotoren en opslag van biologische koolstof in de stort worden niet beschouwd. Deze directe en indirecte emissies worden in de NIR toegerekend aan andere sectoren.

In LCA's worden deze aspecten wel allemaal of nagenoeg allemaal bepaald. In onderhavige studie is dat – met het oog op het gewenste brede en complete beeld – ook het geval.

Er is echter voor zover wij weten geen algemene LCA-studie voor storten in Nederland waarin alle relevante aspecten voor alle gestorte afvalstromen (in de zichtjaren 1990 en 2004) integraal worden meegenomen. De NIR-rapportages bieden ook geen inzicht omdat daarin de totale emissie van methaan uit stortplaatsen wordt gegeven voor al het sinds 1945 gestorte afval.

Ook is ons geen studie bekend waarin bijvoorbeeld stort van de restfractie van bouw- en sloopafval of grof huishoudelijk afval wordt onderzocht. Schatten van broeikasgasemissies gerelateerd aan stort in Nederland in 1990 en 2004 komt daarom neer op uitvoeren van eigen berekeningen.

Die eigen berekeningen worden in paragraaf 4.3 gepresenteerd. Er is daarbij zoveel mogelijk aangesloten bij de methodiek gehanteerd in de NIR-rapportages.

4.2.2 Tijds horizon

Emissies gerelateerd aan storten spreiden zich vanwege de langzame, biologische afbraak van organisch materiaal in de stort uit over een periode van tientallen jaren. Om een redelijke benadering van de aan storten van een ton afval gerelateerde emissies te kunnen maken is een periode van 100 jaar beschouwd. Na die tijd is de productie van stortgas over het algemeen verwaarloosbaar.

4.2.3 Emissies uit stortplaats

Broeikasgasanalyses voor storten beperken zich wat emissies vanuit de stort betreft in de regel tot methaan. Maar in Oonk (1995) en andere studies worden ook concentraties van CFK's in het stortgas vermeld (zie ook (Bartelds, 1993)). De verschillende bronnen geven een aanzienlijk bereik in concentraties variërend van enkele mg/Nm³ tot een totaal van circa 100 mg/Nm³. Bij de hoogste concentraties is de bijdrage door CFK-emissies 5% - 10% van de totale potentieel van klimaatverandering (zie Tabel 5).

Het is waarschijnlijk dat de concentraties van CFK's door het verbod dat medio jaren 90 op deze verbindingen is ingesteld nu aanmerkelijk lager is en verwaarloosbaar is bij stortgas uit in 2004 gestort afval.

Tabel 5 Potentiële bijdragen aan klimaatverandering van stortgas componenten

	Gemiddelde stortgas Samenstelling (mg/Nm ³)	Klimaat verandering karakterisatiefactor (CO ₂ -eq/kg emissie)	Potentiële bijdrage klimaatverandering (kg CO ₂ -eq/m ³ stortgas)	
NMVOOC	701			
Benzeen	8			
Tolueen	121			
CFK11	5 tot 98	4.600	0,023 tot 0,45	0,24% tot 4,4%
CFK12	22 tot 33	10.600	0,23 tot 0,35	2,4% tot 3,4%
Trichlooretheen	26			
Tetrachlooretheen	26			
H ₂ S	111			
Methaan (CH ₄)	407.143	23	9,36	97,3% tot 92,1%
Totaal			9,6 tot 10,2	

4.3 Bepaling specifieke emissies

4.3.1 Handling

Voor handling is in het MER-LAP uitgegaan van een specifiek gebruik van 60 MJ/ton afval door een mobiel werktuig (AOO, 2002a), in de regel een laadschop of shovel. Vermenigvuldigen met een factor van 84,5 kg CO₂/GJ diesel geeft de overeenkomstige broeikasgasemissie van CO₂. Emissies van N₂O en CH₄ door het mobiele werktuig zijn verwaarloosd.

4.3.2 Stortgas

Stortgasvorming

Voor het berekenen van de stortgasemissies in 1990 en 2004 is eerst het koolstofgehalte in de gestorte hoeveelheid afval bepaald, waarna op basis van dit koolstofgehalte per ton een schatting is gemaakt van de hoeveelheid stortgas, die per ton afval is gevormd.

Het biogene en niet-biogene (ook wel fossiele) koolstofgehalte van het afval zijn bepaald aan de hand van het 'Protocol monitoring duurzame energie' van SenterNovem. Dit protocol leidt tot gehalten aan biogene en fossiele koolstof waar discussie over is. Vooral het gehalte aan fossiele koolstof zou duidelijk te hoog zijn doordat in de sorteertanalyses van huishoudelijk afval die worden uitgevoerd het percentage kunststof te hoog zou zijn. Dit komt doordat bij de sorteertanalyses het aanhangende organische materiaal en vocht bij de kunststof wordt opgeteld. Een betrouwbare aanname van de hoeveelheid aanhangend

organisch materiaal en vocht ontbreekt echter. Derhalve is het protocol gevolgd. Volgens dit protocol dient uitgegaan te worden van de samenstellingen van de afvalstromen zoals die in de rapportages van SenterNovem zijn opgenomen.

In bijlage B wordt het biogene en fossiele koolstofgehalte van het in 1990 en 2004 gestorte en verbrande afval berekend. Het berekende biogene koolstofgehalte van gestort afval voor 1990 en 2004 is in Tabel 6 opgenomen.

Tabel 6 Biogene koolstofgehalte van het in 1990 en 2004 gestorte afval (hoeveelheden in kton)

	C- biogeen	Hoeveelheid gestort afval
1990	2.480	12.006
2004	433	2.089

De hier vermelde hoeveelheid gestort afval is exclusief AVI-reststoffen en (niet) verontreinigde grond (zie hoofdstuk 2). Het biogene koolstofgehalte daarvan is nul.

De uit het gestorte afval in de tijd geproduceerde hoeveelheid stortgas zijn bepaald conform het medio jaren 90 opgestelde model voor stortgasproductie. Dit model wordt ook gebruikt in het kader van de NIR-rapportages (NIR, 2005). De hoeveelheid stortgas wordt conform het model geschat middels de relatie:

$$V_t = \xi \cdot 1,87 \cdot M \cdot C_0 \cdot k \cdot e^{-k \cdot t}$$

Waarin:

- V_t = stortgasvolume (m³).
- ξ = fractie van organische koolstof die daadwerkelijk wordt omgezet.
- M = gestorte hoeveelheid materiaal.
- C_0 = gehalte aan afbreekbaar organisch materiaal.
- k = reciproke halfwaardetijd voor de afbraak van het organische materiaal.
- 1,87 = factor om van kg koolstof naar m³ stortgas te komen.

Begin 90'er jaren zijn door het RIVM-LAE waarden voor het koolstofgehaltes bepaald (Handboek stortgaswinning, 1994/5; Cornelissen, 1992). Het model is uitgaande van deze informatie gevalideerd met emissiemetingen op ongeveer 20 stortplaatsen in de periode 1993-1994. De genoemde factoren k en ξ zijn bij die validatie vastgesteld in samenhang met de C_0 . Ze zijn onlosmakelijk aan elkaar verbonden. Dit houdt in dat als C_0 wordt verhoogd hetzelfde - met *praktijkwaarden overeenkomende* - berekeningsresultaat alleen kan worden verkregen door de factoren k en/of ξ te verlagen.

Aan de hand van het protocol worden koolstofgehaltenes geschat die aanmerkelijk hoger zijn dan de tijdens de validatie van het model gehanteerde C_0 -waarden – ook voor 1990. Tegelijkertijd mag verwacht worden dat de koolstofgehaltenes in het in dat jaar gestorte afval min of meer gelijk zijn aan de koolstofgehaltenes van het in de validatieperiode gestorte afval.

Samenvattend gesteld wijken de middels het protocol berekende koolstofgehaltenes sterk af van de uitgangspunten waarop het berekeningsmodel voor stortgas is gebaseerd. Het model zou daarom eigenlijk niet kunnen worden toegepast om de stortgasproductie per ton afval te berekenen. Ondanks deze discrepantie is er in deze studie toch voor gekozen om uit te gaan van het model omdat er geen andere gangbare methode bekend is om stortgasproductie te berekenen.

Voor de factor ξ wordt in de NIR-rapportages en andere literatuur uitgegaan van een waarde van 58%. Dit betekent dat 42% van de in de stort gebrachte organische koolstof niet wordt afgebroken maar ‘eeuwigdurend’ wordt opgeslagen.

Voor k wordt in de NIR-rapportages uitgegaan van een waarde van 0,094 voor afval gestort in 1990 en 0,0693 in 2004. Vanwege de op gang gekomen gescheiden inzameling van GFT-afval bevat het afval tegenwoordig minder snel afbreekbare componenten als in 1990. Dit komt tot uitdrukking in de voor 2004 lagere waarde van k .

De resulterende hoeveelheden stortgas en methaan per ton afval worden gegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Berekening van gevormde hoeveelheden stortgas en methaan per ton afval

	In 1990		In 2004	
	Totalen	Per ton	Totalen	Per ton
Gestort afval (kton)	12.006		2.089	
C-biologisch (kton c.q. kg/ton)	2.480	207	433	207
Gasproductie (miljoen m^3 c.q. m^3 /ton)	2.685	224	469	224
- waarvan CH_4	1.611	134	281	135
CH_4 -kentallen				
- kg/ton afval		96		96
- GJ/ton afval		5		5

Stortgasbenutting

De volgende benadering is aangehouden voor de winning en emissie van stortgas voor afval gestort anno 2004 (AOO, 2002c), (ROB, 2000):

- Afval wordt gestort in compartimenten met een gemiddelde vultijd van 5 jaar. De gemiddelde verblijftijd van het afval over de vulperiode van het compartiment bedraagt $2\frac{1}{2}$ jaar.
- Na vullen wordt het compartiment voorzien van een tijdelijk afdekking en een stortgaswinningsysteem, waarmee 50% van het geproduceerde stortgas wordt verzameld en gewonnen (dus 50% van 58%). Deze situatie wordt

10 jaar gehandhaafd om het gestorte afval de gelegenheid te geven zich te zetten. Niet afgevangen gas wordt voor 10% geoxideerd in de tijdelijke afdeklaag (dus 10% van 50% van 58%).

- Na de zettingsperiode wordt een permanente, gasdichte bovenafdichting aangebracht. Het verzamelde stortgas wordt vervolgens gedurende 10 jaar nuttig toegepast en daarna afgefakkeld vanwege teruglopend methaan-gehalte.

Voor 1990 is een iets andere benadering gehanteerd. Door de duur van de eerste periode – zonder afdekking of afvang – te verlengen is verdisconteerd dat tussen 1990 en 2000 het gros van de stortplaatsen is uitgerust met een stortgaswinningsstelsel.

Afgevangen stortgas wordt bij voldoende debiet en kwaliteit voor 80% - 85% nuttig besteed en voor 15% - 20% afgefakkeld.

In Tabel 8 is de stortgasproductie in de tijd gegeven.

Tabel 8 Stortgasproductie in de tijd (jaren) voor de in 1990 en 2004 gestorte afvalstromen

	Start periode t.o.v. stortdatum		Eind periode t.o.v. stortdatum		Stortgasproductie	
	1990	2004	1990	2004	1990	2004
Niet afgedekt c.q. niet afgevangen			7,5	2,5	51%	16%
Tijdelijke afdek	7,5	2,5	12,5	12,5	19%	42%
Definitieve afdek, stortgas benutting	12,5	12,5	22,5	22,5	23%	27%
Definitieve afdek, enkel fakkelen	22,5	22,5	100	100	8%	15%
Overige gasproductie	100	100	>100	>100	0%	0%
Sommatie					100%	100%

In Tabel 9 is toepassing van het stortgas per tijdsperiode gegeven.

Tabel 9 Toepassing van gewonnen stortgas van in 1990 en 2004 gestort afval

	Gewonnen	Oxidatie	Nuttige toepassing	Fakkelen
Niet afgedekt c.q. niet afgevangen				
Tijdelijke afdek	50%	5%	40%	10%
Definitieve afdek, stortgas benutting	100%		80%	20%
- daarna	100%			100%

Met behulp van de voorgaande tabellen is de resulterende stortgasbestemming te bepalen. De resultaten zijn in Tabel 10 opgenomen.

Tabel 10 Resulterende stortgas bestemming

	In 1990		In 2004	
		CH ₄ (10 ⁶ m ³)		CH ₄ (10 ⁶ m ³)
Gewonnen	40%	647	63%	177
- waarvan nuttig toegepast	26%	420	39%	108
- waarvan afgefakkeld	14%	226	24%	69
Oxidatie	1%	15	2%	6
Emissie	59%	949	35%	98
Totaal	100%	1611	100%	281

De percentages zijn niet één op één te vergelijken met de percentages gewonnen stortgas die in 1990 of 2004 werden afgefakkeld. Zo werd in 1990 circa 30% afgefakkeld terwijl in de bovenstaande analyse een schatting van circa 20% wordt gemaakt. Dit zou op zich te verklaren zijn doordat in 1990 waarschijnlijk ook al stortgas werd gewonnen met een voor een gasmotor of andere nuttige toepassing te laag methaangehalte, afkomstig uit vóór 1990 gestort afval. Daarnaast valt misschien nog één en ander af te dingen op de representativiteit van de in deze studie voor het schatten van emissies aangehouden bedrijfsvoering in relatie tot de praktijk van storten in 1990:

- In deze studie aangenomen dat de stortplaats exploitant anno 1990 en navolgende jaren bovenbeschreven bedrijfsvoering toepaste en zoveel mogelijk gewonnen gas nuttig gebruikte. Bekend is echter dat veel exploitanten in eerste instantie afwachtend waren ten aanzien stortgas benutting en gewonnen gas in eerste instantie simpelweg affakkelden (Zanten, 1997).
- Het is daarnaast ook niet zeker dat al het in 1990 gestorte afval volledig via bovenbeschreven bedrijfsvoering is behandeld. Het is goed mogelijk dat een deel van het afval is gestort op stortplaatsen waar pas later of nooit een stortgaswinningsysteem is aangelegd.

Emissies vanuit stortplaats

Combinatie van de geschatte percentages stortgas (Tabel 10), stortgasvolume per ton gestort afval (Tabel 7) en de samenstelling van het stortgas (Tabel 5) geeft de in Tabel 11 gegeven emissies van broeikasgassen naar lucht door emissie van stortgas uit de stortplaats. Er is rekening gehouden met oxidatie in de afdeklaag van de stort. Daarbij is aangenomen dat ook de CFK's worden omgezet of geabsorbeerd. Recente inzichten duiden erop dat de CFK's sowieso veel efficiënter door de toplaag worden verwijderd dan het moeilijk in water oplosbare methaan zodat de gegeven schattingen voor CFK-emissies mogelijk te hoog zijn. Het geëmitteerde volume stortgas per ton gestort afval in 1990 was 224,5 m³ en in 2004 ook 223,6 m³. De hoeveelheden voor 1990 en 2004 liggen om de volgende redenen dicht bij elkaar. Door het ontbreken van samenstellingsgegevens van de verschillende afvalstromen (met uitzondering van huishoudelijk afval) voor 1990 en 2004 is van dezelfde samenstelling van die stromen uitgegaan. Voor huishoudelijk afval is wel van een verschillende samenstelling uitgegaan (zie bijlage B, Tabel 42). Echter het aandeel van het huishoudelijke afval in het totaal gestorte volume is beperkt, waardoor het effect op het totaal gering is.

Tabel 11 Emissies van broeikasgassen uit stortplaats naar atmosfeer

	1990		2004	
	Concentratie (mg/Nm ³)	Emissie (kg/ton afval)	Concentratie (mg/Nm ³)	Emissie (kg/ton afval)
CH ₄	428.571	56	428.571	34
CFK11	5 - 98	0,00066 - 0,013	1	0,000075
CFK12	22 - 33	0,0029 - 0,0043	3	0,00024

Emissies bij stortgas benutting en opwerking

In Tabel 12 is een overzicht gegeven van de emissiefactoren per relevante techniek van benutting van stortgas. In de tabel is voor in 1990 en 2004 gestort materiaal aangegeven welke hoeveelheden onttrokken stortgas met de verschillende technieken is verwerkt.

Tabel 12 Specifieke emissies per techniek (g/GJ) en verdeling van gewonnen stortgas naar toepassing

	Gasmotor	Fakkelt	Opwerken	Afzet als brandstof
CH ₄	275,5	698	399	
N ₂ O	2,5			
Verdeling anno				
- 1990	18%	14%	5%	3%
- 2004	18%	24%	5%	3%

De verdeling over de verschillende technieken is gebaseerd op een globale verdeling van nuttig besteed stortgas over gasmotoren, opwerking en directe inzet als brandstof van respectievelijk 70%, 20% en 10%. Dit is ongeveer de verdeling zoals gevonden in bronnen als (Oonk, 1995), (Zanten, 1997), (WAR, 2005).

In Tabel 13 zijn de resulterende specifieke emissies van de verschillende nuttige toepassingen per GJ stortgas gegeven.

Tabel 13 Resulterende procesgerelateerde emissies door nuttige toepassing en affakkelen van stortgas (in g/GJ stortgas) (Nottingham, 2002)

	Emissie per GJ stortgas (g/GJ)		Emissie per ton afval (kg/ton)	
	In 1990 gestort	In 2004 gestort	In 1990 gestort	In 2004 gestort
CH ₄	425	479	0,82	1,45
N ₂ O	1,1	0,9	0,002	0,003
Gewonnen stortgas	1,9	3,0		

Combinatie met de gewonnen hoeveelheden stortgas (zie onderste rij) geeft de resulterende procesgerelateerde emissies per ton afval (twee linker kolommen).

4.3.3 Uitgespaarde emissies door afzet van energie op basis van stortgas

Nuttige toepassing van stortgas leidt tot uitsparing van broeikasgasemissies door elektriciteitproductie en aardgasinzet. De berekening van de uitgespaarde emissies is weergegeven in Tabel 14.

Tabel 14 Bepaling uitgespaarde broeikasgasemissies door afzet energie uit stortgas (kg CO₂/ton afval)

	Gasmotor	Opwerken	Afzet als brandstof	Totaal
Rendementen	32%	98%	100%	
Inzet stortgas (GJ/ton)				
- afval gestort in 1990	0,88	0,25	0,13	
- afval gestort in 2004	1,30	0,37	0,19	
Geproduceerde energiedragers				
- afval gestort in 1990	0,28	0,25	0,13	
- afval gestort in 2004	0,42	0,36	0,19	
Specifieke CO ₂ -emissie	156	56	56	
Uitgespaarde emissies				
- afval gestort in 1990	44	14	7	64
- afval gestort in 2004	65	20	10	96

4.3.4 Koolstofopslag in de stort

Als aangegeven in paragraaf 4.2.2. wordt een deel van de organische koolstof in de stort niet afgebroken waardoor feitelijk sprake is van onttrekking van biologische koolstof aan de natuurlijke kringloop oftewel van CO₂-opslag.

Conform de methodiek gehanteerd voor het bepalen van het geproduceerde volume aan stortgas per ton afval wordt netto 42% van de organische koolstof niet omgezet. Het gehalte aan organische koolstof in afval gestort in 1990 en 2004 is geschat op 207 kg/ton afval. Rekening houdend met de verhouding in molmassa tussen CO₂ en koolstof vertaalt zich dit in opslag van respectievelijk 318 en 304 kg CO₂ per ton gestort afval.

4.3.5 Resulterende emissies per ton afval

Samenvoeging van de verschillende soorten emissies geeft de in Tabel 15 en Tabel 16 gegeven totalen.

Tabel 15 Totale emissies per ton afval (kg/ton) voor het in 1990 gestorte afval

	Handling afval	Emissies vanuit stort		Proces emissies	Uitgespaard door afzet energiedragers	CO ₂ -opslag	Som	
		Min.	Max.				Min.	Max.
CO ₂	5,1				-64,4	-318,1	-377	-377
CH ₄			56,5	0,8			1	57
N ₂ O				0,0022			0,0022	0,0022
CFK11		0,00066	0,013				0,00066	0,013
CFK12		0,0029	0,0043				0,0029	0,0043

Tabel 16 Totale emissies per ton afval (kg/ton) voor het in 2004 gestorte afval

	Handling afval	Emissies vanuit stort		Proces-emissies	Uitgespaard door afzet energiedragers	CO ₂ -opslag	Som	
		Min.	Max.				Min.	Max.
CO ₂	5,1				-95,6	-304,1	-395	-395
CH ₄			33,6	1,5			1	35
N ₂ O				0,0027			0,0027	0,0027
CFK11			0,000078					0,000078
CFK12			0,00024					0,00024

De totale emissies zijn in Tabel 17 en Tabel 18 omgerekend naar bijdragen aan klimaatverandering per ton gestort afval.

Tabel 17 Bijdrage aan klimaatverandering voor in 1990 gestort afval (in kg CO₂-eq/ton afval)

	Gesommeerde emissie (kg/ton)	Karakterisatiefactor (kg CO ₂ /kg emissie)	Bijdrage aan klimaatverandering (kg CO ₂ -eq/ton afval)
CO ₂	-377,5	1	-377
CH ₄	57,3	23	1.318
N ₂ O	0,0022	296	1
CFK11	0,00066 tot 0,013	4.600	3 tot 59
CFK12	0,0029 tot 0,0043	10.600	31 tot 46
Sommatie			975 tot 1.046

Tabel 18 Bijdrage aan klimaatverandering voor in 2004 gestort afval (in kg CO₂-eq/ton afval)

	Gesommeerde emissie (kg/ton)	Karakterisatiefactor (kg CO ₂ /kg emissie)	Bijdrage aan klimaatverandering (kg CO ₂ -eq/ton afval)
CO ₂	-394,6	1	-395
CH ₄	35,1	23	806
N ₂ O	0,0027	296	0,81
CFK11	0,000078	4.600	0,36
CFK12	0,00024	10.600	2,5
Sommatie			415

Zoals uit de vier bovenstaande tabellen blijkt wordt de netto bijdrage aan klimaatverandering voor verreweg het grootste deel bepaald door de directe emissies van methaan vanuit de stort en de opslag van organische koolstof in de stort. Emissies gerelateerd aan stortgasinzet of affakkelen en gerelateerd aan handling van het afval op de stortplaats zijn verwaarloosbaar.

De door nuttige toepassing van stortgas en uitsparing van aardgas en elektriciteit uitgespaarde CO₂-emissie is niet verwaarloosbaar, maar is ook niet significant en zou in een broeikasgasbalansmethodiek redelijkerwijs verwaarloosd kunnen worden. Enigszins cru kan worden gesteld dat vanuit het perspectief van klimaatverandering het niet echt relevant is wat er met het stortgas gebeurt, zolang het maar niet wordt geëmitteerd. Dit is ook logisch gezien de karakteristiekfactoren dan wel de specifieke bijdrage per kilo van methaan en CO₂ aan klimaatverandering. Vanwege de karakteristiekfactor van methaan van 23 kg CO₂/kg

wordt eventueel uitsparen van CO₂ door vervanging van aardgas of elektriciteit opgewekt op basis van fossiele energie min of meer een bonus. De emissies aan CFK in 2004 zijn verwaarloosbaar. De CFK-emissies in 1990 zijn onduidelijk.

Van deze emissies wordt als gezegd methaan vanuit de stortplaats in de NIR-analyse verdisconteerd. Dit zou eigenlijk ook moeten gelden voor de opslag van biologische koolstof in de stort. Dit zou consistent zijn met de voor sectoren als landbouw en bosbouw gehanteerde IPCC-methodiek (IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change), waarin wel rekening wordt gehouden met broeikasgas sinks.

4.4 Emissie totalen

Emissie van afval gestort in 1990 en 2004

De totale emissies gerelateerd aan de in 1990 en 2004 gestorte hoeveelheden afval volgen uit de emissies per ton afval en de in 1990 en 2004 gestorte hoeveelheden afval zoals opgegeven in Tabel 7. De resulterende totalen zijn gegeven in Tabel 19.

Tabel 19 Totale emissie CO₂-equivalenten storten in 1990 en 2004

	Hoeveelheid gestort afval in kton	Mton CO ₂ -eq storten
1990	12.006	11,7 - 13,0
2004	2.089	0,8

De broeikasgasemissies van storten zijn dus zeer sterk gedaald. De belangrijkste factoren voor deze daling zijn de sterke reductie in het stortvolume (factor 5) en de betere afvang van methaan uit de stort (factor 2,5).

Emissies vanuit stortplaatsen in 1990 en 2004

Emissies vanuit stortplaatsen in 1990 en 2004 zijn toe te schrijven aan het afval dat in de voorafgaande jaren is gestort. De netto-emissies uit de stortplaatsen in de zichtjaren 1990 en 2004 zijn geschat aan de hand van de informatie uit NIR (2005). Op basis van de resultaten van de bepaling van de specifieke bijdragen per ton afval is in deze schatting enkel rekening gehouden met emissies van methaan vanuit de stort en met opslag van organische koolstof in de stort.

Emissies van CFK's, procesgebonden emissies gerelateerd aan stortgas toepassing en afvalhandling en door afzet van energiedragers uitgespaarde CO₂-emissies zijn verwaarloosd.

De emissies van methaan zijn overgenomen uit NIR (2005). Door opslag van organische koolstof uitgespaarde CO₂-emissies zijn berekend op basis van de methaan emissies en aan de hand van de ook in de NIR gehanteerde 1^e orde benadering voor het berekenen van het geproduceerde stortgasvolume. Aangezien 58% van de organische koolstof wordt omgezet in stortgas en ongeveer 60% hiervan wordt omgezet in methaan (NIR, 2005) kan worden teruggerekend dat elke molecuul methaan correspondeert met 1,2 molecuul opgeslagen kool-

stof¹. In gewichtsverhoudingen uitgedrukt komt dit overeen met 1 kg CH₄ : 0,93 kg opgeslagen C of 3,4 kg CO₂/kg CH₄.

De in NIR (2005) gegeven CH₄-emissies en de daaruit berekende vermeden CO₂-emissie zijn gegeven in Tabel 20.

Tabel 20 Methaan emissies en uitgespaarde CO₂-emissies in kton van stortplaatsen in 1990 en 2004

	Emissies van stortplaatsen in 1990	Emissies van stortplaatsen in 2004
CH ₄ -emissie	572	323
Uitgespaarde CO ₂ -emissie	1.898	1.072
Totaal CO ₂ -equivalent	11.260	6.360

Vanwege de veel hogere karakteristiekfactor (23) van methaan is de invloed van de vermeden CO₂-emissie op de totale bijdrage aan klimaatverandering beperkt.

¹ Rekenkundig: (1 ÷ 60% ÷ 58%) geeft de oorspronkelijke hoeveelheid organische koolstof. Vermenigvuldiging met 42% (het niet omgezette deel) geeft het aantal mol opgeslagen koolstof.

5 Composteren

5.1 Inleiding

De volgende broeikasgasemissies treden op bij of worden vermeden door de activiteit composteren:

- 1 Energie en brandstofgebruik bij handling van het materiaal en het composteerproces.
- 2 Directe emissies uit het composteerproces.
- 3 Emissies van inzet van de compost.
- 4 Uitgespaarde emissies als gevolg van de inzet van compost (veenvervanging, vervanging kunstmest).
- 5 Opslag koolstof (zie ook contra-expertise MER-LAP).

Bij bestudering van de verschillende als achtergronddocument gebruikte LCA's valt op dat de verschillende toepassingen van de geproduceerde compost in verschillende bedrijfssectoren (akkerbouw, tuinbouw, etc.) uiteenlopende bijdragen aan klimaatverandering en andere vormen van milieubelasting geven. De reden is dat in de verschillende toepassingen dan wel sectoren verschillende producten (kunstmest, veen) worden uitgespaard.

Om die reden lijkt het logischer om een netto bijdrage per ton compost per sector dan wel toepassing te bepalen. En aangezien de WAR ook de afzet van de geproduceerde compost volgt, is monitoring ook in dit opzicht op zich geen probleem.

5.2 Methodologische aspecten

5.2.1 Referenties en afbakening systeem

De enige in NIR aan de sector toegerekende bijdragen bestaan uit de emissies van methaan en lachgas vanuit het composteerproces zelf. Daarnaast ontstaan bij groencompostering CO₂-emissies door gebruik van diesel in mobiele werktuigen. In de NIR wordt overigens geen rekening gehouden met compostering van groenafval en wordt enkel GFT-compostering beschouwd. Door de BVOR wordt wel een grote hoeveelheid groenafval gecomposteerd. Voor het bepalen van de broeikasgasemissies van de composteringssector is het derhalve relevant om deze stroom in de analyse mee te nemen.

De in de inleiding genoemde bijdragen aan de broeikasgasemissie van composteren zijn grotendeels meegenomen in de LCA's voor composteren van groenafval en GFT-afval uitgevoerd in het kader van de MER voor het LAP 2002 - 2012 (AOO, 2002a), (AOO, 2002b) en de daaraan contra-expertises (Grontmij, 2004), (Grontmij, 2005), maar worden in de NIR toegerekend aan andere sectoren.

In deze studies ontbreekt echter nog wel de indirecte emissies van lachgas door nitrificatie/denitrificatie van als gevolg van compost gebruik geëmitteerde ammoniak en nitraat. Hoewel de bronnen grote verschillen in de emissies geven, zullen wij deze emissies wel meenemen. Het blijkt overigens dat de bijdrage aan het totaal gering is.

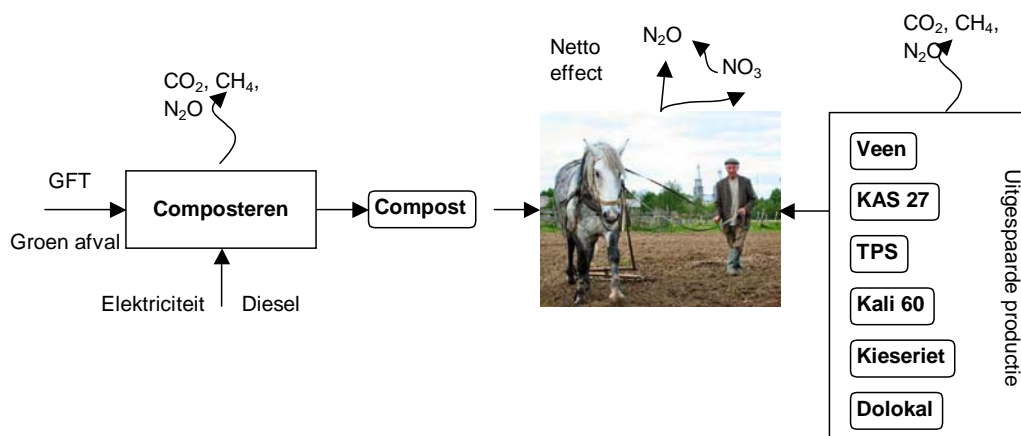
Aan de andere kant worden in de eerdergenoemde vier LCA's ook broeikasgasemissies ten gevolge van storten of verbranden van de uitval van het composteerproces meegenomen. Deze emissies worden in deze studie echter al verdisconteerd onder de betreffende technieken. Om dubbeltelling te voorkomen zijn ze hier niet beschouwd.

In de eerdergenoemde LCA's wordt ook transport naar en van de composteerinstallaties meegenomen. Dit laten we buiten beschouwing.

Vervanging van dierlijke mest door compost zullen we niet beschouwen. In beschouwde LCA's wordt echter uitgegaan van vervanging van kunstmest én dierlijke mest in een (qua nutriënten) verhouding van 1 : 1. In Grontmij (2004) wordt opgemerkt dat vervanging van dierlijke mest door compost niet leidt tot verandering in de afzet van dierlijke mest. Dat is ook logisch omdat de dierlijke mest min of meer een restproduct is, dat verwijderd moet worden. Het zal daarom altijd worden afgezet of verwerkt. Dierlijke mest is in de akkerbouw (net als compost) een goedkope vervanger van kunstmest en primaire bronnen van humusachtige materie. Een tekort aan dierlijke mest zal - bij eventueel gebrek aan andere bijproducten - worden opgevangen door deze primaire producten. Derhalve gaan we uit van 100% kunstmest vervanging.

Aan het gebruik van compost worden positieve eigenschappen toegedicht, zoals vermindering van het gebruik van bestrijdingsmiddelen vanwege de ziekteverwendheid van compost. Het is echter onbekend hoe groot deze effecten zijn. Derhalve zijn ze buiten beschouwing gelaten.

Samenvattend ziet het door ons voorgestelde systeem er als volgt uit:



5.2.2 Verschillen met bestudeerde methodieken en studies

In Tabel 21 is aangegeven op welke punten de voorgestelde methodiek qua systeem afbakening afwijkt van de beschouwde LCA's en de NIR.

Tabel 21 Vergelijking uitgangspunten uitgevoerde LCA's, NIR en deze studie

	LCA's	NIR	Deze studie
Functionele eenheid	Ton GFT-afval, groenafval	Ton GFT	Ton compost uit GFT-afval of groenafval.
Uitgebreidheid systeem	<ul style="list-style-type: none">- In principe complete LCA.- Incl. verwerking uitval compostering en transporten.- Echter exclusief indirecte N₂O-emissies uit NO₃-uitspoeling.	Enkel GFT-afval compostering zelf. Geen groenafval compostering.	<ul style="list-style-type: none">- In principe complete LCA.- Geen verwerking uitval compostering en transporten.- Inclusief indirecte N₂O-emissies uit NO₃-uitspoeling.
Beschouwde bijdragen	Directe en indirecte bijdragen.	Enkel directe, procesgerelateerde bijdragen.	Directe en indirecte bijdragen.
Vervangen primaire producten	Veen, kunstmest, dierlijke mest.	N.v.t.	Veen, kunstmest.

5.3 Bepaling specifieke emissies

5.3.1 Energie en brandstofgebruik compostering

Voor het brandstofgebruik van mobiele werktuigen bij groenafval compostering gaan we uit van de cijfers uit Groenafval (AOO, 2002b). We combineren dit met een specifieke emissie van 85 kg CO₂-eq/GJ in plaats van 73,5. In deze 85 kg CO₂-eq/GJ zijn ook broeikasgasemissies van de winning en raffinage van olie verdisconteerd.

Voor het elektriciteitsgebruik bij GFT-compostering geven de beschouwde LCA's een uniforme waarde van 29 kWh_e/ton GFT. Deze combineren we met de specifieke CO₂-emissie van 102 kg/GJ. Dit wordt ook gebruikt om de bij storten en verbranden in een AVI geproduceerde elektriciteit te waarderen.

Voor het elektriciteitsgebruik van groenafval compostering wordt uitgegaan van de in de MER-LAP gehanteerde 11 kWh_e/ton groenafval.

5.3.2 Emissies composteerproces

In de LCA voor GFT-afval uitgevoerd in het kader van het MER van het LAP 2002 – 2012 (AOO, 2002a) en de contra-expertises (Grontmij, 2004), (Grontmij, 2005) worden voor de emissies van methaan en lachgas vanuit het composteerproces van verschillende emissiefactoren uitgegaan. De gemeten waarden uit 1996 (2.400 g CH₄/ton GFT-input) zijn weliswaar maar van één installatie (halcompostering CAW) maar zijn op een methodisch juiste wijze verkregen (DHV, 1999). Deze waarde wordt in het MER-LAP gebruikt. De installatie van

CAW is na de metingen aangepast waardoor de emissies van methaan momenteel wellicht lager zijn dan de waarden uit 1996. De cijfers die door Grontmij worden genoemd, komen waarschijnlijk meer in de buurt van de emissies van de huidige composteerinstallaties (ook Duitse referenties wijzen in die richting), maar op de methodische correctheid van de metingen valt nog wel wat af te dingen (bij drie type installaties zijn op één dag metingen gedaan, met uiteenlopende resultaten: 81, 168 en 451 g CH₄/ton GFT). Om het dilemma van welke waarden nu gebruikt zouden moeten worden weg te nemen, zou een nieuwe methodologisch juiste metingenserie uitgevoerd moeten worden of zouden studies uit het buitenland uitsluitend moeten geven. Bij dit laatste moet dan wel aangetoond worden dat emissieniveaus van deze installaties vergelijkbaar zullen zijn met die van de Nederlandse installaties. Met de momenteel beschikbare meetgegevens zullen we derhalve een brede range te hanteren. Die loopt dan van 81 g CH₄ tot 2.400 g CH₄. In de range hanteren we dus de hoge waarde gevonden bij het CAW.

De emissies van lachgas vanuit het composteerproces liggen bij de verschillende metingen veel dicht bij elkaar, tussen de 72 en 160 g N₂O/ton GFT. De meting bij CAW in 1996 (96 g N₂O/ton) ligt tussen deze twee uitersten in. In de berekeningen zullen we deze range hanteren.

Voor compostering van groenafval worden in de MER-LAP-analyse geen emissiefactoren gehanteerd. Maar zoals in Grontmij, (2005) wordt opgemerkt is het niet ondenkbaar dat de emissies van methaan en lachgas bij groenafval compostering hoger zijn dan bij GFT-compostering vanwege het vaak ontbreken van actieve beluchting. Vanwege die onduidelijkheid gaan we uit van dezelfde emissiefactoren voor groenafval- en GFT-compostering.

5.3.3 Compost toepassing en uitsparing van veen en kunstmest

Kunstmest vervanging door GFT-compost

Bij vervanging kunstmest door compost wordt de samenstelling van de compost en de opbrengst aan compost per ton GFT-afval aangehouden uit de MER's van Grontmij. Deze uitgangspunten zijn gebaseerd op recente praktijkcijfers en gegevens verzameld in het kader van de WAR.

Ook het in deze studies aangehouden percentage voor mineralisatie en opname door gewassen van stikstof uit compost van 60% lijkt ons reëel. Dit percentage wordt bijvoorbeeld ook aangehouden voor gebonden stikstof in de niet makkelijk afbreekbare organische fractie van dierlijke mest (Schröder, 2004). Een percentage van 25%, zoals aangehouden in de MER-LAP-LCA lijkt ons te laag.

Wel hanteren we voor de schatting van lachgasemissies een iets andere en completere benadering, conform Schröder (2004) en Velthof (2000). In deze benadering wordt uitgegaan van omzetting van 0,5% van de stikstof in moeilijk afbreekbaar organisch materiaal in N₂O.

De lachgasemissie wordt deels gecompenseerd door uitsparing van lachgasemissies door omzetting van kunstmest-N. Er wordt echter aangenomen dat hiervan slechts 1,25% wordt omgezet (Kroeze, 1994).

Er is daarnaast verdisconteerd dat naar schatting 30% van de niet door gewassen opgenomen stikstof uit de compost uitspoelt als nitraat (Velthof, 2000). Het nitraat wordt voor 2,5% omgezet in lachgas door nitrificatie/denitrificatie (Kroeze, 1994).

Dit effect speelt nauwelijks bij kunstmest, omdat de stikstof in de kunstmest direct opneembaar is voor gewassen en in de regel tijdens het groeiseizoen wordt toegediend en dus door de gewassen wordt opgenomen.

Samenvattend is de netto emissie van lachgas door omzetting van stikstof uit compost ($3,77 \text{ kg N/ton GFT-afval} \times ((0,5\% - 1,25\%) + (40\% \times 30\% \times 2,5\%))$) = -0,044 + 0,016 kg N₂O/ton GFT.

Er zal daarnaast in de praktijk mogelijk sprake zijn van een bemestingsoverschot waarbij een deel van de kunstmeststikstof als nitraat afspoelt en indirect wordt omgezet in lachgas. Dit is echter een dusdanig bedrijfsvoering-, gewas- en locatiegerelateerd gegeven dat hiervoor geen redelijke schatting te geven is. Het overschot zal met de van kracht wordende nitraat richtlijn overigens ook zoveel mogelijk beperkt worden.

Evenals in de door Grontmij uitgevoerde LCA's zal worden verdisconteerd dat 10% van de koolstof in de compost wordt opgeslagen in de bodem.

Veenvervanging door GFT-compost

Wat betreft veenvervanging door GFT-compost is er geen verschil tussen de verschillende beschouwde LCA's. Daarom zijn de methodiek en resultaten uit deze studies overgenomen.

We plaatsen nog wel enkele kanttekeningen bij de in de LCA's gehanteerde methodiek:

- het is niet duidelijk waarom er bij inzet van veen voor grondverbetering geen koolstof in de bodem zou kunnen worden opgeslagen;
- het is onduidelijk waarom bij toepassing in de glastuinbouw geen rekening wordt gehouden met de in veen aanwezige nutriënten.

Afzet en toepassing van GFT-compost

Er is een groot verschil in aannames met betrekking tot afzet en toepassing van GFT-compost tussen de in het kader van het MER-LAP uitgevoerde LCA en de beide door Grontmij uitgevoerde LCA's. Het voert in deze scan te ver om na te gaan wat de praktijksituatie is en welke aanname de meest reële is. Gezien het feit dat de in de Grontmij LCA's gehanteerde aannames gebaseerd zijn op recente WAR-gegevens zullen we deze hanteren.

Afzet en toepassing groenafval compost

Voor compost uit groenafval wordt uitgegaan van dezelfde afzet als voor GFT-compost. Daarbij wordt veen vervangen in de verhouding 1 ton compost : 830 kg veen. Voor de vervanging van kunstmest is gecorrigeerd voor het verschil in nutriëntenconcentraties in compost uit groenafval in vergelijking met GFT-compost. In de in het kader van de MER-LAP uitgevoerde LCA zijn de onderstaande verhoudingen gegeven.

Tabel 22 Vervangingswaarden nutriënten kunstmest vs. compost (vervangingswaarde in kg nutriënt/ton GFT-afval of groenafval)

	Vervangingswaarde GFT-compost	Verhouding nutriënten in groenafval compost : GFT-compost	Vervangingswaarde groenafval compost
KAS	7,2	0,4	2,88
TSP	4	1,1	4,4
Kali 60	3,7	0,9	3,33
Kieseriet	1,6	1,5	2,4
Dolocal	10,8	0,75	8,1

Er is evenals voor GFT-compost uitgegaan van opslag van koolstof in de bodem bij toepassing van groencompost. Op basis van een organisch stofgehalte in compost uit groenafval van 20%, een compost opbrengst van 580 kg/ton groenafval en een conform de IPCC-methode aangehouden koolstofgehalte in organische stof van 50% is geschat dat bij opslag van 10% van de koolstof uit de compost er per ton groenafval een CO₂-emissie van circa 21 kg wordt uitgespaard.

5.3.4 Resulterende emissies per ton

Samenvoeging van de emissies geeft de in Tabel 23 en Tabel 24 opgenomen overzichten voor GFT-compostering en groenafvalcompostering.

De CO₂-kentallen voor GFT-compost en groencompost verschillen nogal van elkaar. Dit is vooral toe te schrijven aan de geringere hoeveelheid nutriënten in groencompost.

Tabel 23 Emissies composteren GFT-afval

	Hoeveelheid per product/stof		Hoeveelheid in kg CO ₂ -equivalent	
	Lage waarde	Hoge waarde	Lage waarde	Hoge waarde
Hoeveelheid compost in kg/ton GFT		400		
Direct				
CH ₄ (kg/ton)	0,081	2,4	1,9	55,2
N ₂ O (kg/ton)	0,072	0,16	21,3	47,4
Indirect, emissies bij gebruik compost		Gebruikte waarde		
N ₂ O af akker		-0,044		-13,1
N ₂ O van NO ₃ -uitspoeling		Niet beschouwd		
N ₂ O van NH ₃ -emissies		0,016.		4,8
Indirect, bedrijfsmiddelen gerelateerd				
Elektriciteit (kWh)		28		15,7
Diesel (GJ)		0,01		0,5
Uitgespaard				
Veen (kg)		73		-40,2
Kunstmest (kg)				
a) KAS 27		7,2		-49,0
b) TPS		4		-7,8
c) Kali 60		3,7		-0,5
Koolstofvastlegging (kg)		10%		-24,2
Totaal per ton GFT			-90,7	-11,3

Tabel 24 Emissies composteren groenafval

	Hoeveelheid per product/stof		Hoeveelheid in kg CO ₂ -equivalent	
	Lage waarde	Hoge waarde	Lage waarde	Hoge waarde
Hoeveelheid compost in kg/ton groenafval		400		
Direct				
CH ₄ (kg/ton)	0,081	2,4	1,9	55,2
N ₂ O (kg/ton)	0,072	0,16	21,3	47,4
Indirect, emissies bij gebruik compost		Gebruikte waarde		
N ₂ O af akker		-0,018		-5,3
N ₂ O van NO ₃ uitspoeling		Niet beschouwd		
N ₂ O van NH ₃ -emissies		Nvt.		
Indirect, bedrijfsmiddelen gerelateerd				
Elektriciteit (kWh)		10,4		3,8
Diesel (GJ)		0,04		3,4
Uitgespaard				
Veen (kg)		73		-40,2
Kunstmest (kg)				
a) KAS 27		2,9		-19,6
b) TPS		4,4		-8,6
c) Kali 60		3,3		-0,5
Koolstofvastlegging (kg)		10%		-21,4
Totaal per ton groenafval			-65,2	14,2

De kentallen voor GFT- en groenafval verschillen nogal van elkaar. Dit komt door de geringere hoeveelheid nutriënten in groencompost, waardoor minder kunstmest wordt uitgespaard.

De belangrijkste emissies van het composteren zijn de emissies van lachgas en mogelijk van methaan bij het composteerproces. De bijdrage van deze emissies is echter erg onzeker waardoor een brede range ontstaat in de uitkomst van de totale broeikasgasemissie van het composteren. De veen- en kunstmestvervanging alsmede de koolstofvastlegging door het gebruik van de compost maken composteren een gunstige activiteit voor vermindering van het broeikas-effect. Het mingetal duidt hierop.

5.3.5 Emissies van gecomposteerd afval in 1990 en 2004

De range van de CO₂-emissie voor GFT-compostering is dus -11,3 tot -90,7 kg CO₂-equivalent per ton GFT-afval en voor compostering van groenafval +14,2 tot -65,2 kg CO₂-equivalent per ton groenafval. Daarmee kan dan de totale CO₂-emissie van composteren in 1990 en 2004 worden berekend. Dit is in Tabel 25 opgenomen.

Tabel 25 Totale CO₂-emissie composteren in 1990 en 2004

	Hoeveelheid gecomposteerd GFT-afval in kton	Hoeveelheid gecomposteerd groenafval in kton	kton CO ₂ -eq GFT- compostering	kton CO ₂ -eq Groenafval compostering	kton CO ₂ -eq composter totaal
1990	280	150	-3,2 tot -25,4	+2,1 tot -9,8	-1,1 tot -35,2
2004	1.713	1.600	-19,4 tot -155,4	+22,7 tot -104,3	+3,3 tot -260

Bij de gemeten lage waarden van de methaanemissie bij het composteerproces is de vermeden CO₂-emissie als gevolg van composteren van GFT-afval en groenafval is van 1990 tot 2004 gestegen van 35 kton tot 260 kton CO₂-equivalent. Omdat de gemeten hoge waarden van de methaanemissie bij het CAW in 1996 het minst waarschijnlijk zijn, is het zeer waarschijnlijk dat composteren uiteindelijk een CO₂-voordeel heeft.

6 Verbranden in een AVI

6.1 Inleiding

De volgende broeikasgasemissies treden op bij of zijn vermeden door verbranden van afval in een afvalverbrandingsinstallatie:

- 1 Directe emissies van CO₂ door verbranding van afval met koolstof van fossiele oorsprong (kunststoffen).
- 2 Indirecte emissies gerelateerd aan productie van de bij reiniging van de rookgassen gebruikte chemicaliën.
- 3 Uitgespaarde emissies door afzet van elektriciteit, warmte, metalen en bodemas.

Allereerst wordt basisinformatie gepresenteerd over het bestaande AVI-park. Daarna worden de broeikasgasemissies bepaald.

6.2 Basisinformatie

6.2.1 Het huidige en toenmalige AVI-park

In Tabel 26 en Tabel 27 is een overzicht gegeven van de in 1990 en 2004 operationele AVI's. Er is aangegeven welke hoeveelheden afval zijn verwerkt, hoeveel warmte en elektriciteit is afgezet en – voor zover bekend – hoeveel reststoffen zijn geproduceerd en afgezet.

Tabel 26 Gegevens voor het AVI-park anno 1990 (KEMA, 1993; WAR, 1993)

	Verbrand in 1990 in kton	Elektriciteitsproductie netto GWh _e /jr	Elektriciteitsproductie bruto GWh _e /jr	Warmteproductie GWh _{th} /jaar
Totaal	2.943	773,8	918	895

Tabel 27 Gegevens voor het AVI-park anno 2004 (WAR, 2005; VA, 2005)

	Verbrand in 2004 in kton	Elektriciteitsproductie 2004 netto GWh _e /jr	Elektriciteitsproductie 2004 bruto GWh _e /jr	Warmteproductie 2004 GWh _{th} /jr
Totaal	5.363	2.513	3.064	979

Geproduceerde reststoffen in 2004 van het AVI-park (VA, 2005):

- 1.200 kton bodemas;
- 48 kton vliegias;
- 126 kton ferro-metalen;
- 10,6 kton non-ferro-metalen.

Op basis van het 'Uitwerkingsrapport capaciteit verbranden' (AOO, 2002d) is verder bekend dat van het huidige AVI-park:

- circa 60% is uitgerust met een SCR, 40% met een SNCR;
- circa 90% is uitgerust met injectie van actieve kool;
- circa 40% een natte rookgasreiniging zonder sproeidroger heeft en bij 60% het waswater wordt ingedampt.

Deze gegevens worden gebruikt om het gebruik van chemicaliën en aardgas te bepalen. Voor 1990 zijn deze gegevens niet direct beschikbaar. Een aantal AVI's (Roteb, GEB-ZHW) was toen uitgerust met een beperkte rookgasreiniging. ARN en AVIRA beschikten toen reeds over een meer uitgebreide rookgasreiniging, maar er is onvoldoende informatie om te kunnen inschatten hoeveel chemicaliën in die tijd werden gebruikt. Voor 1990 is ook niet goed bekend hoeveel bodemas, vliegias en metalen werden afgescheiden en afgezet voor hergebruik.

6.2.2 Fossiele koolstof in verbrande afval

Zoals reeds in het hoofdstuk storten en bijlage B is gemeld, is er een grote onduidelijkheid over het biogene en fossiele koolstofgehalte van het afval. De berekening van het fossiele koolstofgehalte van het in 1990 en 2004 verbrande afval kan met behulp van de afval samenstelling tabel in bijlage B eenvoudig worden uitgerekend. De berekening leidt tot een hoeveelheid fossiele koolstof van 193 kton van het in 1990 verbrande afval en tot 560 kton van het in 2004 verbrande afval. De NIR statistieken geven dezelfde hoeveelheden (NIR, 2005). Door deze cijfers met 44/12 (zijnde de mol-gewichten van CO₂ en C) te vermenigvuldigen krijgt men de emissie van CO₂ van fossiele oorsprong. Op dezelfde wijze zijn ook de emissies van CO₂ van biogene oorsprong te berekenen. Deze biogene emissies tellen niet mee voor het broeikas-effect, maar geven wel een indicatie van de verhouding tussen de fossiele en biogene CO₂-emissies. In Tabel 28 zijn de beide CO₂-emissies voor 1990 en 2004 opgenomen. In de laatste twee kolommen is de hoeveelheid fossiele en biogene koolstof opgenomen zoals in dit rapport berekend. Tussen haakjes is daarbij de hoeveelheid koolstof opgenomen die in het NIR-rapport 2005 (tabel 8.12) staat vermeld.

Tabel 28 Directe fossiele en biogene CO₂-emissies van verbranden van afval in AVI's in Nederland

	Fossiele CO ₂ -emissie ton CO ₂ / ton	Biogene CO ₂ -emissie ton CO ₂ / ton	Fossiele + biogene CO ₂ -emissie ton CO ₂ / ton afval	Fossiele C in kton	Biogene C in kton
1990	0,24	0,70	0,94	193 (162)	559 (477)
2004	0,38	0,68	1,06	560 (530)	988 (924)

De NIR-cijfers zijn iets lager dan de in dit rapport berekende waarden.

In 1990 was de verhouding biogeen/fossiel 2,9 en in 2004 was dit 1,8. Dit is toe te schrijven aan de toename van de hoeveelheid kunststof in het te verbranden afval.

Opgemerkt moet worden dat de verhouding $C_{\text{biogeen}} : C_{\text{fossiel}}$ sterk afwijkt van de in de MEP aangehouden verhouding tussen de bijdrage van elektriciteit productie uit het biogene afval en de bijdrage van elektriciteit productie uit het fossiele afval aan de totale elektriciteitproductie. In de MEP wordt uitgegaan van een biogene bijdrage van 45%. Dit verschil hangt samen met de voor biogeen afval en fossiel afval aangehouden stookwaarden. Mogelijk wordt de stookwaarde voor het biogene materiaal te laag ingeschat omdat meer vocht aan dit materiaal wordt toegerekend dan reëel is.

6.3 Broeikasgasemissies verbranden in 1990 en 2004

Op basis van de chemische samenstelling en de gegevens uit de tabellen en zijn de in Tabel 29 gegeven hoeveelheden van de aan verbranding in een AVI-gerelateerde CO₂-emissies en afgezette hoeveelheden energie en herbruikbare restproducten geschat – of overgenomen. Er is geen rekening gehouden met eventuele CH₄-emissies en N₂O-emissies. Over eventuele CH₄-emissies bestaat nog teveel onzekerheid om deze mee te kunnen nemen. N₂O-emissies van SCR's zijn relatief verwaarloosbaar en worden overigens ook niet geregistreerd. Voor de rookgasreiniging worden nog verschillende chemicaliën ingezet, zoals NaOH, CaO, NH₃, AK en ook aardgas (voor de SCR). In de analyse behoren de broeikasgasemissies van de productie van deze gebruikte chemicaliën meegenomen te worden. Een globale berekening van de bijdrage van deze broeikasgasemissies geeft aan dat deze bijdrage ongeveer 5% van de directe CO₂-emissie van verbranden zijn. De door afzet van bodemas vermeden broeikasgasemissies zijn verwaarloosbaar.

Tabel 29 Data van verbranding in een AVI

		1990	2004
Direct			
	CO ₂ fossiel (kton)	707	2.054
Indirect			
	CO ₂ -emissie van gebruikte NaOH, CaO, NH ₃ , AK, aardgas (ca 5% van directe emissie)	35	103
Vermeden			
	Elektriciteit (GWh _e)	774	3.008
	Warmte (GWh _{th})	895	979
	IJzer/staal (kton)		126
	Non-ferro (kton)		11

Hieruit zijn de in Tabel 30 directe en indirecte broeikasgasemissies berekend. Voor de vermeden emissies wordt gerekend met een broeikasgasemissie van het Nederlandse elektriciteitspark van 0,56 kg CO₂/kWh (zie paragraaf 3.3). Door de geproduceerde warmte wordt aardgas uitgespaard dat een specifieke emissie heeft van 56 kg CO₂/GJ. De uitgespaarde staal en non-ferro komt door de afscheiding van deze metalen uit het bodemas van de AVI. Deze afgescheiden staal en aluminium vervangen een even grote hoeveelheid primaire productie van deze metalen. De vermeden emissies als gevolg van de terugwinning van

staal en aluminium zijn wellicht nog iets gunstiger dan hier is berekend. Hier is uitgegaan van de database van Simapro (zie bijlage C). De databases van de staal- en aluminiumindustrie geven iets hogere (10%-20%) CO₂-emissies van de primaire productie.

Tabel 30 Overzicht directe en indirecte broeikasgasemissies van verbranding in kton CO₂-equivalent

		1990 kton CO ₂	1990 kg CO ₂ /ton	2004 kton CO ₂	2004 kg CO ₂ /ton
Direct					
	CO ₂ (kton)	707	240	2.054	383
Indirect					
	Gebruikte NaOH, CaO, NH ₃ , AK, aardgas circa 5% van directe CO ₂ -emissie	Verwaarloosd i.v.m. de toen nog beperkte rookgasreiniging		103	19
Subtotal direct + indirect		707	240	2157	402
Vermeden					
	Eelektriciteit	-433	-147	-1.407	-262
	Warmte	-180	-61	-197	-37
	IJzer/staal			-205	-38
	Non-ferro			-126	-23
		-614	-209	-1.936	-364
		93	32	220	41

De (in)directe en vermeden emissies zijn van dezelfde orde grootte en vallen grotendeels tegen elkaar weg. In de NIR-overzichten worden enkel de directe emissies meegenomen en vermeden emissies komen ten gunste van andere branches.

6.4 Emissie totalen

De totale emissies van het verbranden van het afval in 1990 en 2004 in AVI's is in Tabel 31 opgenomen.

Tabel 31 Totale emissie CO₂-equivalenten verbranden in 1990 en 2004

	Hoeveelheid verbrand afval in kton	Kton CO ₂ -eq. verbranden
1990	2.943	93
2004	5.362	220

Uit de tabel blijkt bijna een verdubbeling van de verbrande hoeveelheid afval sinds 1990 in 2004. Op zichzelf heeft dit een autonome toename van de CO₂-emissie veroorzaakt. Deze is verreweg teniet gedaan als gevolg van een grotere energieproductie per ton verbrand afval en dat is weer een gevolg van de verbeterde rendementen van de installaties. Schaalgrootte speelt hier eveneens een rol.

De totale CO₂-emissie van verbranden is laag en is ondanks de verdubbeling van de hoeveelheid verbrand afval slechts licht toegenomen.

Het totaalbeeld wordt echter vertroebeld doordat het een optelsom is van (in)directe emissies en vermeden emissies. De (in)directe emissies zijn gestegen doordat de hoeveelheid kunststof in het afval is toegenomen. De vermeden emissies zijn net iets minder toegenomen door toename van het elektrisch en thermisch rendement van de AVI's en terugwinning van staal en aluminium.

7 Aggregatie en overzicht

In dit hoofdstuk worden de resultaten uit de vorige hoofdstukken samengevoegd tot het overzicht van de totale CO₂-emissie van de afvalverwerking in Nederland. Vervolgens worden conclusies geformuleerd.

7.1 Broeikasgasemissies in 1990 en 2005

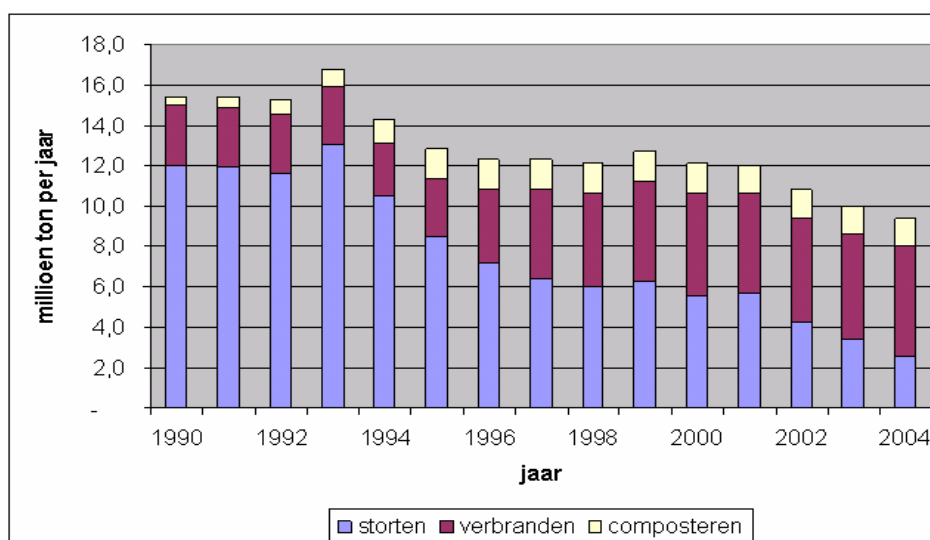
Onderscheid wordt gemaakt tussen broeikasgasemissies van in 1990 en 2004 gestort afval en emissies in 1990 en 2004 van in dat jaar en voorgaande jaren gestort afval. Immers gestort afval geeft nog vele jaren emissies van methaan. Allereerst worden de totale broeikasgasemissies van de afvalverwerking in Nederland gegeven van in 1990 en 2004 gestort afval en vervolgens de emissies in 1990 en 2004 van verwerkt afval in Nederland. In Tabel 35 wordt het aandeel van de broeikasgasemissies van de afvalverwerking in Nederland gegeven ten opzichte van de totale broeikasgasemissies in Nederland in 1990 en 2004. Na de tabellen worden de resultaten toegelicht.

Ten behoeve van het overzicht wordt allereerst de tabel met de verwerkte hoeveelheden afval in 1990 en 2004 uit hoofdstuk 2 herhaald. De ontwikkeling is grafisch weergegeven in Figuur 5.

Tabel 32 Overzicht verwerkte hoeveelheden in kton

	Storten	Composteren	AVI	Totaal
1990	12.006	430	2.943	15.379
2004	2.089	3.313	5.362	10.764

Figuur 5 Ontwikkeling hoeveelheid in Nederland verwerkt afval



Tabel 33 Broeikasgasemissies van in 1990 en 2004 verwerkt afval

	Storten kton CO ₂ -eq	Composteren kton CO ₂ -eq	Verbranden kton CO ₂ -eq	Totaal afvalverwerking NL Mton CO ₂ -eq
1990	11.700 tot 13.000	-1 tot -35	93	11,8 tot 13,1
2004	800	+3 tot -260	220	1,0 tot 0,8

Tabel 34 Broeikasgasemissies van afval in 1990 en 2004

	Storten kton CO ₂ -eq	Composteren kton CO ₂ -eq	Verbranden kton CO ₂ -eq	Totaal afvalverwerking NL Mton CO ₂ -eq
1990	11.260	-1 tot -35	93	11,4 tot 11,3
2004	6.360	+3 tot -260	220	6,6 tot 6,3

Tabel 35 Aandeel broeikasgasemissies afval in Nederland

	Totaal NL volgens NIR, 2005 in Mton CO ₂ -eq	In 1990 en 2004 verwerkt afval Mton CO ₂ -eq	In 1990 en 2004 verwerkt afval aandeel tov NL	Uit afval in 1990 en 2004 Aandeel t.o.v. NL
1990	212	11,8 tot 13,1	5,6% tot 6,2%	5,4%
2004	215	0,8 tot 1,0	0,4% tot 0,5%	2,9%

In Tabel 36 zijn de emissies per ton verwerkt afval per techniek en voor de totale afvalverwerking in Nederland opgenomen. Onderscheid wordt gemaakt tussen directe emissies en vermeden emissies. In Tabel 37 is dit onderscheid gemaakt voor de totale CO₂-emissie per techniek.

Uit beide tabellen komt duidelijk naar voren dat storten in 1990 zorgde voor verreweg het grootste deel van de broeikasgasemissies van de afvalverwerking in Nederland. Van 1990 tot 2004 is de broeikasgasemissie van het storten echter sterk afgenomen door:

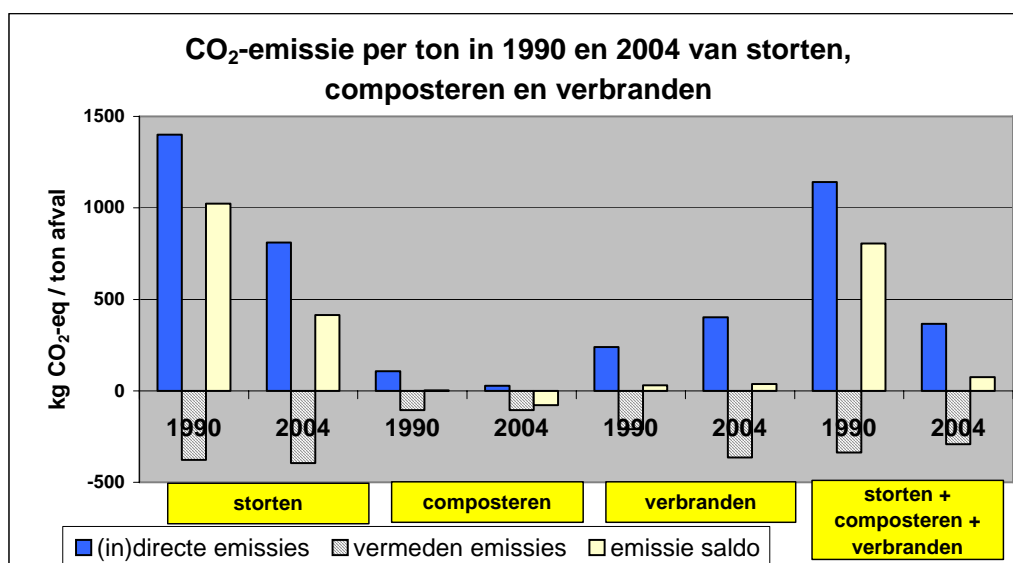
- verbeterde afvang van methaan. Daardoor is de emissie van methaan per ton gestort materiaal van 1990 tot 2004 sterk gedaald;
- sterke reductie van het stortvolume;
- afname van het GFT-afval in het gestorte afval.

Bij verbranden is de emissie van CO₂ als gevolg van de toename van het kunststofgehalte van 1990 tot 2004 bijna verdubbeld. Echter de vermeden emissie van CO₂ is ook ongeveer verdubbeld door sterke toename van de hoeveelheid opgewekte elektriciteit. Over de CO₂-emissies van composteren is onduidelijkheid. De beide getallen per matrixcel voor de directe emissies geven deze onduidelijkheid aan. Door verbeteringen in het composteerproces in de jaren 90 is de emissie van methaan naar alle waarschijnlijkheid gedaald. Dit impliceert dat het hoogste cijfer voor de directe emissie hoogst waarschijnlijk meer van toepassing is voor 1990 en het laagste cijfer voor 2004. Bij de sommatie in de laatste kolom in Tabel 36 en Tabel 37 is hiervan uitgegaan.

Tabel 36 CO₂-emissies (in CO₂-eq.) per ton van de drie technieken en voor de gehele afvalverwerking in Nederland in 1990 en 2004

	Directe/ indirecte emissie van CO ₂	Storten kg CO ₂ /ton	Composteren GFT kg CO ₂ /ton	Composteren Groenafval kg CO ₂ /ton	Verbranden kg CO ₂ /ton	In NL verwerkte afval kg CO ₂ /ton
1990	Directe	1.353 tot 1.424	31 tot 110	25 tot 105	240	
	Vermeden	377	122	90	209	
	Som	975 tot 1.046	-91 tot -11	-65 tot +15	+32	826
2004	Directe	810	31 tot 110	25 tot 105	402	
	Vermeden	395	122	90	364	
	som	415	-91 tot -11	-65 tot +15	41	74

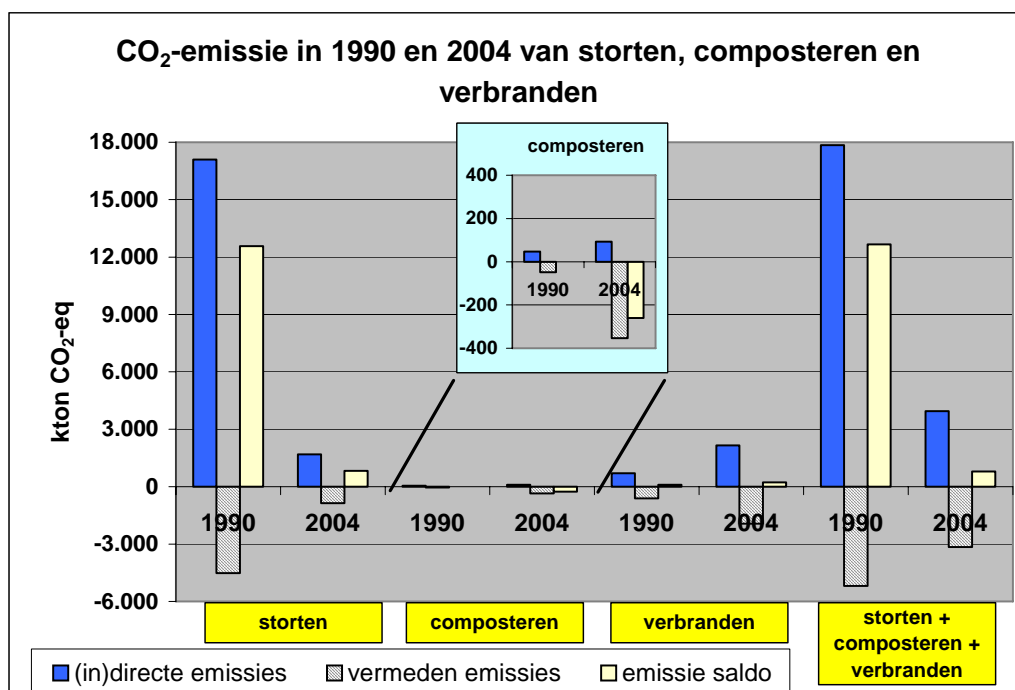
Figuur 6 CO₂-emissie per ton in 1990 en 2004 van storten, composteren en verbranden



Tabel 37 Totale CO₂-emissie (in CO₂-eq.) in kton van de drie technieken en voor de gehele afvalverwerking in Nederland in 1990 en 2004

	Directe/ indirecte emissie van CO ₂	Storten	Composteren GFT-afval + groen- afval	Verbranden	In NL verwerkte afval
1990	Directe	17.096	47	707	17.850
	Vermeden	-4.526	-48	-614	-5.188
	Som				12.662
2004	Directe	1.692	93	2.157	3.942
	Vermeden	-867	-353	-1.936	3.156
	som				786

Figuur 7 Totale aan afvalverwerking gerelateerde jaarvrucht van broeikasgassen (in kton CO₂-equivalenten) in 1990 en 2004



Alle effecten bij elkaar leiden tot een sterke daling van de CO₂-emissies van de afvalsector van 1990 tot 2004. Het aandeel van de broeikasgasemissies van Nederland van de afvalverwerking in Nederland is van 1990 tot 2004 sterk gedaald van ongeveer 6% tot ongeveer 0,5%. Dit betreft de emissies van in die jaren zelf gestort afval. Vanuit de stortplaatsen is er ook een emissie van methaan van afval dat in de jaren voorafgaand aan de peiljaren 1990 en 2004 is gestort. Wanneer dat wordt meegerekend is de bijdrage van afval aan de Nederlandse broeikasgasemissies in 1990 ongeveer 5,5% en in 2004 bijna 3%.

7.2 Conclusies

Storten

De methaanemissie van in 2004 gestort afval is sterk gereduceerd ten opzichte van in 1990 gestort afval. Dit komt doordat de hoeveelheid gestort afval sterk gereduceerd. Tevens is de winning van methaan die uit de stortplaats vrijkomt door afbraak van biogeen afval verbeterd. Voorts speelt de opslag van koolstof in de stort nog enige rol in de broeikasgasemissies van storten en gaven in 1990 emissies van CFK11 en CFK12 nog een beperkte bijdrage. De totaal emissie van broeikasgassen van storten is gereduceerd van 11,7 à 13 Mton in 1990 tot 0,8 Mton in 2004. Per ton is de reductie van rond de 1.000 kg CO₂-eq/ton tot 415 kg CO₂-eq/ton.

Composteren

Als gevolg van de start van de GFT-inzameling vanaf 1990 is de hoeveelheid gecomposteerd afval sterk toegenomen. In 1990 werd nog slechts 430 kton GFT-afval en groenafval gecomposteerd. In 2004 was dit 3,3 Mton (waarvan circa 1,7 Mton GFT). De broeikasgasemissies van het composteerproces zijn beperkt. Hoewel goed onderbouwde gegevens ontbreken zijn door verbeteringen in het composteerproces de broeikasgasemissie waarschijnlijk gedaald. De broeikasgasemissies per ton bedroegen -11 tot -91 kg CO₂-eq/ton voor GFT-afval en 15 tot -65 kg CO₂-eq/ton voor groenafval.

Verbranden

Door de bouw van nieuwe verbrandingsinstallaties vanaf 1990 is de hoeveelheid verbrand afval toegenomen van 2,9 Mton in 1990 tot 5,4 Mton in 2004. Door deze toename en de geleidelijke stijging van het aandeel kunststof in het afval is de directe broeikasgasemissie van verbranden toegenomen. Echter, door de bouw van nieuwe installaties en het sluiten van enkele verouderde installaties is het elektrisch rendement van de AVI's sterk verbeterd en worden metalen teruggewonnen. Door deze verbetering houden de vermeden emissies als gevolg van de opgewekte energie bijna gelijke tred met de toename van de broeikasgasemissie als gevolg van de toename van het kunststofgehalte. De broeikasgasemissies per ton in 1990 bedroegen 32 kg CO₂-eq/ton en in 2004 41 kg CO₂-eq/ton.

Hoeveelheid

De hoeveelheid verwerkt afval via storten, composteren en verbranden is van 1990 tot 2004 sterk gedaald van 15,4 Mton in 1990 tot 10,8 Mton in 2004 door de toename van de mechanische scheiding (sortering), gescheiden inzameling van vooral bouw- en sloopafval en bedrijfsafval en export van brandbare mengstromen.

Eindconclusie

De broeikasgasemissies van de afvalverwerking in Nederland zijn in 2004 aanmerkelijk lager dan in 1990. Waren in 1990 de gesommeerde broeikasgasemissies nog circa 12,7 Mton CO₂-equivalenten, in 2004 waren deze gedaald tot 0,8 Mton. In 1990 was de bijdrage van de afvalsector van in 1990 gestort afval aan de broeikasgasemissies in Nederland nog ongeveer 6%. In 2004 was dit gedaald tot ongeveer 0,5%. Per ton afval zijn de broeikasemissies van 1990 tot 2004 gedaald van 770 à 850 kg CO₂-eq/ton afval tot 74 à 92 kg CO₂-eq/ton. De broeikasgasemissies van de afvalverwerking in Nederland zijn dus sterk gedaald van 1990 tot 2004, enerzijds door sterke reductie van storten van biogeen afval en anderzijds door verbeteringen in de verwerkingsprocessen. De stijging van het kunststofgehalte in het afval heeft de reductie van de broeikasgassen van afvalverwerking iets getemperd.

Literatuur

AOO, 1992

Anonymus

MER ontwerp Tienjarenprogramma afval 1992 - 2002

Deventer : Tauw, 1992

AOO, 2002a

Anonymus

Achtergrond document A14, Uitwerking GFT-afval

Utrecht : AOO, 2002

AOO, 2002b

Anonymus

Achtergrond document A15, Uitwerking Groenafval

Utrecht : AOO, 2002

Bartelds, 1993

H. Bartelds

Vorming van dioxinen bij verbranding van stortgas

Utrecht : Adviescentrum Stortgas, 1993

DHV, 1999

Anonymus

Eindevaluatierapport Meetprogramma GFT-verwerkingsinstallaties SMB,
SOW/CAW en Arcadis

Den Haag : Ministerie van VROM, 1999

Grontmij, 2004

A.J.F. Brinkmann, E.H.M. van Zundert, R.J. Saft

Herziening levenscyclusanalyse voor GFT-afval

Bilthoven : Grontmij, 2004

Grontmij, 2005

A.J.F. Brinkmann

Compost credits – De CO₂-balans van GFT-compostering

Bilthoven : Grontmij, 2005

Jager, 1993

D. de Jager, K. Blok

Koolstofbalans van het afvalstelsel in Nederland

Utrecht : Ecofys, 1993

KEMA, 1992

A.E. Pfeiffer, et al.

Optimalisatie energiebenutting bij afvalverbranding, deelstudie B. : verkenning optimalisatie opbrengsten elektriciteitsproductie

Arnhem : KEMA, 1992

NIR, 2005

K. Klein Goldewijk, et al.

Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2003. National Inventory Report 2005

Bilthoven : MNP, 2005

Nottingham, 2002

Anonymus

Landfill gas engine exhaust and flare emissions

The University of Nottingham, 2002

Oonk, 1995

J. Oonk, A. Boom

Landfill gas formation, recovery and emissions

Apeldoorn : TNO-MEP, 1995

Protocol, 2004

Anonymus

Protocol monitoring duurzame energie. Methodiek voor het berekenen en registreren van de bijdrage van duurzame energiebronnen

Utrecht : SenterNovem, 2004

Schröder, 2004

J.J. Schröder, et al.

Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten

Wageningen : Plant Research International, 2004

Schoof, 2003

A. Schoof, et al.

Biomassa: de groene motor; stand van zaken na de tweede etappe

Den Haag : Ministerie van Economische Zaken, 2003

SenterNovem, 2005a

Anonymus

Monitoringrapportage huishoudelijk afval:resultaten 2003

Utrecht : SenterNovem, 2005

SenterNovem, 2005b

Anonymus

Samenstelling van het huishoudelijke restafval, Resultaten sorteeranalyses 2004

Utrecht : SenterNovem, 2005

VA, 2005

Anonymus

Jaarverslag monitoring reststoffen van verbranding van afval en zuiveringslib
2004

Den Bosch : VA, 2005

Velthof, 2000

G.L. Velthof, P.J. Kuikman

Beperking van lachgasemissie uit gewasresten (een systeemanalyse); Alterra-
rapport 114-3

Wageningen: Alterra, 2000

WAR, 1993

Anonymus

Afvalverwerking in Nederland, gegevens 1991

Utrecht : Werkgroep Afvalregistratie, 1993

WAR, 2005

Anonymus

Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2004

Utrecht : Werkgroep Afvalregistratie, 2005

Zanten, 1997

B. van Zanten (eindredactie)

Stortgaswinning en –benutting in Nederland

Utrecht : VVAV, 1997

Onbekend:

VROM, Emissies van stortplaatsen, 1995

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

Afvalverwerking en CO₂

Quick Scan van de broeikasgasemissies van de afvalverwerkingsector in Nederland 1990 - 2004

Bijlagen

Rapport

Delft, maart 2006

Opgesteld door: J.T.W. (Jan) Vroonhof
H.J. (Harry) Croezen



A Bijlage hoeveelheden afval in 1990

Voor de hoeveelheid afval in 1990 / 1991 staan in het rapport 'Afvalverwerking in Nederland Kalenderjaar 1991' verschillende cijfers. Deze cijfers staan hieronder opgenomen. We doen een keuze welke cijfers we voor dit rapport gebruikt hebben.

Tabel 38 Gestorte, verbrande en gecomposteerde hoeveelheden afval in 1990 volgens verschillende bronnen

Rapport "Afvalverwerking in Nederland Kalenderjaar 1991; Werkgroep Afvalregistratie, maart 1993

Rapport MER Ontwerp Tienjarenplan Afval 1992-2002; AOO Januari 1992

hoeveelheden in kton							
gestort afval	enquete afvalregistr 1991	TJP.A AOO 1990	MER TJP.A AOO 1990	MV2 1990	schatting RIVM 1991	Categorie volgens natuur & milieucomp. CBS 1990	CBS 1990
Categorie volgens enquete							
(grof) huishoudelijk afval	3894	3173	3136	3279	3207	consumentenafval	3285
KWD	787	412	870	1679	1725	handel diensten overheid	2505
bedrijfsafval	2098	2505	2472	3454	3325	industrie afval	3660
subtotaal	6779	6090	6478	8412	8257		9450
reinigingsdienstenaafval	638	602	918	915	925	verkeer & vervoer	155
bouw en sloopafval	1908	3147	3500	3509	2400	bouw en sloopafval	3200
shredderafval	115	87	120	124	124		
zuiveringslib	545	1069	908	908	917	RWZI's	770
niet specifiek ziekenhuis afval	5	19	82	82	82		
overige	511			1378	1364	overige	150
reststoffen AVI's	55	163	85	234			
totaal	10556	11177	12091	15562	14069	totaal	13725
gecomposteerd							
	enquete afvalregistr 1991	TJP.A AOO 1990	MER TJP.A AOO 1990	MV2 90	schatting RIVM 1991	natuur & milieucomp. CBS 1990	
Categorie volgens enquete							
GFT	322		130				130
verontreinigd organisch materiaal			150				
verbrand							
	enquete afvalregistr 1991	TJP.A AOO 1990	MER TJP.A AOO 1990	KEMA 90	schatting RIVM 1991	natuur & milieucomp. CBS 1990	
Categorie volgens enquete							
	2634		2943	2840			3885

De cijfers verschillen nogal van elkaar. Vooral de hoeveelheden van de Milieuverkenningen2 (MV2), RIVM en CBS zijn duidelijk hoger dan de cijfers van AOO en de Werkgroep Afvalregistratie. Het verschil zou mogelijk kunnen worden verklaard uit export van grofweg 3 Mton afval naar het buitenland. Als cijfers voor 1990 lijken de cijfers van het MER TJP.A het best bruikbaar omdat ze relatief het dichtst bij de cijfers uit de enquête van de Werkgroep Afvalregistratie uit 1991 liggen. De hoeveelheid bouw- en sloopafval is in belangrijke mate bepalend voor het uiteindelijke verschil tussen de enquête en de MER TJP.A.

B Samenstelling van verbrand afval anno 2004 en 1990

In deze bijlage wordt de samenstelling naar componenten gegeven voor de verschillende afvalstromen. Deze verschilt voor 1990 en 2004 voor huishoudelijk afval, maar is voor de overige stromen – conform het ‘Protocol monitoring duurzame energie’ – constant gehouden. In werkelijkheid is echter de samenstelling van de overige te storten stromen ook gewijzigd. Zo wordt bijvoorbeeld een aanzienlijk deel van het bouw- en sloopafval op een andere wijze verwerkt en geldt hiervoor een stortverbod. Met name voor het niet-herbruikbare, niet-verbrandbare deel wordt nog wel eens een stortonthefing verleend.

Combinatie van de samenstelling naar componenten met de specificaties per component (de meest rechtse 4 kolommen) geeft steeds de in de onderste 4 rijen van de tabel gegeven specificaties per afvalstroom, zoals het gehalte aan fossiele of biogene koolstof. Het gehalte aan biogene koolstof in het in 2004 gestorte afval is geschat aan de hand van de in NIR (2005) gegeven samenstelling van het gestorte materiaal naar afvalcomponenten en het gehalte aan biogene koolstof in deze componenten. Het gehaltes aan biogene koolstof per component zijn overgenomen uit Protocol (2004). Opvallend daarin is het lage fossiele koolstofgehalte, slechts 54%, van kunststof. De kunststof bestaat immers grotendeels uit PE en PP waarvan het koolstofgehalte circa 89% is. De 54% die hier wordt gehanteerd is toe te schrijven aan het verdisconteren van de hoeveelheid aanhangend vuil die bij de sorteeranalyses bij de kunststof wordt gerekend. Over dit cijfer is echter discussie. Metingen aan de rookgassen van AVI's waarbij de emissie van fossiele koolstof wordt gemeten, kunnen meer zekerheid verschaffen. Wij hanteren in deze quick scan de 54% uit het protocol.

In de Tabel 39 in deze bijlage zijn de samenstellingen gegeven van de verschillende afvalstromen en de percentages biogene en fossiele koolstof daarin. Aan de hand daarvan is het biogene koolstofgehalte van het gestorte afval in 1990 bepaald.

Tabel 39 Berekening hoeveelheid biogene koolstof in het in 1990 gestorte afval (excl. zuiveringsslib)

	Gestorte hoeveelheid (kton)	Gehalte C-biogeen	Gestorte biogene C (kton)
HHA + GHA			
HHA	2.247	19%	425
GHA	889	19%	169
Reststoffen scheiding		20%	
KWD-A+RDA	4.260	19%	807
SA	120	14%	16
BSA	3.500	30%	1.043
PA en ov	82	22%	18
Zuiveringsslib	908		
Totaal	12.006		2.480

Op dezelfde wijze is ook het biogene koolstofgehalte van het in 2004 gestorte afval bepaald.

Tabel 40 Berekening hoeveelheid biogene koolstof in het in 2004 gestorte afval (excl. zuiveringsslib)

	Gestorte hoeveelheid (kton)	Gehalte C-biogeen	Gestorte biogene C (kton)
HHA + GHA			
HHA	42	17%	7
GHA	17	19%	3
Reststoffen scheiding	181	20%	36
KWD-A+RDA	896	19%	170
SA	160	14%	22
BSA	280	30%	84
PA en ov	500	22%	110
Zuiveringsslib	13		
Totaal	2.089		432

Volgen van het protocol leidt tot dezelfde hoeveelheid biogene koolstof. Het protocol gaat uit van de componenten en neemt de stort van AVI-reststoffen en verontreinigde grond mee. Zoals in paragraaf 2.1 is uitgelegd nemen wij deze niet mee. Deze stromen bevatten geen biogene koolstof. In Tabel 41 is de berekening volgens het protocol opgenomen.

Tabel 41 Bepaling gehalte aan biogene koolstof volgens het protocol van het in 2004 gestorte afval

	NIR, 2005, (SenterNovem, 2005)	NIR, kton	C-biogeen (Protocol, 2004)
Papier/karton	9%	411	123
Hout	5%	248	112
Kunststoffen	8%	373	
- folie			
- overig			
textiel	1%	53	10
Ferro	3%	143	
Non-ferro			
Glas	1%	48	
GFT-afval en fines/stenen	14%	659	132
Steenachtig	47%	2.231	
Overig bb	6%	296	56
Overig obb	6%	296	
Totaal	100%	4.777	433

De voor 2004 geschatte samenstelling klopt redelijk in vergelijking met de in het afval aanwezige hoeveelheden as en metalen met de door de branche opgegeven cijfers uit het monitoring programma reststoffen van verbranding van afval en zuiveringsslib. Door ons is bijvoorbeeld een asproductie van bijna 1.000 kton geschat, exclusief ingebonden chloor en zwavel. De werkelijke productie bedraagt 1.420, inclusief metalen, chloor en zwavel.

Tabel 42 Samenstelling en specificaties per afvalstroom. Voor huishoudelijk afval verschilt de samenstelling anno 1990 en 2004

	HHA 1990	HHA 2004	GHA	Reststof- fen scheiding	KWD-A +RDA	SA	BSA	PA en ov	C- biogeen	C-fossiel	Stook- waarde	Droge stof gehalte
Samenstelling												
Papier	25%	26%	4%	35%	25%	3%	8%	1%	30%		10	70%
Hout	1%	3%	28%	10%	4%	3%	55%	11%	45%		14	90%
Organisch	52%	35%	11%	20%	34%			30%	20%		3	60%
Overig brandbaar	4%	6%	16%	7%	15%	60%	14%	58%	19%	13%	15	70%
Kunststoffen	8%	19%	14%	20%	12%	27%	23%	1%		54%	33	90%
Niet brandbaar	10%	11%	27%	8%	10%	7%				1%		98,50%
Resultaten												
C-biogeen	19%	17%	19%	20%	19%	14%	30%	22%				
C-fossiel	5%	11%	10%	12%	9%	22%	14%	8%				
Stookwaarde	7	9	12	11	11	25	17	22				
Vochtgehalte	65%	60%	73%	50%	60%	63%	63%	70%				

C Kentallen staal, aluminium

Tabel 43 Milieukentallen staal en aluminium

Impact category	Unit	Aluminium, primary, at plant/RER U	Steel, low-alloyed, at plant/RER U	Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U
Abiotic depletion	Kg SB eq	0,0695	0,011	0,00833
Global warming (GWP100)	KgCO ₂ eq	11,9	1,63	1,1
Ozone layer depletion (ODP)	Kg CFC-11 eq	0,000000673	8,12 ^E -08	7,61 ^E -08
Human toxicity	Kg1,4-DB eq	56,2	4,03	0,841
Fres water aquatic ecotoxicity	Kg1,4-DB eq	5,62	1,64	0,95
Marine aquatic ecotoxicity	Kg1,4-DB eq	34400	2050	1470
Terrestrial ecotoxicity	Kg1,4-DB eq	0,0365	0,0324	0,068
Photochemical oxidation	KgC ₂ H ₄	0,00477	0,000899	0,000309
Acidification	KgSO ₂ eq	0,0568	0,00818	0,00595
Eutrophication	Kg PO ₄ eq	0,00502	0,00156	0,000631