

91-444

Broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland

Referentienummer 91-444
Dossiernummer 112322-22482
Datum december 1991
NP

Auteur
C. Verschut
Ir. J. Oonk
W. Mulder

Bestemd voor
Projectdeelnemers



Voorwoord

In 1990 is door TNO-IMET het projectvoorstel "Broeikasgassen uit vuilstorts" ingediend bij de Programmacommissie van het Nationaal Onderzoekprogramma "Mondiale luchtverontreiniging en Klimaatverandering".

Na goedkeuring van dit projectvoorstel zijn met andere geïnteresseerden afspraken gemaakt over financiële ondersteuning. Dit heeft geresulteerd in de volgende project deelnemers:

- Programmacommissie Nationaal Onderzoekprogramma "Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering"
- Ministerie van VROM Directie Afvalstoffen.
- Ministerie van VROM directie Lucht.
- Afvalverwerking Regio Nijmegen (ARN BV).
- Afvalverwijdering Rivierenland (AVRI).
- N.V. Vuilafvoer Maatschappij (VAM).

TNO-IMET bedankt alle personen en instanties die in het kader van dit project een bijdrage hebben geleverd. Met name worden de medewerkers van de stortplaatsen, waar de metingen zijn uitgevoerd, bedankt.

Zonder hun inbreng in de opzet en uitvoering waren metingen op deze stortplaatsen niet mogelijk geweest.

Samenvatting

In de atmosfeer komen een groot aantal gassen in verschillende hoeveelheden voor. Door antropogene oorzaken nemen de concentraties van een aantal gassen toe met als gevolg minder uitstraling van de zonnewarmte uit de atmosfeer naar de ruimte en dientengevolge een toename van de gemiddelde temperatuur op aarde. Dit wordt het broeikaseffect genoemd. Gassen die hierin met name een belangrijke rol spelen zijn CO₂, CH₄, N₂O, O₃ en CFK's.

Mondiaal wordt na CO₂, CH₄ als belangrijkste broeikasgas gezien. In Nederland worden de grootste CH₄ emissies veroorzaakt door veeteelt, aardgasverliezen en stortplaatsen [v/d Born 1991]. De CH₄ emissie uit stortplaatsen gebaseerd op modelberekeningen is 255 kton/jaar in 1990.

Om ter vergelijking, via een meetprogramma de hoeveelheid broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland vast te stellen is door TNO-IMET een onderzoek uitgevoerd. De drie in het onderzoek betrokken stortplaatsen zijn gesitueerd in Weurt (ARN BV), Geldermalsen (AVRI) en Wijster (VAM). Op deze stortplaatsen zijn in de periode juni t/m september 1991 de stortgas emissiemetingen uitgevoerd.

Via verschillende meetstrategieën is getracht de emissies uit het stortoppervlak vast te stellen en op basis hiervan de totale emissie uit de stortplaats af te leiden. De methode waarbij een oppervlak van 10 m² wordt afgedekt met meetdozen levert emissie gegevens die enorm variëren. Toevallige factoren ter plekke van de meting bepalen de emissie door de storttoplaag en de meetgegevens zijn dus niet representatief voor het totale stortoppervlak. De methode waarbij via een meetmast, die in het midden van een bepaald stortoppervlak wordt opgesteld, de door de wind meegevoerde emissie wordt gemeten en vervolgens via berekeningen wordt vertaald naar een emissie uit de bodem, levert redelijk betrouwbare en uniforme emissiegegevens op.

Daarnaast zijn via provincies, RIVM en VROM gegevens verzameld over hoeveelheden en ouderdom van in Nederland gestort afval. De beschikbaarheid van deze gegevens bleek echter gering. De meest betrouwbare schatting is afkomstig uit een recent gepubliceerd rapport van het RIVM [v.d. Born, 1991]. Op basis van de meetresultaten en deze gegevens over gestort afval in Nederland is vervolgens via extrapolatie de totale hoeveelheid broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland afgeleid.

Daarbij is rekening gehouden met de spreidingen in de meetresultaten en in de gegevens over gestort afval in Nederland.

Via deze werkwijze is vastgesteld dat in 1991 uit stortplaatsen in Nederland vrijkomt:

CH₄ 500 ± 50% kton/jaar
CO₂ 1400 ± 50% kton/jaar

De op basis van dit onderzoek berekende waarde voor de afbraaksnelheidsconstante van het afval is $k = 0,10$. Dit komt neer op een halfwaardetijd van 7 jaar. Dit betekent ten opzichte van tot nog toe gehanteerde gegevens een verdubbeling van de methaan emissies uit vuilstortplaatsen en bovendien een aanzienlijke kortere halfwaardetijd dan 19 jaren.

Vooraf deze kortere halfwaardetijd heeft grote invloed op de te winnen stortgas-hoeveelheden in de eerste jaren na storten.

Broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland

Daarnaast worden prognoses voor winbare stortgashoeveelheden na 2000, aannemende dat de hoeveelheid gestort afval tussen 1991 en 2000 tot nul zal reduceren, enorm gereduceerd door deze kortere halfwaardetijd.

Preventie van stortgasemissies op korte termijn is het best realiseerbaar door versneld opstarten van stortgaswinningsprojecten.

Preventie van stortgasemissies op langere termijn moet gebaseerd zijn op gescheiden inzameling en separate verwerking van de verschillende fracties.

Inhoudsopgave

	Voorwoord	2
	Samenvatting	3
1	Inleiding	7
2	Literatuurbeschouwing	8
	2.1 Methaan als broeikasgas	8
	2.2 Ontstaan van stortgas	9
	2.3 Oxydatie van methaan in de toplaag	13
	2.4 Invloeden op de stortgasemissie	13
	2.5 Tegengaan van stortgasemissie	15
3	Gestorte hoeveelheden afval in Nederland	16
	3.1 Informatiebron "Provincie"	16
	3.2 Informatiebron "RIVM"	17
	3.3 Informatiebron "VROM" directie Afvalstoffen	18
4	Meetprogramma en meetresultaten	19
	4.1 Meetprogramma	19
	4.1.1 Monsternamen	19
	4.1.2 Meetapparatuur	21
	4.1.3 Meetdata inlezen en opslaan	21
	4.1.4 Meetlocaties	21
	4.2 Meetresultaten	22
	4.2.1 Metingen met mast	22
	4.2.2 Metingen met dozen	23
5	Kwantificering van de nederlandse stortgasemissie	26
	5.1 De nulde orde methode	26
	5.2 De eerste orde benadering	26
	5.3 De uitgebreide eerste orde methode	28
	5.4 Kwantificering	28
	5.5 Foutendiscussie	29
6	Opties voor emissiebestrijding	32
	6.1 Algemeen	32
	6.2 Preventie van stortgas	32
	6.3 Het opvangen van het stortgas	34
	6.4 Verschuiven van de CO ₂ /CH ₄ verhouding	38
7	Discussie	39
	7.1 Meetresultaten	39
	7.1.1 Metingen met mast	39
	7.1.2 Metingen met dozen	39
	7.2 Extrapolatie	40
	7.3 Betekenis voor het broeikas effect	41
	7.4 Bestrijding van emissie	41

Broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland

8	Conclusies en aanbevelingen	43
8.1	Conclusies.....	43
8.2	Aanbevelingen	44
9	Literatuur	45
10	Symbolenlijst	48
11	Verantwoording	49
Bijlage 1	Bepaling van de emissies uit de bodem aan de hand van metingen van de verticale concentratieprofielen en windsnelheidsprofielen.	
Bijlage 2	Neerslag gegevens	
Bijlage 3	Stortplaatsgegevens via provincies	
Bijlage 4	Bepaling van de k-waarden	

Figuur 1 tot en met 11

1 Inleiding

Als gevolg van de door de samenleving veroorzaakte emissies van CO₂, CH₄, N₂O en CFK's nemen de concentraties van deze gassen in de atmosfeer toe. Omdat hierdoor het warmte absorberend vermogen van de atmosfeer toeneemt, wordt de uitstraling van de zonnewarmte uit de atmosfeer verminderd met onder andere als gevolg een temperatuurstijging in de atmosfeer. Dit wordt het broeikas effect genoemd.

Met betrekking tot het broeikas effect wordt na CO₂ de meeste aandacht gegeven aan emissies van CH₄. Dit omdat via modelberekeningen blijkt dat circa 18% van het broeikas effect aan CH₄ dient te worden toegeschreven.

In Nederland worden de belangrijkste CH₄-emissies veroorzaakt door veeteelt, aardgaswinning en -distributie en stortplaatsen [v.d Born 1991].

Het aandeel van de stortgasemissies is gebaseerd op berekening. Aangezien echter de stortgasemissieramingen een substantiële bijdrage leveren aan het totaal is het van belang de stortgasemissies in Nederland beter te kwantificeren.

TNO-IMET heeft hiervoor een projectvoorstel getiteld "Broeikasgassen uit vuilstorts" ingediend bij de Programmacommissie Nationaal Onderzoekprogramma "Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering"

Hoofddoel van dit project is:

Het via metingen kwantificeren van emissies van broeikasgassen uit enkele stortplaatsen en het op basis daarvan via extrapolatie afleiden van de totale hoeveelheid stortgasemissie in Nederland.

Na goedkeuring van het projectvoorstel door de Programmacommissie heeft TNO-IMET ook met andere geïnteresseerden in dit project afspraken gemaakt over financiële ondersteuning. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in de volgende project deelnemers:

- Programmacommissie Nationaal Onderzoekprogramma "Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering".
- Ministerie van VROM Directie Afvalstoffen.
- Ministerie van VROM Directie Lucht.
- Afvalverwerking Regio Nijmegen (ARN BV).
- Afvalverwijdering Rivierenland (AVRI).
- NV Vuilafvoer Maatschappij (VAM).

Dit rapport geeft de meetresultaten van de drie in het onderzoek betrokken stortplaatsen en de op basis daarvan via extrapolatie afgeleide totale hoeveelheid stortgasemissie in Nederland weer.

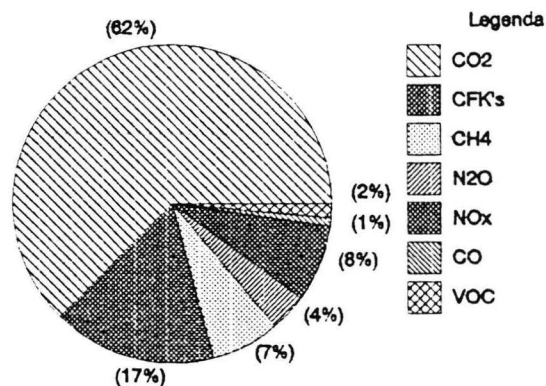
In hoofdstuk 2 wordt een literatuur beschouwing gepresenteerd. Hoofdstuk 3 bevat informatie over de gestorte hoeveelheden afval in Nederland. In hoofdstuk 4 wordt het meetprogramma en de meetresultaten weergegeven en besproken. Hoofdstuk 5 behandelt de kwantificering van de stortgasemissies in Nederland. De bestrijdingsopties worden in hoofdstuk 6 besproken. In hoofdstuk 7 worden de resultaten bediscussieerd. Tenslotte bevat hoofdstuk 8 de conclusies en aanbevelingen.

Voor een gedetailleerde verslaglegging van de meetresultaten wordt verwezen naar de TNO meetrappen nrs. 91-385 eigendom ARN, 91-398 eigendom AVRI en 91-404 eigendom VAM.

2 Literatuurbeschouwing

2.1 Methaan als broeikasgas

Broeikasgassen in de atmosfeer, zoals kooldioxide, waterdamp, CFK's, N₂O en ook methaan, absorberen een gedeelte van de warmte, die door de aarde wordt uitgestraald. Als gevolg hiervan is de temperatuur op aarde ongeveer dertig graden hoger, dan zij op grond van de positie van de aarde ten opzichte van de zon zou moeten zijn. Dit broeikaseffect wordt vergroot, doordat de concentraties van deze broeikasgassen in de atmosfeer toenemen; de concentratie van methaan bijvoorbeeld is momenteel 1,7 ppm en stijgt jaarlijks met ongeveer 1%. De mogelijke gevolgen van deze toename zijn onderhand algemeen bekend. Alhoewel methaan, vergeleken met CO₂, in hele lage concentraties voorkomt, is de bijdrage aan het broeikaseffect aanzienlijk. Dit komt omdat een molecuul CH₄, hetzelfde effect sorteert als 20 moleculen CO₂ [IPCC, 1990]. Mondiaal kan ongeveer 18% van het broeikaseffect worden toegeschreven aan methaan. Voor het dichtbevolkte, geïndustrialiseerde Nederland is het belang van methaan als broeikasgas wat minder groot, zoals wordt aangegeven in figuur 2.1. Methaan neemt ongeveer 20 miljoen ton van de 291 miljoen ton in Nederland geëmitteerde CO₂-equivalenten voor zijn rekening; bijna 7%.



Figuur 2.1 Broeikasgasemissies in Nederland

Methaan wordt geëmitteerd door verschillende natuurlijke en antropogene bronnen. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de belangrijkste, nationaal en mondiaal. Een aantal bronnen, die mondiaal gezien voor een groot gedeelte de methaanemissie bepalen, zoals verbranding van biomassa, rijstvelden en kolenwinning, komen in Nederland niet voor. Nationaal gezien wordt de CH₄-uitstoot voornamelijk bepaald door de relatief grote inspanningen in de aardgaswinning, op landbouwgebied en mogelijk door stortplaatsen.

Broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland

Tabel 2.1 Nederlandse en mondiale methaanemissies

Bronnen	Nederlandse emissie ^{a)}		Mondiale emissie ^{b)}	
	(Gg ^{d)} /jaar)	%	(Tg ^{d)} /jaar)	%
Antropogeen				
Vee (herkauwers)	421	42,6	80	14,6
Verbranden van biomassa			55	10,1
Aardgasverliezen	170 ^{c)}	17,2	45	8,3
Kolenwinning			35	6,4
Verkeer, industrie en energieopwekking	21	2,1	^{e)}	
Stortplaatsen	255	25,8	40	7,3
Rijstvelden			115	21,1
Natuurlijk				
Termieten			40	7,3
Moerassen/wetlands	70	7,1	115	21,1
Oceanen			10	1,8
Destabilisatie methaanhydraten			5	0,9
Zoetwater	52	5,3	5	0,9
Totaal	989	100,0	545	100,0

a) Van der Born, 1991

b) Cicerone, 1988

c) onder/bovengrens: 139,1 resp. 232,4 Gg/jaar, Nielen, 1991

d) Gg = 10⁹ g = 10³ ton, Tg = 10¹² g = 10⁶ ton

e) onbekend

In de atmosfeer wordt het geëmitteerde methaan afgebroken in een reactie met hydroxylradicalen. De gemiddelde verblijftijd van methaan bedraagt ongeveer 10 jaar. Door de toenemende hoeveelheden koolmonoxide en stikstofoxyden in de atmosfeer, neemt de concentratie hydroxylradicalen echter af, en wordt deze methaan-'sink' snel kleiner.

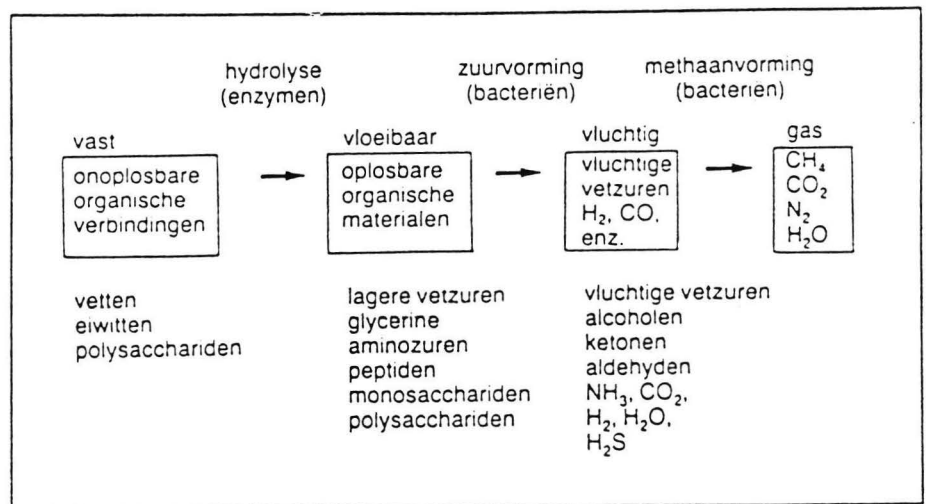
2.2 Ontstaan van stortgas

Als biodegradeerbare organische componenten (BOC) bevattend afval, als hout-, groente-, fruit-, tuin- (GFT) en papierafval, wordt opgeslagen, komt een reeks van bacteriologische processen op gang, waarbij het BOC wordt afgebroken. Deze BOC-conversie verloopt in een drietal fasen, als geïllustreerd in figuur 2.2:

- In een eerste stap worden de vaste organische stoffen enzymatisch gehydrolyseerd tot een mengsel van wateroplosbare componenten. Dit proces speelt zich in de eerste weken direct na opslag af onder aërobe omstandigheden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van zuurstof, welke zich bij opslag in het afval bevindt,

Broeikasgassen uit vuilstort in Nederland

- In de tweede, anaërobe verzuringsfase worden deze wateroplosbare componenten door micro-organismen omgezet tot lagere vetzuren, aminozuren, eenvoudige suikers en andere laagmoleculaire stoffen. In deze fase worden bovendien zuren gevormd, waardoor de pH van het water daalt naar een waarde van ongeveer 5,5. Hierdoor neemt de oplosbaarheid van zware metalen in het percolerende water toe, en ontstaat gevaar voor grondwaterverontreiniging. De duur van deze verzuringsfase bedraagt ongeveer twee maanden,
- De hydrolyseproducten uit deze tweede fase worden vervolgens in een methanogene fase omgezet in de hoofdcomponenten van stortgas; methaan en kool-dioxide. Maar ook resten stikstof en zuurstof, en kleine hoeveelheden organische zwavelverbindingen in het gas worden aangetroffen. Tijdens deze fase worden de zuren weer afgebroken, waardoor de pH van het percolerend water weer stijgt naar een waarde van ongeveer 7,5. De gassenstelling in de methanogene fase wordt, afhankelijk van een aantal stortomstandigheden, na 100 dagen tot 6 à 7 jaar uiteindelijk stabiel.



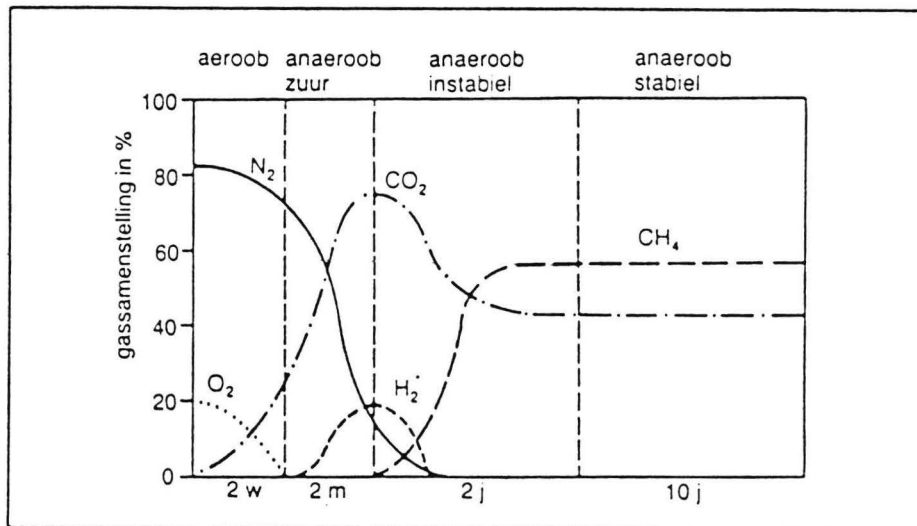
Figuur 2.2 Ontstaan van stortgas.

Tijdens de drie fasen varieert de samenstelling van het geëmitteerde stortgas aanzienlijk, als aangegeven in Figuur 2.3. Aanvankelijk zijn N₂ en CO₂ de hoofdcomponenten, maar tijdens de anaërobe verzuringsfase komt de CH₄-productie al snel op gang. De samenstelling van stortgas in de stabiele methanogene fase wordt gegeven in Tabel 2.2. De calorische waarde van zo'n stortgas ligt tussen de 18,50 en 22,50 MJ/m³ [Menzel, 1985].

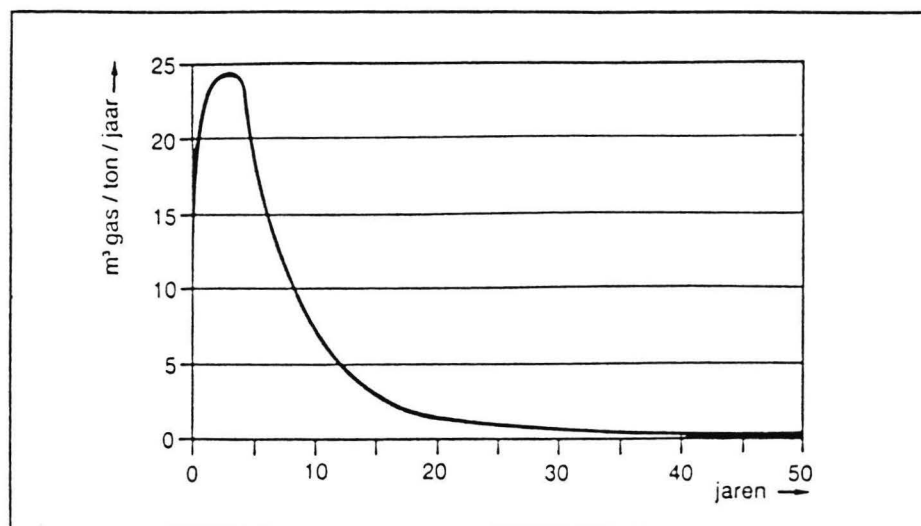
Broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland

Tabel 2.2 Samenstelling van stortgas

Component	Concentratie
CH ₄	56... 65 vol%
CO ₂	31... 41 vol%
N ₂	max 6 vol%
O ₂	max 0,3 vol%
H ₂ S	max 40 mg/m ³
RSH	max 10 mg/m ³
aromaten	100 ppm v
alifaten	50 ppm v
gehalogeneerde koolwaterstoffen	40 ppm v
NH ₃	10 mg/m ³
water	verzadigd



Figuur 2.3 Samenstelling van het stortgas



Figuur 2.4 Hoeveelheid geëmitteerd stortgas.

De totale hoeveelheid geproduceerd gas bereikt in de verzuringsfase al snel een maximum, om daarna af te nemen. De mate van gasproductie in de stabiele methanogene fase kan worden beschreven met een eerste orde reactie vergelijking. Uitwerking van de eerste orde kinetiek levert voor de stortgasemissie op tijdstip t , E_t , een uitdrukking op in de vorm van:

$$E_t = k A_0 e^{-kt} \quad [2.2.1]$$

De cumulatieve hoeveelheid, geëmitteerd tot tijdstip t , A_t , wordt verkregen door integratie van vergelijking 2.2.1, en wordt

$$A_t = A_0 (1 - e^{-kt}) \quad [2.2.2]$$

De waarden van de preëxponentiële factor, A_0 , en de reactiesnelheidsconstante, k , zijn hierin de onbekenden. De factor A_0 hierin is in feite de hoeveelheid stortgas die maximaal per ton afval kan ontstaan. De factor k is gerelateerd aan de halfwaardetijd $t_{1/2}$ van het afval via

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad [2.2.3]$$

De factoren A_0 , k en $t_{1/2}$ zullen van stort tot stort variëren, en afhankelijk zijn van onder andere de afvalsamenstelling, en het vochtgehalte. Enkele in de literatuur gevonden gegevens staan vermeld in Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Constanten in vergelijking 2.2.1 en 2.2.2

Referentie	A_0 ¹⁾	k ¹⁾	opm.
Tabasaran, 1976	157	0,07	gemengd afval
Rettenberger, 1978	233	0,288	gemengd afval
Hoeks, 1983	120	0,693	voedselafval
	120	0,139	tuinafval
	160	0,046	papier-, hout-, textielafval
V.d. Born, 1991	170/180	0,0365	gemengd afval

¹⁾ E_t in kg/ton/jaar, A_0 en A_t in kg/ton, k in 1/jaar, t in jaar

Voor extrapolatie naar nationale en mondiale situaties wordt vaak gebruik gemaakt van een nulde orde benadering. Dit houdt in, dat de geëmitteerde hoeveelheid stortgas per kg gestort afval in de tijd constant blijft, een aanname die voor een sommatie van emissies van een groot aantal storts gerechtvaardigd lijkt. Bingemer en Crutzen [1987] berekenen op basis van een nulde-orde benadering een mondiale methaanemissie uit vuilstorts van 30-70 Tg/jaar.

2.3 Oxydatie van methaan in de toplaag

Doordat in de afdeklaag van de vuilstort vanuit de omringende lucht zuurstof wordt opgenomen, bestaat de mogelijkheid dat hier een gedeelte van de methaan door aërobe bacteriën wordt omgezet in CO_2 [Mancinelli, 1984, Jones, 1990]. Als gevolg hiervan verschuift de CO_2/CH_4 -verhouding. Factoren die mogelijk dit proces beïnvloeden zijn de samenstelling van de toplaag, en de volume-opervlakverhouding van de stort. Deze aërobe methaanconversie in de toplaag is echter nog niet goed onderzocht, en het belang hiervan, in relatie tot de totale methaanemissie, staat voorlopig nog ter discussie.

2.4 Invloeden op de stortgasemissie

De stortgasemissie wordt beïnvloed door tal van factoren:

- a. Het soort afval; de verschillende componenten in het afval bevatten meer of minder biodegradeerbaar organisch materiaal, als getabelleerd in 2.4 [Bingemer, 1987]. Ook de snelheid waarmee dit materiaal degradeert is afhankelijk van de afvalsoort; de halfwaardetijd voor voedselafval is ongeveer een jaar, voor tuinafval 5 jaar, en voor papier-, karton-, hout en textielafval 15 jaar [Hoeks, 1983, zie ook Tabel 2.3].

Broeikasgassen uit vuilstort in Nederland

Tabel 2.4 Gehalte aan biodegradeerbare organische componenten- (BOC-) van verschillende afvalfracties in ontwikkelde en ontwikkelingslanden

Soort materiaal	%BOC in het afval	Ontwikkelde landen	Ontwikkelingslanden
Papier en karton	40	18-42% 7-17% C	2-4% 1-2% C
Textiel	40	2% 1% C	1-4% 0,4-1,6% C
Hout en stro	30	2-5% 1-2% C	1-4% 0,3-1% C
Tuinafval	17	12-18% 2-3% C	
Voedselafval	15	20-50% 3-8% C	40-80% 6-12% C
Totaal BOC in het afval		14-31% C	8-17% C

- b. De deeltjesgrootte van het afval: de afbraak van het organisch materiaal wordt versneld, als het afval, voordat het gestort wordt, eerst wordt verkleind [Thorneloe, 1990].
- c. De zuurgraad van de bodem; de methanogene fase verloopt optimaal in een neutraal milieu. Bij een pH van 5,0 is de methanogene activiteit tot 30% terug gebracht [Ehrig, 1986]. Ook de toevoeging van voldoende base (kalk) reduceert de methaanvorming met 80%. Kleine toevoegingen van kalk kunnen echter een omgekeerd effect hebben, als hierdoor het percolatievocht gebufferd wordt rond de optimale pH van 7 [Kinman, 1989].
- d. De temperatuur; de methanogene bacteriën blijken inactief te worden als de temperatuur beneden 10-15°C daalt [Ehrig, 1987]. De omgevingstemperatuur blijkt echter nauwelijks invloed te hebben op de temperatuur in de stort. Deze blijft, door de hier verloopende exotherme processen, op een niveau van 30-40°C.
- e. Het vochtgehalte van het afval; toename van het watergehalte blijkt de productie van stortgas te bevorderen. Gasemissies uit stortplaatsen in een droge regio (Zuid-Californië) blijken 2 à 3 keer zo klein te zijn als stortgasemissies in natte regio's (Florida, Maryland, New York, Ohio) [Thorneloe, 1990].
- f. De waterdoorstroming; het vergroten van de waterpercolatie bevordert de methanogenese [Klink, 1982]. Deze toename wordt verklaard door een betere handhaving van het pH-niveau, een betere verdeling van nutriënten en actieve enzymen en een verlaging van de concentraties van eventuele inhibitoren.
- g. Aanwezigheid van nutriënten; bacteriën hebben een reeks van elementen nodig voor hun metabolisme: onder andere koolstof, waterstof, stikstof, fosfor, kalium, natrium, magnesium, calcium en zwavel. Over het algemeen zijn deze componenten in voldoende mate aanwezig in het huishoudelijk afval [Japan Environment Agency, 1990].
- h. Aanwezigheid van inhibitoren; zware metalen of andere toxische substanties kunnen de bacteriegroei remmen, en daarmee het ontstaan van stortgas vertragen [Pacey, 1986].
- i. Diepte van de hoop; of beter de verhouding volume-oppervlak. Bij een hoger relatief oppervlak wordt een groter gedeelte van het CH₄ omgezet in CO₂ [Thorneloe, 1990].

2.5 Tegengaan van stortgasemissie

Het vrijkomen van stortgas brengt over het algemeen veel problemen met zich mee:

- stankoverlast, veroorzaakt door voornamelijk zwavelhoudende verbindingen,
- explosiegevaar, door het vrijkomende methaan,
- schade aan de vegetatie in de buurt van een stortplaats, door de vrijkomende gassen,
- energieverlies, doordat stortgas een zekere calorische waarde bevat,
- bovendien is methaan een broeikasgas.

Het is dan ook niet verwonderlijk, dat al veel aandacht besteedt is aan methoden om stortgasemissies tegen te gaan. De verschillende methoden, die in de literatuur worden voorgesteld zijn:

- a. het voorkomen van de stortgas productie,
- b. het afvangen van het gevormde stortgas,
- c. het verschuiven van de CO₂/CH₄-verhouding.

ad a) Stortgasproductie kan worden tegengegaan door de omstandigheden voor de bacteriën wat minder ideaal te maken. Echter, omdat bacteriën zelfs onder hele strenge omstandigheden kunnen overleven lijkt hiermee alleen een vertraging van emissie te worden veroorzaakt. Op langere termijn zal opname van organisch materiaal in een stort toch leiden tot stortgasproductie. Desalniettemin worden in de literatuur wel wat mogelijkheden beschreven, zoals het injecteren van een mengsel van vlieggas en calciumhydroxyde in de stort, waardoor het vuil wordt opgenomen in een vaste matrix [Lukas, 1990].

De tweede mogelijkheid om stortgasproductie te voorkomen is het vermijden van BOC in de stort. Dit gebeurt in Nederland in zekere mate al door de inzamelingscampagnes voor papier en GFT-afval.

ad b) Het gevormde stortgas kan worden geïsoleerd door de stort gasdicht van de omgeving af te scheiden. Dit kan door de zijanten met folie te beschermen, en de toplaag luchtdicht af te schermen. Deze manier is echter niet aan te bevelen, omdat men in feite van de stort een tijdbom maakt; geen enkele fabrikant garandeert het folie langer dan twintig jaar, zodat emissies in de verre toekomst tot de mogelijkheden blijven behoren.

Verstandiger lijkt het, om het gevormde gas af te vangen, en het vervolgens af te fakkelen of te gebruiken als energiedrager.

ad c) Door het bevorderen van de aërobe processen wordt het BOC geheel omgezet in CO₂. Dit houdt in, dat de stort aan de lucht moet worden blootgesteld, of op een andere manier in contact met zuurstof moet worden gebracht. In feite gaat men het afval composteren.

In hoofdstuk 6 wordt verder ingegaan op de mogelijkheden, om in Nederland de methaanemissie uit stortplaatsen te beperken.

3 Gestorte hoeveelheden afval in Nederland

Bij de start van het onderzoek in februari 1991 zijn de drie stortplaatslocaties waar de metingen zullen worden uitgevoerd bekend. Van deze stortplaatsen zijn door de stortplaatsbeheerders gegevens over hoeveelheden, samenstelling en ouderdom van het gestorte materiaal beschikbaar gesteld.

Voor het verzamelen van stortplaatsgegevens voor heel Nederland zijn meerdere informatiebronnen geraadpleegd.

3.1 Informatiebron "Provincie"

TNO-IMET heeft begin 1991 bij enkele provincies nagevraagd of er in die provincie stortplaatsen zijn die in het onderzoek moeten worden betrokken. Dat bleek niet het geval. Uit deze contacten kwam wel naar voren dat over het algemeen weinig concrete informatie voorhanden was. Om vast te stellen welke stortplaatsgegevens via de provincies verkrijgbaar zijn, zijn vervolgens alle provincies benaderd. Daarbij is de volgende informatie gevraagd:

- -welke stortplaatsen zijn aanwezig;
- -de status (open of gesloten);
- -hoeveelheid gestort afval en globale samenstelling;
- -grondoppervlak en storthoogte;
- -wijze van afdekken en dikte van de afdeklaag;
- -wordt er stortgas gewonnen of afgefakkeld;
- -uiterlijke kentekenen van stortgas emissies;

In principe zijn de provincies bereid de benodigde informatie te verzamelen. Enige provincies konden hieraan geen hoge prioriteit toekennen.

De ontvangen informatie blijkt op enkele uitzonderingen na nog veel lacunes te bevatten. Soms wordt geadviseerd voor ontbrekende informatie contact op te nemen met de stortplaatsbeheerders. Voor enkele provincies is dit ook uitgevoerd. In onderstaande tabel 3.1 is per provincie samengevat welke informatie is ontvangen. Voor een nadere detaillering van deze gegevens wordt verwezen naar bijlage 3.

Broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland

Tabel 3.1 Overzicht van de door de provincies toegeleverde informatie

Provincie	Overzicht ontvangen stortplaatsen		Gestorte Hoeveelheid Afval [ton]	Opmerkingen
	Totaal	Relevant voor studie ¹⁾		
Groningen				Geen informatie ontvangen
Friesland	6	3	$3,7 \times 10^6$	
Drente	28	4	geen opgave	Wijster: $12,85 \times 10^6$ ton
Overijssel	306	18	geen opgave	
Gelderland	22	15	geen opgave ²⁾	AVRI: $1,7 \times 10^6$ ton ARN: $0,6 \times 10^6$ ton
Utrecht	63	3	geen opgave	
Noord-Holland	5	2	geen opgave	Westwoud: $1,5 \times 10^6$ ton
Zuid-Holland	120	-	-	
Zeeland	6	4	geen opgave	Schelphoek: $1,21 \times 10^6$ m ³
Noord-Brabant	10	9	$24,65 \times 10^6$	
Limburg	17	10	geen opgave	

¹⁾ Selectia criteria: oppervlak stortplaats > 1 HA.
Storten van organisch afval.
Stortplaats niet gesloten voor 1980, tenzij oppervlak > 10 HA dan is 1975 aangehouden.

²⁾ Inventarisatie uitgevoerd over de jaren 1983 - 1984 en 1985.
Totaal gestort $2,25 \times 10^6$ ton, waarvan 752.000 ton als huishoudelijkafval.

3.2 Informatiebron "RIVM"

Het RIVM heeft in 1991 in opdracht van VROM een enquête formulier opgestuurd naar alle stortplaatsbeheerders in Nederland. Hierin zijn ook vragen opgenomen over hoeveelheden, samenstelling en ouderdom van het gestorte materiaal. De resultaten van deze enquête komen echter pas beschikbaar in het 1ste kwartaal van 1992. Bovendien wordt, na telefonische navraag, door het RIVM opgemerkt dat het op dit moment nog onzeker is of de resultaten van deze enquêtes betrouwbare gegevens over hoeveelheden gestort materiaal zullen opleveren.

In een recent gepubliceerd rapport [v.d. Born, 1991] is een schatting gemaakt van de hoeveelheid geëmitteerd stortgas in Nederland. Deze schatting was gebaseerd op summere gegevens over de hoeveelheden gestort afval in 1970 [SVA, 1973] en in 1986 [Nagelhout, 1989]. Door inter- en extrapolatie van deze data zijn de hoeveelheden gestort afval in de periode 1970-1990 geschat. Deze gegevens staan vermeld in tabel 3.2.

*Broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland*Tabel 3.2 *Hoeveelheden gestort afval in Nederland (kton) [v.d. Born, 1991]*

Jaar	Hoeveelheid stortafval	Jaar	Hoeveelheid stortafval	Jaar	Hoeveelheid stortafval
1970	5.874	1977	8.773	1984	11.627
1971	6.288	1978	9.187	1985	12.086
1972	6.702	1979	9.601	1986	12.500
1973	7.116	1980	10.015	1987	12.914
1974	7.531	1981	10.429	1988	13.328
1975	7.945	1982	10.844	1989	13.742
1976	8.359	1983	11.258	1990	14.156

^{noot:)} De gegevens uit 1970 en 1986, zijn afkomstig van SVA [1973] en Nagelhout [1989]. De overige gegevens zijn verkregen via inter- en extrapolatie

Alhoewel deze gegevens niet erg nauwkeurig zijn, lijken ze wel de best betrouwbare schattingen over de hoeveelheden gestort afval in Nederland, die op dit moment voorhanden zijn.

De extrapolatie naar de Nederlandse situatie, zoals die in hoofdstuk 5 van dit rapport gemaakt wordt, is dan ook gebaseerd op bovenstaande gegevens. Het mag duidelijk zijn, dat deze nauwkeurigheid van deze extrapolatie wordt bepaald wordt door de onnauwkeurigheid in de hier gegeven hoeveelheden gestort afval.

3.3 Informatiebron "VROM" directie Afvalstoffen

Voor gegevens over hoeveelheden, samenstelling en ouderdom van gestorte materialen wordt verwezen naar het RIVM. Geadviseerd wordt deze gegevens met bronvermelding te gebruiken voor het berekenen van de totale hoeveelheid stortgasemissie in Nederland.

4 Meetprogramma en meetresultaten

4.1 Meetprogramma

4.1.1 Monstername

a. Monstername met dozen.

Op het stortoppervlak wordt een doos geplaatst waarin al het via het bedekte oppervlak ontwijkende stortgas wordt opgevangen. Door de doos wordt een bekende hoeveelheid lucht geleid. De verschillen in concentraties tussen in- en uitgaande luchtstromen worden gemeten.

De voor deze metingen toegepaste dozen hebben een oppervlak van 10m^2 . Afmetingen dozen zijn $20 \times 0,5 \times 0,15$ meter ($l \times b \times h$).

Voordeel: Directe emissie gegevens.

Nadeel: De meetresultaten hebben alleen betrekking op het met de doos afgedekte oppervlak van 10 m^2 en behoeven niet representatief te zijn voor het totale stortoppervlak.

b. Monstername met meetmast.

In het midden van een bepaald stortplaatsoppervlak wordt een meetmast van 10 meter hoogte opgesteld. Op meerdere hoogten in deze mast worden monsters verzameld waarvan de concentraties worden bepaald. Tevens worden op meerdere hoogten in de mast de windsnelheden gemeten. Hiermee is de verticale flux door de meetmast te berekenen. Via modellen is deze verticale flux te vertalen in een horizontale flux voor het omliggende oppervlak van de mast met een gegeven straal. Voorwaarde bij deze metingen is dat rondom de meetmast de aanstroming niet te veel door obstakels wordt verstoord. Hieraan wordt op stortplaatsen meestal redelijk voldaan.

Voordeel: Eenvoudige uitvoering. Via deze aanpak wordt een gemiddelde emissie voor een relatief groot stortoppervlak ($> 2000 \text{ m}^2$) vastgesteld waardoor deze meetgegevens veel representatiever zijn voor het totale stortoppervlak.

Nadeel: Model fouten. Een toelichting op de gevolgde werkwijze en de nauwkeurigheid van deze berekeningen wordt gepresenteerd in bijlage 1.

4.1.2 Meetapparatuur

- a. Methaan (CH_4).
Deze metingen zijn uitgevoerd met een vlamionisatie detector (FID)type Ratfisch RS 55.
De FID is voor deze toepassing geijkt met methaan ijkgas.
Opgemerkt dient te worden dat CH_4 met behulp van een FID niet specifiek kan worden gemeten aangezien ook andere koolwaterstoffen een respons geven.
Ter verificatie van de juistheid van de met de FID gemeten CH_4 concentraties is gedurende enkele dagen naast de FID ook een CH_4 specifieke gasmonitor van Bruel & Kjaer type 1302 toegepast. De resultaten van deze specifieke CH_4 meting stemmen overeen met de via de FID gemeten CH_4 concentraties. Meetnauwkeurigheid is circa $\pm 3\%$
- b. Kooldioxide (CO_2).
Deze metingen zijn uitgevoerd met een niet dispersieve infrarood gasmonitor type Maihak Unor 6N. Meetnauwkeurigheid is circa $\pm 2\%$.
- c. Windsnelheid en windrichting. Deze metingen zijn uitgevoerd met behulp van cup-anemometers en windvanen.

4.1.3 Meetdata inlezen en opslaan

De meetgegevens zijn iedere 15 seconden via een data aquisitiesysteem ingelezen. Per 20 waarnemingen zijn gemiddelden berekend en deze waarden zijn opgeslagen in de meetfiles. Alle in dit rapport gepresenteerde gegevens, tenzij anders aangegeven, zijn gebaseerd op gemiddelden van 20 waarnemingen (5 minuten gemiddelden).

4.1.4 Meetlocaties

Hiervoor wordt verwezen naar de plattegronden in de meetrapporten. Op deze plattegronden is aangegeven waar de metingen met dozen en mast zijn uitgevoerd. De metingen zijn in de periode juni t/m augustus 1991 uitgevoerd. Op iedere stortplaats is in deze periode circa tweemaal een week gemeten. De tijd tussen de twee meetperioden bedraagt ongeveer vier weken. Opgemerkt dient te worden dat met uitzondering van de ARN alle meetlocaties niet waren voorzien van een eindafdekking. Bij de ARN waren de meeste meetlocaties voorzien van een eindafdekking van 1,5 meter klei. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar de afzonderlijke TNO meetrapporten nrs. 91-385 eigendom ARN, 91-398 eigendom AVRI en 91-404 eigendom VAM.

4.2 Meetresultaten

4.2.1 Metingen met mast

De metingen met de mast zijn voornamelijk uitgevoerd op de stortplaatsen van de AVRI en de VAM. Dit omdat na de eerste mastmeting bij ARN bleek dat vanwege de geringe aanwezige emissie met deze methode geen meetresultaten werden verkregen. Bij de ARN is op 1 plaats, bij de AVRI op 3 plaatsen en bij de VAM op 4 plaatsen gemeten. Op iedere plaats is minimaal gedurende een aaneengesloten periode van 1 dag gemeten.

De CH₄ en CO₂ concentratiemetingen zijn uitgevoerd op 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 en 10 meter hoogte. De windsnelheidsmetingen op 1,3 en 10 meter hoogte.

Bij de AVRI is op drie locaties gemeten en is het totaal aldus bemonsterde oppervlak circa 13000m² ofwel 15% van het totale stortoppervlak.

Bij de VAM is op vier locaties gemeten en is het totaal aldus bemonsterde oppervlak circa 70000m² ofwel 14% van het totale stortoppervlak.

Op basis van deze meetgegevens is, aannemende dat de metingen op 10 meter hoogte overeenkomen met de achtergrond concentraties, een gemiddelde emissie in L/m²/uur uit het omliggende oppervlak van de mast berekend. Voor de berekeningen van de AVRI is een straal van 75 meter en voor de VAM een straal van 150 meter gehanteerd. Zie voor de werkwijze voor deze berekeningen tevens bijlage 1.

Gebruikelijk bij presentatie over stortgasemissies is dat deze worden opgegeven in m³/ton/jaar. De op basis van de meetgegevens berekende emissies in L/m²/uur zijn hiervoor gebruikt in combinatie met locatiegegevens over de hoeveelheid gestort afval per m² stortoppervlak.

Aangenomen is dat de dichtheid van het gestorte materiaal 1,3 ton/m³ bedraagt.

De gemiddelde resultaten van de mastmetingen zijn:

Tabel 4.1 Gemiddelde CH₄ en CO₂ emissies mastmetingen

Locatie	CH ₄ m ³ /ton/jaar	CO ₂ m ³ /ton/jaar
AVRI 13.16	8,9	3,5
AVRI 2.18	5,5	4,2
AVRI 11.28	5,3	12,1
VAM I	1,0	1,1
VAM II	2,6	4,8
VAM IV	1,5	2,8
VAM 1B	4,5	4,4

4.2.2 Metingen met dozen

4.2.2.1 Overzicht

Deze metingen zijn op alle drie de stortplaatsen uitgevoerd. Per stortplaats is op 8 à 10 verschillende plaatsen gemeten. Dit komt neer op een totaal bemonsterd oppervlak van 80 tot 100 m² per stortplaats. Ten opzichte van het totale stortoppervlak per lokatie is dit $\leq 0,1\%$.

Op ieder plaats is minimaal gedurende een aaneengesloten periode van 1 dag maar vaak meerdere dagen gemeten.

Op basis van deze meetgegevens is een gemiddelde emissie voor de diverse meetlokaties in L/m²/uur berekend.

Gebruikelijk bij presentatie over stortgasemissies is dat deze worden opgegeven in m³/ton/jaar. De op basis van de meetgegevens berekende emissies in L/m²/uur zijn hiervoor gebruikt in combinatie met locatiegegevens over de hoeveelheid gestort afval per m² stortoppervlak.

Aangenomen is dat de dichtheid van het gestorte materiaal 1,3 ton/m³ bedraagt.

De gemiddelde resultaten van de doosmetingen zijn:

Tabel 4.2 Gemiddelde CH₄ en CO₂ emissies doosmetingen

Locatie	CH ₄ m ³ /ton/jaar	CO ₂ m ³ /ton/jaar
ARN 16*	0,02	0,10
ARN 17	14,2	27,6
ARN 18	10,5	57,9
ARN 30*	1,22	0,54
ARN 32	6,8	30,4
ARN 44*	0,07	0,18
ARN 72*	0,04	0,94
ARN 86/99*	0,00	2,0
ARN 87*	4,1	3,3
ARN 100*	8,3	19,8
AVRI 1.19	2,5	1,7
AVRI 2.17	73,7	37,5
AVRI 4.17	6,8	4,5
AVRI 7.27	1,3	5,0
AVRI 10.28	21,8	30,2
AVRI 12.15	0,2	0,1
AVRI 12.28	2,7	2,7
AVRI 14.15	28,2	14,4
AVRI 14a.16	21,2	12,0
VAM I doos 1	0,03	0,05
VAM I doos 2	0,8	0,5
VAM II doos 1	4,8	- ²⁾
VAM II doos 2	14,7	-
VAM VI doos 1	4,1	7,8
VAM VI doos 2	0,5	2,4
VAM 1B doos 1	0,2	0,5
VAM 1B doos 2	0,4	2,3

¹⁾ Deze locaties zijn voorzien van een afdeklaag van 1,5 meter klei

²⁾ - = Niet gemeten.

4.2.2.2 Invloed druk in de doos tijdens monstername

Tijdens monstername wordt over het algemeen in de dozen een windsnelheid aangelegd die overeenkomt met de gemiddelde windsnelheid ter plekke voor een niet afgedekte situatie. Dit gebeurt door met een ventilator te blazen of te zuigen.

Tijdens de eerste meetperiode bleek dat, indien tijdens monstername de druk in de doos verschilt ten opzichte van de omgevingsdruk, dit een enorme invloed heeft op de gemeten hoeveelheid emissie. Tijdens de vervolgmetingen zijn daarom een aantal experimenten op alle stortplaatsen uitgevoerd om de relatie tussen emissie, snelheid en druk in kaart te brengen.

De experimenten hielden het volgende in:

- a. Snelheden en drukken in de dozen zijn gelijktijdig gevarieerd.
- b. Snelheden zijn gevarieerd bij gelijkblijvende drukken.

De resultaten van deze experimenten zijn weergegeven in figuren.

Figuren 1 tot en met 5. Relatie emissie/druk

Bij deze experimenten zijn drukken en snelheden in de doos gelijktijdig gevarieerd. Uit alle figuren blijkt dat bij toenemende overdruk in de doos de emissie sterk afneemt. Bij een geringe overdruk in de doos (circa +20 tot +40 Pascal) wordt de emissie gelijk aan 0. Bij onderdruk in de doos neemt de emissie per circa 30 Pascal met een factor 2 toe.

Dit geldt voor zowel lage als hoge emissies.

Figuren 6 en 7. Relatie emissie/snelheid.

Dezelfde gegevens uit de emissie/druk figuren zijn ook hier opgenomen. Nu echter met als x as de snelheid.

Tevens zijn in deze figuren de gegevens opgenomen van experimenten waarbij snelheden zijn gevarieerd bij gelijkblijvende drukken. Uit deze figuren blijkt dat alleen variëren van de snelheid in de doos geen effect heeft op de gemeten hoeveelheid emissie. Het is dus alleen de druk in de doos die invloed heeft op de gemeten hoeveelheid emissie.

4.2.2.3 Effecten regen

Via het KNMI zijn neerslaggegevens ontvangen van waarneemposten in Volkel, Geldermalsen en Dwingelo. Voor deze neerslaggegevens wordt verwezen naar bijlage 2.

Indien men het verloop van de meetresultaten voor een bepaalde meetlocatie relateerd aan de regenval kan het volgende worden geconcludeerd:

Op dagen waarbij in een periode van enkele uren circa 10 mm regen valt gaat de gemeten emissie vrijwel terug naar 0. Zie hiervoor de figuren 8 t/m 11.

Zulke situaties hebben zich voorgedaan op 12-13/6, 13-14/6 en 15-16/6 bij de VAM en op 26-27/6 en op 28-29/6 bij de AVRI.

5 Kwantificering van de nederlandse stortgasemissie

De kwantificering van de Nederlandse methaanemissie uit stortgas kan op een aantal manieren worden benaderd:

- Een nulde orde methode: extrapolatie van een gemeten emissie door een lineaire opschaling naar de in Nederland gestorte hoeveelheid afval,
- Een eerste orde benadering: als boven, waarbij bovendien rekening wordt gehouden met verschillen in leeftijdsopbouw,
- Een uitgebreide eerste orde aanpak, waarbij tevens het verschil in samenstelling wordt verdisconteerd.

Van optie a naar c, wordt de kwantificering steeds fundamenteler benaderd. De hoeveelheid informatie, die nodig is, neemt ook toe, en bij gebrek aan informatie het aantal te maken aannames. Bij ontbreken van gegevens over de samenstelling van de stort hoeft methode c niet nauwkeuriger te zijn dan methode b.

5.1 De nulde orde methode

Een emissie, gemeten aan een bepaalde vuilstort, kan worden gebruikt om een emissiefactor, f , per ton gestort afval af te schatten. Extrapolatie naar de emissie, E_t , van een grotere hoeveelheid afval, Q , is dan mogelijk op basis van:

$$E_t = f Q \quad [5.1.1]$$

De stortplaats van de VAM in Wijster is met zijn totaal stortoppervlak van ongeveer 500 000 m² de grootste in Nederland. In totaal is hier na 1970 10 miljoen ton afval opgeslagen [Grontmij, 1990]. Aannemende, dat de stort qua ouderdom en samenstelling representatief is voor het in Nederland gestort afval, kan op basis van het gemiddelde van de in tabel 4.1 gegeven mast meetresultaten voor de VAM een waarde voor f worden bepaald van:

$$\begin{aligned} f_{\text{CH}_4} &= 2,4 \text{ m}^3/\text{ton/jaar} \\ f_{\text{CO}_2} &= 3,3 \text{ m}^3/\text{ton/jaar} \end{aligned}$$

5.2 De eerste orde benadering

Een tweede methode om de Nederlandse stortgasemissie te kwantificeren is gebaseerd op het gebruik van relatie 2.2.1. Deze relatie beschrijft de hoeveelheid stortgas dat per ton gestort afval in de stabiele methanogene fase vrijkomt. Rekening houdend met de opbouw van de afvalberg uit verschillende hoeveelheden in ieder jaar gestort materiaal, Q_i , wordt een benadering van de totale Nederlandse emissie in jaar t , E_t , gegeven door:

$$E_t = \sum_{i=1970}^t Q_i (k A_0 e^{-k(t-i)}) \quad [5.2.1]$$

Broeikasgassen uit vuilstort in Nederland

Voor een schatting van de Nederlandse emissies uit stortgas zullen dus, naast Q_i , de volgende parameters bekend moeten zijn:

- de hoeveelheid biodegradeerbaar organisch materiaal in dit afval, en daarmee samenhangend de factor A_0 ,
- de concentratie van methaan in het stortgas,
- de waarde van k .

ad a) De hoeveelheid BOC in het afval is een variabele, welke sterk afhangt van het leefpatroon, en welke dus tijd- en plaatsgebonden is. De factor A_0 hangt met dit BOC-gehalte samen. Onder aanname dat al het biodegradeerbaar materiaal uit koolhydraten bestaat (bruto formule $C_n H_{2n} O_n$) is A_0 zelfs gelijk aan dit BOC-gehalte. De waarden, welke in de literatuur voor A_0 worden gegeven, zijn niet erg consistent (zie tabel 2.3). In deze extrapolatie zijn de waarden, als gegeven door v.d. Born [1991], gebruikt: 180 kg/ton voor de periode tot 1986, en 170 kg/ton in de periode daarna.

ad b) De concentratie van methaan in het stortgas is volgens de meeste literatuurbronnen ongeveer 50 vol%. Dit komt neer op een CH_4/CO_2 -ratio van ongeveer 1,14 (zie tabel 2.2). Bij de metingen bleek de CH_4/CO_2 -ratio echter sterk te variëren. Een gevonden overmaat CO_2 kan mogelijk worden veroorzaakt door oxydatie van methaan in de toplaag. In een aantal andere gevallen zal de stabiele methanogene fase nog niet bereikt zijn, waardoor de CH_4/CO_2 verhouding wat lager uitvalt (zie ook figuur 2.3).

Tabel 5.1 geeft de gemiddelde waarde van deze CH_4/CO_2 -verhouding, als gemeten voor de verschillende stortplaatsen. In de kwantificering van de Nederlandse stortgasemissie, is aangenomen, dat het stortgas geheel uit CO_2 en CH_4 bestaat, met CO_2 en CH_4 -concentraties van beide 50 vol%.

ad c) De snelheid waarmee het afval degradeert (de k -waarde van het afval) is, behalve van het soort afval, afhankelijk van een reeks van min of meer toevallige factoren. Temperatuur, pH, deeltjesgrootte, watergehalte, de snelheid van waterpercolatie en eventuele additieven zijn een aantal voorbeelden hiervan. In hoofdstuk 2 wordt hun invloed beschreven. Het is dan ook te verwachten, dat deze afbraaksnelheid van stort tot stort verschilt. Bovendien kan men op een stort lokaal verschillen verwachten. Een enkele k -waarde, representatief voor de hele Nederlandse situatie, zal niet eenvoudig te bepalen zijn.

De resultaten van de metingen, in dit rapport beschreven, worden het best verklaard met de waarden van k gegeven in tabel 5.1. De methode, waarmee deze waarden zijn bepaald, is beschreven in bijlage 4.

Tabel 5.1 Enkele parameters van de stortplaatsen

Stort	CH_4/CO_2	k
ARN	0,34	0,07 - 0,09
AVRI	1,00	0,19 - 0,24
VAM	0,73	0,05 - 0,07

In de kwantificering van de Nederlandse stortgasemissie is gerekend met het meetkundig gemiddelde van deze waarden van 0,10/jaar.

5.3 De uitgebreide eerste orde methode

De derde mogelijkheid om de Nederlandse stortgasemissie te kwantificeren verloopt analoog aan de bovenstaande eerste orde methode. Echter in plaats van het afval als een geheel te beschouwen, met één uniforme snelheid van methanogenese, worden nu de fracties keukenafval, tuinafval en hout- en papierafval afzonderlijk beschouwd. De volgende relatie kan worden afgeleid:

$$E_t = \sum_{i=1970}^t \sum_{j=1}^3 Q_{i,j} k_j A_{0,j} e^{(-k_j(t-i))} \quad [5.3.1]$$

De onzekerheden, welke door deze methode wordt veroorzaakt, liggen voor de hand; Naast de hoeveelheid $Q_{i,j}$ dat van iedere fractie elk jaar gestort is, moeten de drie verschillende waarden voor k_j bekend zijn. Deze kunnen echter niet gelijktijdig aan één enkele bestaande stort worden gemeten, zodat hier ook weer aannames moeten worden gemaakt.

Deze uitgebreide eerste orde methode is in deze studie dan ook niet toegepast.

5.4 Kwantificering

Voor het maken van een schatting van de Nederlandse stortgasemissie moet, naast de hierboven afgeleide parameters, de hoeveelheid afval, Q_i , die ieder jaar in de periode 1970-1992 gestort is bekend zijn.

In hoofdstuk drie staat beschreven, welke bronnen zijn geraadpleegd om hierover wat meer informatie te krijgen. De gegevens, gebruikt door v.d. Born [1991], zijn op dit moment als enige toepasbaar, en zijn in deze extrapolatie dan ook aangenomen.

Invoeren van deze gegevens in relatie 5.1.1 en 5.2.1 levert de volgende resultaten op:

Tabel 5.2 Kwantificering van de Nederlandse stortgasemissie in 1991

Methode	CH ₄ -emissie		CO ₂ -emissie	
	Mm ³ /jaar	kton/jaar	Mm ³ /jaar	kton/jaar
nulde orde	540	389 ²⁾	743	1470 ¹⁾
eerste orde	712	513 ²⁾	712	1409 ¹⁾

¹⁾ aangenomen dichtheid CH₄: 0,72 kg m⁻²

²⁾ aangenomen dichtheid CO₂: 1,98 kg m⁻²

5.5 Foutendiscussie

Nulde orde benadering

Bij deze kwantificering van de Nederlandse stortgasproductie is aangenomen, dat de VAM stort qua ouderdom en samenstelling representatief is voor de Nederlandse situatie.

Uit een vergelijking van tabel B 4.1 met tabel 3.2, blijkt dat de ontwikkeling van beide hoeveelheden zeker niet parallel loopt. In de jaren 1978, 1980, 1984 en 1985 is op de bestudeerde gedeelten van de stort in Wijster helemaal niets gestort.

Voor wat betreft de samenstelling is deze aanname waarschijnlijk ook niet waar, aangezien in Wijster relatief veel huishoudelijk afval gestort wordt, waardoor er relatief veel stortgas zal worden geproduceerd.

Zelfs als de samenstelling van het afval in Wijster overeen zou komen met die van het totale Nederlandse afval, hoeft dit nog niet te betekenen dat de snelheid van methanogenese, en dus ook de stortgasproductie overeenkomen.

Een extra complicatie is, dat bij de VAM op een locatie een gedeelte van het stortgas wordt teruggewonnen, met een maximum hoeveelheid van 2400 m³/uur [Lippers, 1991, VAM, 1989].

Het mag duidelijk zijn, dat deze manier van extrapoleren, slechts een grove schatting van de stortgasemissie oplevert; Met een fout hierin van ongeveer 50% moet zeker rekening worden gehouden.

Eerste orde benadering

Voor deze kwantificering zijn vier gegevens nodig, welke allemaal de nodige fouten kunnen veroorzaken.

a). De hoeveelheid en ouderdom van het in Nederland gestort afval, is verkregen door inter- en extrapolatie van gegevens uit 1970 en 1986. Deze gegevens lijken dan ook erg onnauwkeurig.

De fout in de berekende stortgasemissie is ongeveer recht evenredig met de fout in de gestorte hoeveelheid afval per jaar, welke naar schatting gemiddeld maximaal 25% bedragen.

Een nadere bepaling van de hoeveelheid en ouderdom van gestort materiaal in Nederland is dan ook gewenst. Momenteel wordt door het RIVM zo'n inventarisatie uitgevoerd [RIVM, 1992]. Het is raadzaam om met de hierbij verkregen resultaten bovenstaande kwantificering nogmaals uit te voeren.

b). de aangenomen waarde van A_0 wordt in de berekening twee keer gebruikt:

— Bij de bepaling van de k-waarde. Een te lage waarde van A_0 resulteert in een te hoge waarde van k, waardoor de schatting van de Nederlandse emissie te hoog uitvalt.

— Bij de kwantificering. Een te lage waarde van A_0 resulteert in een te lage schatting van de stortgasemissie.

Beide effecten werken tegen elkaar in en heffen elkaar op, zoals aangegeven in tabel 5.3.

De k-waarden zijn bepaald voor de VAM, de extrapolatie naar de Nederlandse situatie is gebaseerd op gegevens van v.d. Born [1991]. De methaanconcentratie is gesteld op 50%. Uit deze tabel blijkt dat de berekende methaanemissie onafhankelijk is van de aangenomen waarde van A_0 .

Broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland

Tabel 5.3 Invloed van de aangenomen A_0 op de berekende k en de Nederlandse methaanemissie

A_0 (kg/ton)	k	methaanemissie (kton/jaar)
160	0,057	361
170	0,055	364
180	0,050	363
190	0,046	362
200	0,043	364

c). de concentratie van methaan in het stortgas is volgens literatuur ongeveer 50 vol%, zie tabel 2.2. De in deze studies gemeten concentraties liggen vaak iets lager. Dit kan worden veroorzaakt door oxydatie van methaan in de toplaag. Waarschijnlijker is echter, dat in een aantal storts de stabiele methanogene fase nog niet bereikt is.

Analoog aan de waarde A_0 , heeft ook de aangenomen methaanconcentratie een tweërlei effect. Tabel 5.4 geeft de berekende k -waarde en Nederlandse methaanemissie als functie van de aangenomen methaanconcentratie. De berekening van de k -waarde is gebaseerd op de metingen bij de VAM, met een aangenomen A_0 van 180 tot 1986 en 170 daarna. De extrapolatie is gebaseerd op de gegevens van v.d. Born [1991].

Ook hier heffen de effecten elkaar voor wat betreft de berekening van methaanemissie op.

Tabel 5.4 Invloed van de aangenomen methaanconcentratie op de berekende k en de Nederlandse methaanemissie

Methaan (vol%)	k	methaanemissie (kton/jaar)
40	0,074	356
45	0,061	360
50	0,052	363
55	0,045	364
60	0,040	366

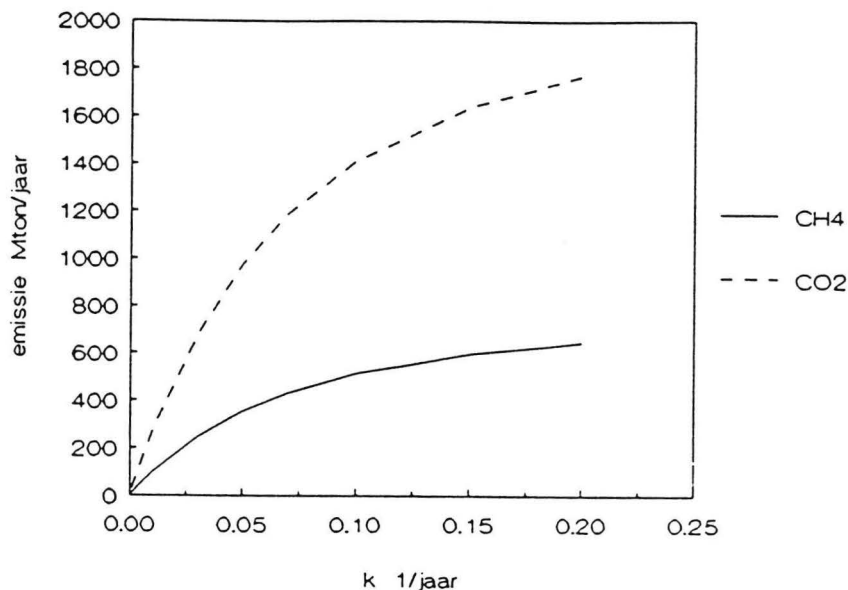
de snelheid van de methanogenese is bepaald in deze studie.

De fout in de aangenomen waarde van de k , welke representatief moet zijn voor de Nederlandse situatie wordt bepaald door een veeltal factoren en vragen:

- de fout in de metingen: een fout in een individuele mastmeting is gesteld op 50%. Omdat echter een zeker aantal metingen in deze studie zijn betrokken, zal de invloed hiervan op de bepaalde k een stuk lager uitvallen,
- in hoeverre zijn de plaatsen op de stort representatief voor de gehele stort. Slechts een klein oppervlak is in de meting betrokken, en mogelijk is net die ene, zeer belangrijke voorkeursroute van het gas niet meegenomen,
- zijn de gekozen storts representatief voor de Nederlandse situatie. Iedere stort heeft zijn eigen stortkarakteristieken,
- is er een invloed van het jaargetijde, waarin gemeten is. Hoe groot zijn de seizoensinvloeden.

Broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland

Op al deze vragen valt moeilijk een antwoord te geven. Een foutenevaluatie valt op deze manier dan ook niet volledig te maken.



Figuur 5.1 Invloed van k op de Nederlandse stortgasemissies

Op grond van de metingen aan de drie stortst, worden waarden voor k , variërend van 0,05 jaar tot 0,24 jaar, berekend. De invloed van deze grote variatie in k op het resultaat van de kwantificering valt mee, als staat weergegeven in figuur 5.1. Deze figuur is berekend met een aangenomen A_0 van 180 tot 1986 en 170 daarna, en een methaanconcentratie van 50%. De afhankelijkheid van de berekende stortgasemissie van de snelheid van methanogenese neemt af bij toenemende k -waarden. Uitgaande van 0,05 jaar en 0,24 jaar als onder- resp bovengrens voor k , betekent dit een bijdrage aan de fout in de Nederlandse stortgasemissie van ongeveer 25%.

Sommatie van de fouten, veroorzaakt door de hoeveelheid en ouderdom van het afval, de hoeveelheid BOC in het afval, de samenstelling van het gas en de snelheid van methanogenese levert een totale fout in de kwantificering van de Nederlandse stortgasemissie van ongeveer maximaal 50% op.

6 Opties voor emissiebestrijding

6.1 Algemeen

In hoofdstuk 2.5 al is kort beschreven, welke problemen stortgasemissie met zich meebrengt; stankoverlast, explosiegevaar, aantasting van de vegetatie zijn hiervan enkele voorbeelden. Een bijkomend probleem is, dat het methaan in het vrijkomende stortgas een broeikasgas is. Om deze redenen wordt een reductie van de stortgasemissie wenselijk geacht, en is verder onderzoek naar de mogelijkheden voor de bestrijding van emissie geboden. In dit hoofdstuk wordt nagegaan hoe in Nederland deze CH_4 -emissie verder kan worden beperkt. De mogelijk te nemen maatregelen vallen in drie categorieën uiteen:

- het voorkomen van ontstaan van stortgas,
 - het isoleren of opvangen van stortgas,
 - verschuiven van de CO_2/CH_4 verhouding ten gunste van CO_2 .
- Op deze drie mogelijkheden wordt hieronder nader ingegaan.

6.2 Preventie van stortgas

Op een aantal verschillende manieren kan men bij het inrichten van een nieuwe stort proberen te voorkomen dat stortgas ontstaat:

- men kan het afval vooraf verbranden, en de reststoffen vervolgens storten,
 - men kan de BOC-rijke fracties apart inzamelen,
 - men kan de leefomstandigheden voor de bacteriën wat minder ideaal maken.
- In deze paragraaf worden de drie opties verder toegelicht.

Verhoging van het volume van afvalverbranding

Stortgasemissie kan worden vermeden door het afval niet direct te storten, maar eerst te verbranden. Behalve dat hierdoor de organische koolstof uit het afval verwijderd wordt, levert dit ook een volumereductie van de uiteindelijk te storten hoeveelheid afval op.

Een gedeelte van de energie, die hierbij in de verbrandingsinstallatie vrijkomt kan worden teruggewonnen en gebruikt, bijvoorbeeld in stadsverwarming of voor electriciteitsopwekking.

Een kostenafweging voor deze optie is niet eenvoudig te maken; feit is, dat de momentane verbrandingscapaciteit tekort schiet, en dus geïnvesteerd zal moeten worden in meer afvalverbrandingsinstallaties. In een dergelijke kosten afweging spelen bovendien factoren als opbrengst van energierugwinning, kosten van additionele chemicaliën en opslag van restmateriaal een rol. Bovendien gaat ook verbranding gepaard met de nodige emissies; denk maar aan het dioxine-probleem, de PAK-vorming en de NO_x -uitstoot.

Broeikasgassen uit vuilstort in Nederland

Apart inzamelen van de BOC-houden fracties

Papier wordt in Nederland al sinds jaar en dag apart ingezameld. Na 1995 zal dat ook gebeuren met het GFT-afval. Dit apart inzamelen heeft als gevolg, dat het totale volume aan afval in Nederland afneemt. De hoeveelheid biodegradeerbaar afval per ton gestort materiaal wordt echter in mindere mate beïnvloed.

(Zie tabel 2.4)

Tabel 6.1 geeft een overzicht van de verwachte stortgasemissie in de tijd weergegeven voor een drietal scenario's:

- in scenario A wordt ervan uitgegaan, dat alle afval gezamenlijk gestort wordt,
- in scenario B wordt de fractie papier en karton voor 90% apart ingezameld, en dus onttrokken aan de stort. Hierdoor stijgen de fracties van de andere componenten in het afval, terwijl de totaal gestorte hoeveelheid afval daalt,
- in scenario C wordt bovendien het GFT voor 80% apart ingezameld en verwerkt.

De stortgasemissie per ton gestort afval is voor scenario A en B gedurende de eerste jaren zeer hoog. Dit komt door de aanwezigheid van het voedselafval. Als dit vergaan is neemt de emissie echter sterk af. In scenario A, waar de papierfractie in het afval groot is, blijft zelfs na twintig jaar nog een relatief hoge emissie gehandhaafd. In scenario C neemt de relatief geringe stortgasemissie slechts geleidelijk af.

De totale cumulatieve Nederlandse emissie (in de tabel weergegeven als een percentage van het potentieel in scenario B (dat is de totale cumulatieve Nederlandse stortgasemissie na oneindig veel jaren), neemt sterk af, naarmate meer fracties apart ingezameld en verwerkt worden.

Tabel 6.1 Stortgasemissie in de tijd voor verschillende scenario's

Scenario	Stortgasemissie (in kg/ton/jaar) ¹⁾				
	1 jaar	3 jaar	5 jaar	10 jaar	20 jaar
A ²⁾	16,6	7,1	4,1	2,2	1,1
B ³⁾	20,2	7,4	3,4	1,2	0,5
C ⁴⁾	9,0	3,6	1,9	0,8	0,4
Scenario	Totale stortgasemissie (cumulatief, % potentieel scenario B) ¹⁾				
na	1 jaar	3 jaar	5 jaar	10 jaar	potentieel
A ²⁾	34,1	68,6	85,6	108,4	168,1
B ³⁾	31,1	59,9	71,6	83,4	100,0
C ⁴⁾	6,5	12,7	15,5	18,8	25,8

¹⁾ Berekend met de relatie van Hoeks, als gegeven in Tabel 2.3

²⁾ Geen aparte inzameling van papier en karton en GFT, 30% papier en karton, 3% hout, 15% tuinafval en 30% voedselafval in de stort, totaal gestort volume 100 eenheden.

³⁾ Aparte inzameling van papier en karton, niet van GFT, 4,1% papier en karton, 4,1% hout, 20,5% tuinafval en 41,1% voedselafval in de stort, totaal gestort volume 73 eenheden.

⁴⁾ Aparte inzameling van papier en karton en GFT, 8,7% papier en karton, 1,4% hout, 8,7% tuinafval en 17,4% voedselafval in de stort, totaal gestort volume 34,5 eenheden.

Deze berekening toont het belang van het apart inzamelen en verwerken van papier en GFT. Dit apart inzamelen heeft drie voordelen:

- in de eerste plaats neemt de absolute hoeveelheid gestort materiaal af,
- bovendien neemt de hoeveelheid biodegradeerbaar organisch afval per ton afval af. Door combinatie van deze eerste twee factoren, wordt een sterke reductie van het stortgaspotentieel bereikt,
- een derde voordeel in scenario C is, dat het stortgas wat meer gelijkmatig vrijkomt. Hierdoor kan het voor stortplaatsbeheerders rendabeler worden, een infrastructuur voor stortgaswinning aan te leggen, omdat men gedurende langere tijd verzekerd is van een relatief constante stortgasproductie.

Beïnvloeden van de bacteriologische activiteit

Bij het inrichten van de stort kunnen maatregelen worden genomen om de snelheid waarmee stortgas ontstaat te vertragen.

Aangezien de methanogene bacteriën optimaal werken in een ongeveer neutraal milieu, heeft verandering van de pH-waarde invloed op het verloop van de methanogenese. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door toevoeging van kalk, of van een afvalzuur. Hiermee is echter nog niet bereikt, dat op langere termijn gezien de uiteindelijke totale methaanemissie kleiner zal zijn.

Eenzelfde redenering geldt voor een reeks andere mogelijkheden, als bijvoorbeeld het weren van vocht in de stort.

6.3 Het opvangen van het stortgas

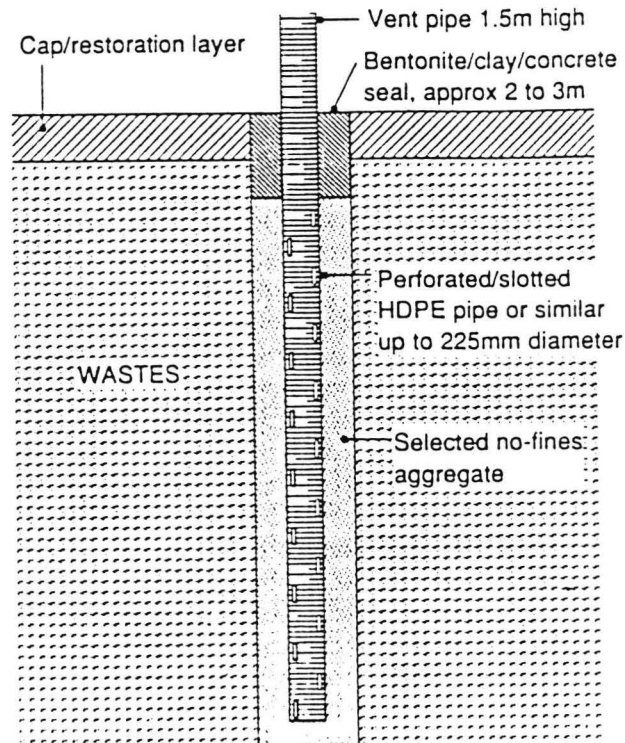
Isoleren van het gas

Stortgas kan in de hoop worden geïsoleerd, door de bodem van de stort goed af te dekken met folie, en door bovendien een goede toplaag aan te brengen. Of dit op langere termijn een oplossing is valt te betwijfelen. De methanogenese zal hierdoor niet worden gestopt, waardoor de druk in de stort flink kan oplopen (uitgaande van 170 kg stortgas per ton gestort afval, en een dichtheid van het afval van 1300 kg m³, is theoretisch een drukopbouw van ruim 100 bar haalbaar). Voordat het zover is, is er allang een opening in het folie geforceerd.

Gebruik als energiedrager

Een betere optie lijkt het gecontroleerd afvangen van het stortgas. Het stortgas kan dan worden afgefakkeld, of worden gebruikt voor het opwekken van energie. Omtrent de technologie van winning is al veel gepubliceerd, en ook in Nederland is hiermee al de nodige ervaring opgedaan.

Het stortgas kan worden gewonnen, door putten te boren in de stort, hierin een geperforeerde pijp aan te brengen, met daaromheen wat grof materiaal om te voorkomen dat de gaten in de pijp verstopt raken. De put wordt tenslotte afgedicht met behulp van klei of beton (figuur 6.1). Meestal wordt een kleine onderdruk aangelegd om de winning van stortgas te versnellen.



Figuur 6.1 Voorbeeld van een stortgasput

Omdat de vraag naar energie op een stort is gering is, moet voor het gas een afnemer worden gezocht buiten de deur. In de meeste gevallen wordt het verkocht aan naburige industrieën.

Voorbeelden van stortgasafnemers zijn een steenfabriek (Bavel), een chemische industrie, voor stoomopwekking (Ambt-Delden) en een aluminiumfabriek, als brandstof voor de ovens (Borsele).

Een andere mogelijkheid is het gebruik van stortgas als substituuut voor aardgas. Probleem hierbij is het hoge CO₂-gehalte van het gas. Hierdoor wordt nabehandeling van het stortgas noodzakelijk. Verschillende chemische en fysische absorptietechnieken, 'pressure swing absorbtion' of membraanfiltratie kunnen worden toegepast. [Wezel, 1991].

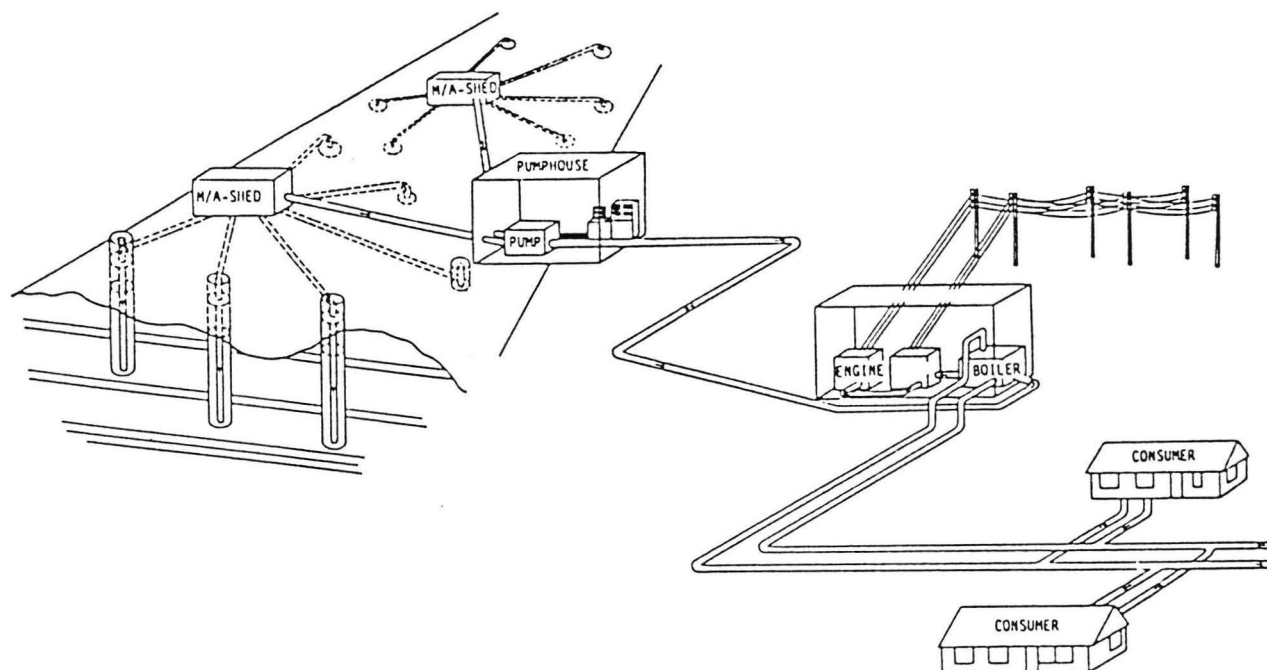
Naar schatting is in Nederland een rendabele stortgasproductie van 220 miljoen m³ gas per jaar, verdeeld over 26 stortplaatsen haalbaar [RIVM/LAE, 1985]. Deze hoeveelheid vertegenwoordigt ongeveer een zesde van het totale stortgaspotentieel, als in deze studie gekwantificeerd. Hiervan is momenteel in Nederland op 11 stortplaatsen een totaalproductie van 70 miljoen m³ per jaar gerealiseerd (Tabel 6.2) [Scheepers, 1991].

Tabel 6.2 Stortgasproductie in Nederland

Stortplaats	toepassing m ³ /hr	sinds	Benutting	
			m ³ /uur	Mm ³ /jaar
Wijster	elektriciteit	1983	850	6,8
	aardgas	1989	950	7,6
Ambt-Delden	industrie	1984	700	5,6
Bavel	industrie	1984	900	7,2
Joure	elektriciteit	1984	350	2,8
Maarsbergen	elektriciteit	1987	125	1,0
Winterswijk	elektriciteit	1987	170	1,4
Tilburg	aardgas	1987	1450	11,6
Nuene	aardgas	1990	1200	9,6
Veendam	elektriciteit	1990	800	6,4
Borsele	industrie	1990	700	5,6
Linne-Montfort	elektriciteit	1990	520	4,2
Totaal				69,8

Dat het begrip 'naburig' niet te nauw hoeft te worden opgenomen blijkt uit een Deens demonstratieproject [Willumsen, 1988], zie figuur 6.2. Van ongeveer 375 000 ton gestort vuil wordt hier gas onttrokken, door middel van tweeëndertig putten. Van iedere put wordt continu de gasamenstelling gemeten. Met behulp van deze gassenstelling wordt de zuigdruk op de desbetreffende put geregeld. Hierdoor kan het methaangehalte van het stortgas worden gegarandeerd. Het gas wordt vervolgens naar het pomphuis gepompt, waar het wordt ontdaan van kleine deeltjes en andere onzuiverheden. Na transport door een 2,5 kilometer lange buis, wordt hiermee warmte en energie gewonnen, resp. voor de stadsverwarming en voor het energienet.

Broeikasgassen uit vuilstort in Nederland



Figuur 6.2 Demonstratieproject Viborg

De methaanemissie naar de atmosfeer wordt door stortgaswinning niet tot nul gereduceerd. Momenteel is het rendement slechts 40 - 70%. Dit rendement kan worden verhoogd door het aantal putten, dat in de stort geslagen wordt, te vergroten. Een andere mogelijkheid is, in combinatie met stortgaswinning de afdichting van de stort te verbeteren, waardoor ongecontroleerde emissies worden geminimaliseerd.

Dat zo'n verhoogd rendement niet parallel hoeft te lopen met een verhoogde rentabiliteit van de investering, is duidelijk. Vanuit een kosten-baten afweging kan stortgaswinning op drie manieren worden benaderd:

- minder putten, dus een lager rendement, maar een optimaal rendement per put,
- zoveel putten, dat de investering terugverdiend wordt,
- maximaal rendement, door intensieve stortgaswinning, maar dan wel verliesgevend.

Waar oppervlakkig gezien de belangen van stortgasbeheerder goed stroken met de acties ter bestrijding van verdere stortgasemissies, kunnen dus bij verdere uitwerking van dit concept toch de nodige tegenstrijdigheden van belangen worden verwacht.

Affakkelen

Indien stortgas in relatief kleine hoeveelheden vrijkomt, of als de CH_4 -concentratie in het stortgas extreem laag wordt, of als de afzetmogelijkheden voor stortgas afwezig zijn, is een infrastructuur als hierboven beschreven mogelijk niet meer rendabel. Het vrijkomende gas kan dan worden afgefakkeld. Hiervoor moet het

gas wel een stookwaarde van ongeveer $4000\text{-}8000\text{ kJ Nm}^{-3}$ bezitten. Dit is namelijk noodzakelijk om het gas zelfstandig te laten branden [Bartelds, 1978]. Uitgaande van een verbrandingswaarde van methaan van 40000 kJ Nm^{-3} correspondeert dit met een CH_4 -gehalte van 10-20 vol%. In de meeste gevallen zal dit geen problemen opleveren.

Het spreekt voor zich, dat voldoende aandacht moet worden besteed aan het ontwerp van een bruikbare en veilige fakkel.

Aërobe omzetting

Analoog aan de door enkele literatuurbronnen vermelde CH_4 -omzetting in de top-laag van een stort (hoofdstuk 2.3), is het misschien mogelijk methaan om te zetten met behulp van aërobe bacteriën. Over de haalbaarheid van dit concept is nog weinig bekend. Verder onderzoek is dan ook geboden.

6.4 Verschuiven van de CO_2/CH_4 verhouding

Een derde mogelijkheid om methaanemissie uit stortplaatsen tegen te gaan is het wijzigen van de CO_2/CH_4 -verhouding. Hiertoe zou men een stort kunnen beluchten. Pompen van lucht in zo'n stort, gecombineerd met het opvangen en zuiveren van het geëmitteerde gas elders, behoort tot de mogelijkheden. In feite gaat men het afval composteren.

7 Discussie

7.1 Meetresultaten

7.1.1 Metingen met mast

Via metingen met de mast wordt de emissie bepaald uit een bijvoorbeeld cirkelvormig gebied met straal R . Op basis van de meetgegevens voor concentraties en windsnelheden wordt een door de wind meegevoerde emissie berekend. De nauwkeurigheid van deze berekening is $\pm 25\%$ (zie bijlage 2).

Voor het berekenen van de emissie uit de bodem wordt de door de wind meegevoerde emissie gedeeld door de lengte L tot de bovenwindse rand van het emissiegebied. Deze lengte is echter niet altijd goed vast te stellen omdat de vorm van het gebied waar de metingen zijn uitgevoerd op geen van de locaties cirkelvormig is en windrichting fluctueert. Voor de AVRI metingen is een gemiddelde lengte L van 75 meter en voor de VAM metingen van 150 meter aangehouden. De nauwkeurigheid van deze lengte L is $\pm 25\%$.

De totale nauwkeurigheid van één mast meting is dus $\pm 50\%$.

Bedenk daarbij bovendien dat de mast metingen maar gedurende circa 24 uur per meetlocatie bij overwegend een windrichting zijn uitgevoerd. Dit betekent dat de op basis van deze meetgegevens berekende emissies uit de bodem in principe alleen betrekking hebben op een smalle strook bodem tot de bovenwindse rand. Bij verdere interpretaties is aangenomen dat deze emissies representatief zijn voor een cirkelvormig gebied rondom de mast met een straal die gelijk is aan de geschatte lengte L en over het jaar gezien constant blijven.

De via mastmetingen vastgestelde stortgasemissies ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) zijn redelijk uniform voor de diverse meetlocaties. Gemeten variaties zijn 2 tot 19 $\text{m}^3/\text{ton}/\text{jaar}$. Verbetering van de nauwkeurigheid van dit soort emissiemetingen kan worden bereikt door gedurende langere perioden bij alle windrichtingen metingen uit te voeren

7.1.2 Metingen met dozen

Voor het berekenen van de emissie uit de bodem worden de verschillen in concentraties tussen in- en uitgaande luchtstromen vermenigvuldigd met de hoeveelheid lucht door de doos. De nauwkeurigheid van de concentratieverschilmetingen is $\pm 5\%$ en van de luchthoeveelheid metingen $\pm 10\%$. De totale nauwkeurigheid van één doos meting is dus $\pm 15\%$.

Het nadeel van de metingen met dozen is, dat slechts een oppervlak van 10 m^2 wordt bemonsterd. Gegeven de inhomogeniteit van stortplaatsen is deze 10 m^2 dus niet representatief voor het totale stortplaatsoppervlak. De met dozen gemeten stortgasemissies ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) variëren dan ook zoals verwacht enorm per meetlocatie. Gemeten variaties zijn 0,1 tot 110 $\text{m}^3/\text{ton}/\text{jaar}$.

Hieruit blijkt, dat het gas niet keurig homogeen door de toplaag van de stort vrijkomt, maar wordt beïnvloed door een aantal min of meer toevallige factoren. Dit

is op zich logisch, want het afval onder de toplaag is allesbehalve homogeen. Plaatselijke verschillen in afvalsamenstelling veroorzaken dat het stortgas niet homogeen over de stort ontstaat. Ook de weg naar de atmosfeer door de stort wordt door toevalligheden bepaald. Poreuze structuren van gestort puin, obstakels van stukken plastic, boomwortels en zelfs mol- of pieregangen zijn voorbeelden hiervan. Het gas zoekt de weg van de minste weerstand. Emissie naar de atmosfeer zal voornamelijk plaatsvinden via een aantal voorkeurroutes. Hierbij is het zelfs mogelijk dat ook naast de stort nog emissies ontwijken. Op basis van slechts een beperkt aantal metingen met dozen per stortplaats is daarom geen totale emissie per stortplaats te bepalen. Metingen met dozen zijn wel zinvol voor het nauwkeurig vaststellen van emissies uit goed gekarakteriseerde stortoppervlakken (modelproeven).

7.2 Extrapolatie

Verskil nulde en eerste orde benadering

In hoofdstuk 5 is beschreven, dat de kwantificering van de in Nederland geëmitteerde hoeveelheid stortgas op twee manieren is uitgevoerd:

- op basis van een nulde orde benadering, zonder rekening te houden met verschillen in leeftijdsopbouw van de verschillende storts,
- met behulp van een eerste orde benadering, waarin dit verschil wel verdisconteerd is.

Een tweede verschil is, dat voor de nulde orde benadering alleen de stortplaats in Wijster beschouwd is, terwijl in de eerste orde benadering een k -waarde is afgeleid welke het meetkundig gemiddelde is van de op drie storts bepaalde k -waarden.

Het blijkt dat het verschil in k -waarde tussen de VAM en het meetkundig gemiddelde van de drie stortplaatsen verantwoordelijk is voor het verschil in uitkomst. Blijkbaar is het verschil in opbouw van de Nederlandse en de Wijster afvalsamenstelling van minimale invloed.

Betekenis van de waarde van k

De in deze studie bepaalde waarde voor k , is gebaseerd op metingen aan storts, waar zich een aantal onvolkomenheden afspelen. Zo zal de stabiele methanogene fase nog niet overal bereikt zijn, wordt het beeld verstoord door een zekere mate van gasterugwinning op de VAM, en is verder geen rekening gehouden met een eventuele omzetting van methaan in de toplaag.

In deze studie is bewust niet gecorrigeerd voor deze drie factoren. Dit, omdat op iedere stort dit soort invloeden in meer of mindere mate zullen spelen. Extrapolatie, op basis van een voor deze factoren gecorrigeerde k , zal slechts een geïdealiseerd beeld van de Nederlandse stortgasemissie opleveren, hetgeen gezien het doel van deze studie niet wenselijk is.

Vergelijking met andere emissieschattingen

De in deze studie bepaalde stortgasemissie, valt een factor 2 hoger uit dan de door v.d. Born [1991] berekende emissie. Dit komt voornamelijk door het verschil in gemiddelde k -waarde; 0,10 uit deze studie, tegen 0,0365 door v.d. Born. De in

deze studie bepaalde gemiddelde k-waarde komt beter overeen met de in de literatuur gehanteerde k-waarden (tabel 2.5).

De resultaten, gegeven door Scheepers [1991], komen beter overeen met de resultaten uit deze studie. Als minimum schatting van de totale winbare hoeveelheid stortgas in Nederland, gebaseerd op de hoeveelheid met zekerheid stortgas producerend afval, wordt een methaanproductie van 256 tot 404 kton per jaar voorspeld.

7.3 Betekenis voor het broeikaseffect

Uit deze vernieuwde kwantificering van de methaanemissies uit stortplaatsen, blijkt dat stortplaatsen voor 40% kunnen bijdragen aan de nationale emissie van methaan. Vergeleken met de totale Nederlandse uitstoot aan CO₂-equivalenten, komt dit overeen met 3% van alle in Nederland geëmitteerde broeikasgassen. Dus vuilstorts zijn van relatief groot belang in de Nederlandse bijdrage aan het broeikaseffect.

7.4 Bestrijding van emissie

Een aantal redenen kunnen worden gegeven, waarom binnen de bestrijding van het broeikaseffect, veel aandacht moet worden gegeven aan de vuilstorts:

- Omdat methaan, in relatie tot andere broeikasgassen een korte halfwaardetijd heeft in de atmosfeer, is deze component bij uitstek geschikt om het broeikaseffect te bestrijden. Reductie van emissie is binnen een generatie merkbaar als een reductie van het broeikaseffect. Voor alle andere componenten betekent emissievermindering slechts hooguit een stabilisatie van de huidige situatie.
- De technologie van stortgaswinning is bekend en bewezen. Op een groot aantal stortplaatsen in Nederland wordt momenteel al stortgas gewonnen.
- Bestrijding door middel van stortgaswinning met een redelijk rendement is relatief goedkoop per vermeden ton CO₂-equivalent. Afhankelijk van het gewenste rendement van winning levert bestrijding geld op, is het kostenloos, of zal een beperkte investering noodzakelijk zijn. Vergeleken met de opties voor CO₂-emissiereductie, welke serieus worden overwogen, en welke meer dan honderd gulden per ton vermeden CO₂-equivalent gaan kosten (zoals opslag, Blok, 1990), zijn de bedragen voor CH₄ in feite marginaal.
- Mogelijkheden om tot een nulreductie te komen bestaan, al zijn deze wel duurder:
- Met betere technologie van gaswinning kunnen al zeer hoge rendementen worden bereikt; meer dan 80%.

Gescheiden inzameling en verwerking van de afvalfracties zal de stortgasemissie in de toekomst drastisch reduceren. Voor de verschillende fracties zullen dan wel methoden moeten worden ontwikkeld, om dit weer geschikt te maken voor hergebruik, of anders onschadelijk te maken. Verbranding, met warmteterugwinning, lijkt een goede optie voor het hout en papierafval. Bijvoorbeeld verbranding van sloophout in een speciaal gebouwde 5MW afvalverbrandingsinstallatie/biomassa-centrale is mogelijk tegen de kosten van ongeveer 100 gulden per ton sloophout [Heesink, 1990].

Broeikasgassen uit vuilstort in Nederland

De invloed van een lineaire afbouw tot nul van gestorte hoeveelheid afval tussen 1991 en 2000, op basis van de in dit rapport gebruikte gegevens staat vermeld in tabel 7.1.

Tabel 7.1 Toekomstige Nederlandse methaanemissie uit stortplaatsen bij nulstort na 2000

Jaar	methaanemissie kton/jaar/		
	k = 0,05	k = 0,10	k = 0,24
2000	323	358	259
2010	196	131	23
2020	119	48	2
2030	72	17	-
2040	44	6	-
2050	37	2	-

Het blijkt dat in het geval van een nulstort, de emissies uit stortplaatsen relatief snel afnemen, en in het meest gunstige geval zelfs binnen twintig jaar tot nul.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

- Het vaststellen van de totale emissies uit stortplaatsen, via een beperkt aantal metingen aan afgedekte oppervlakken van maximaal 10m², is gezien de inhomogeniteit van de emissie door de toplaag van de stort niet haalbaar. Dit omdat min of meer toevallige factoren de emissie door de toplaag ter plekke van de meting bepalen en de meetresultaten dus niet representatief zijn voor het totale stortoppervlak.
- Het vaststellen van de totale emissies uit stortplaatsen kan redelijk betrouwbaar worden uitgevoerd door op het midden van een bepaald stortplaatsoppervlak de door de wind meegevoerde emissie met behulp van een verticale mast te meten. Deze door de wind meegevoerde emissie kan via berekeningen worden vertaald in een gemiddelde emissie uit de bodem voor het omliggende stortplaatsoppervlak. Op deze manier bepaalt men gemiddelde emissies voor een relatief groot (<2000m²) stortplaatsoppervlak en worden inhomogeniteiten in plaatselijke emissies redelijk uitgemiddeld.
- Op basis van de meetresultaten en gegevens uit dit onderzoek is de voor Nederland afgeschatte emissie uit stortplaatsen in 1991:

CH₄: 500 ± 50% kton/jaar
 CO₂: 1400 ± 50% kton/jaar

Dit betekent ten opzichte van nu gehanteerde gegevens een verdubbeling van de methaan emissies uit vuilstortplaatsen.

Hierdoor wordt de bijdrage van storts aan de totale Nederlandse methaanuitstoot ongeveer 40%. Omgerekend naar CO₂-equivalenten wordt de bijdrage van stortplaatsen aan de totale broeikasgasemissie in Nederland 3%.

Op basis van deze metingen wordt voor de snelheidsconstante, k, van de anaërobe degradatie van biodegradeerbaar materiaal een waarde van k = 0,10 (grenzen 0,05 en 0,24) berekend. Dit komt neer op een halfwaardetijd van 7 jaar (grenzen 14 en 3 jaar).

Bij aanname dat er een lineaire afbouw tot nul van de gestorte hoeveelheid afval tussen 1991 en 2000 plaatsvindt neemt de Nederlandse emissie uit stortplaatsen snel af. Met de in dit onderzoek vastgestelde afbraaksnelheidsconstante k = 0,10 (halfwaarde tijd 7 jaar) zijn de emissies uit stortplaatsen:

Jaar	CH ₄ kton/jaar	CO ₂ kton/jaar
2000	360	980
2010	130	360
2020	50	130

- Een aanzienlijke reductie van de uit bestaande storts vrijkomende emissie is technologisch haalbaar door stortgaswinning. Voor individuele storts is emissiereductie met circa 60% veelal economisch rendabel.

- Voor toekomstig afval, zijn verwerkingsmethoden denkbaar, waarmee een nulemissie gerealiseerd kan worden. De gescheiden inzameling van papier en karton en GFT, en het ontwikkelen van methoden om deze componenten, met energierugwinning te verwerken, kan op deze manier een aanzienlijke bijdrage leveren aan de preventie van het broeikas effect.

8.2 Aanbevelingen

- De methoden voor verwerking van de papier-, karton- en de GFT-fracties moeten worden geoptimaliseerd met betrekking tot energierugwinning. De meest voor de hand liggende opties zijn verbranden en anaëroob vergisten. Onderzoek naar de optimale mix van maatregelen is nodig.
- Methoden om methaan aëroob om te zetten naar CO₂ dienen te worden onderzocht. Dit kan ook van belang zijn met betrekking tot een eventueel reinigen van stallucht (denk aan methaan uit runderen) met behulp van een biofilter.
- De invloed van de putdichtheid en afdeklaag, en dus de investering op het winrendement, dient zo spoedig mogelijk te worden gekwantificeerd.
- Maak voor het betrouwbaar meten van emissies uit stortplaatsen gebruik van de in het kader van dit onderzoek ontwikkelde methode, waarbij in het midden van een bepaald stortplaats oppervlak de door de wind meegevoerde emissie wordt gemeten. Deze door de wind meegevoerde emissie kan via berekeningen worden vertaald in een gemiddelde emissie uit de bodem voor het omliggende stortplaatsoppervlak. Deze metingen dienen bij voorkeur gedurende perioden van minimaal enkele dagen en bij diverse windrichtingen en tijdens meerdere seizoenen te worden uitgevoerd.
- De winning van stortgas op de bestaande stortplaatsen dient met vergrote inzet te worden toegepast.
- De discussie kan worden gevoerd of winning met winst nodig is, of dat van de stortplaatsbeheerders 'break even' kan worden gevraagd. Opgemerkt dient te worden, dat snelheid van handelen gewenst is, en dat langdurige discussies verslechterend kunnen werken op haalbaarheid in specifieke gevallen.

9 Literatuur

- [1] Bartelds H.,
Tweede interimrapport van de werkgroep afgasfakkels met bespreking van het rapport flare system study en besprekingsverslag van bezoek aan BASF.
TNO-rapportnr 8711-3396, blz. 6, oktober 1978.
- [2] Bingemer H.G., Crutzen P.J.,
The production of methane from solid wastes,
J. of Geophysical Res., 92, 1987, blz. 2181-2187.
- [3] Blok K.,
On the reduction of carbon dioxide emissions,
Proefschrift, Rijksuniversiteit Utrecht, 1991.
- [4] Born G.J. van der, Bouwman A.F., Olivier J.G.J., Swart R.J.,
The emission of greenhouse gases in the Netherlands,
RIVM Bilthoven, Report no. 222 901 003, June 1991.
- [5] Cicerone R.J., Oremland R.S.,
Biochemical aspects of atmospheric methane,
Global biochemical cycles, vol. 2 (4), 1988, blz. 299-327.
- [6] Ehrig H.J.,
Untersuchungen zur Gasproduction aus Hausmüll,
Müll und Abfall, 5, 1986, blz. 173-183.
- [7] Grontmij N.V.,
Gashoudingsplan N.V. VAM te Wijster,
De Bilt, januari 1990.
- [8] Heesink A.B.M.,
Studie naar haalbaarheid van kleinschalige afvalverbranding,
TNO-Rapport nr. 8726-22255.
- [9] Hoeks J.,
Significance of biogas reduction in waste tips,
Waste Management & Research, 1, 1983, blz. 323-325.
- [10] IPCC,
IPCC first assessment report, Vol 11: WG II Potential impacts
of climate changes.
- [11] Japan Environment Agency,
Methane emissions and Opportunities for Control,
US-EPA September 1990, Chapter C.1.

Broeikasgassen uit vuilstort in Nederland

- [12] Jones H.A., Nedwell O.B.,
Solid atmosphere concentration profiles and methane emission rates in the
restoration covers above landfill sites: Equipment and preliminary results,
Waste Mgmt. Res., 8, blz. 21-32.
- [13] Kinman R.N., Rickabaugh J., Lambert M., Nutini D.,
Control of methane from municipal solid waste landfills by injection of
lime and flyash,
Proc. Ind. 43rd Waste Conf., Volume Date 1988, blz. 239-250.
- [14] Klink R.E., Ham R.K.,
Effects of moisture movement on methane production in solid waste
landfill samples,
Resources and Conservation, 8, 1982, blz. 29-41.
- [15] Lippers A.H.,
VAM levert stortgas aan regionaal gasbedrijf,
I²-procestechnologie 4-91, blz. 19-22.
- [16] Mancinelli R.L., McKay C.R.,
Methane oxidizing bacteria in sanitary landfills, in: Biotechnological
advances in processing municipal waste for fuels and chemicals,
Proc. 1st Symp. Minnesota aug 15-17, 1984, blz. 437-450.
- [17] Menzel C., Rietveld F.A.J.,
De plaats van biogas in de gasvoorziening,
Gas, 1985, 9, blz. 392-400.
- [18] Nagelhout D., Wierenga K., Joosten J.M.,
Afval 2000, een verkenning van de toekomstige
afvalverwijderingsstructuur, RIVM-rapport nr. 738605002, Bilthoven,
maart 1989.
- [19] Nielen R.J.,
Kwantificering van methaanemissies als gevolg van aardgasverliezen en
oliewinning in Nederland,
TNO-Rapport 112326-21872, Juli 1991.
- [20] Orlich J.,
Methane emissions from landfill sites and water waste lagoons,
Federal Environment Agency, Berlin.
- [21] Pacey J.G., DeGier J.P.,
The factors influencing landfill gas production, Energy from landfill gas,
Proceedings of a conference jointly sponsored by the United Kingdom,
Department of Energy and the United States department of Energy, Oct.
1986, blz. 51-59.

Broeikasgassen uit vuilstort in Nederland

- [22] Rae G.,
The control of landfill gas,
Her Majesty's Inspectorate of Pollution, Waste Management Paper No. 27,
London, Her Majesty's office, 1989.
- [23] RIVM/LAE,
Gaswinning uit Nederlandse stortterreinen,
RIVM Bilthoven mei 1985.
- [24] Rovers F.A., Tremblay J.J., Moody G.,
Monitoring and Control,
Proceedings of International Seminar, Rep Eps 4-C-77-4. Fish and
Environ. Can. Waste Mgmt., Ottawa, Ontario, Canada.
- [25] M.J.J. Scheepers,
De toepassing van stortgas in Nederland,
Gas, 1991, 5, blz. 200-205.
- [26] Scheepers M.J.J.,
Schatting van de hoeveelheid stortgas dat in Nederlandse stortplaatsen
wordt gevormd,
Notitie VEG-Gasinstituut, 20 november 1991.
- [27] SVA,
Inventarisatie benodigde stortruimte,
SVA-rapport nr 532, Amersfoort, 1973.
- [28] Tabasaran O.,
Überlegungen zum Problem Deponiegas,
Müll und Abfall, 7, 1976, blz. 204.
- [29] Thorneloe S.A., Rebecca L.P.,
Landfill gas and the greenhouse effect,
EPA-Report 600/D-90/219, EPA Office of Research and Development,
Air and Energy Engineering Research Laboratory, Research Triangle
Park, North Carolina 27711.
- [30] VAM,
REGAM produceert aardgas uit afval,
VAM Mededelingen 89/4, blz. 1-4.
- [31] Wezel J.N. van, Scheepers M.J.J., Heijkoop G.,
Stortgas krijgt aardgaskwaliteit,
I²-procestechnologie 1-91, blz. 31-35.
- [32] Willumsen H.C.,
Recovery of landfill gas, Demonstration project,
Office for official publications of the European Communities,
Luxembourg, 1989, Cat: CD-NA-12365-2I-C

10 Symbolenlijst

A_0	Stortgaspotentieel	kg/ton
A_t	Cumulatieve emissie na t jaar	kg/ton
E_t	Emissie op tijdstip t	kg/ton jaar
E_t	Nederlands stortgasemissie in jaar t	kg/jaar
f	emissiefactor	m ³ /ton/jaar
k	Afbraaksnelheidsconstante voor het afval	l/jaar
k_j	Afbraaksnelheidsconstante voor de fracties	l/jaar
Q	Hoeveelheid afval gestort sinds 1970	ton
Q_i	Hoeveelheid afval gestort in het jaar i	ton
$Q_{i,j}$	Hoeveelheid van fractie j gestort in jaar i	ton
t	Tijd	jaar
$t_{1/2}$	Halfwaardetijd	jaar

11 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever
 Programma commissie Nationaal Onderzoekprogramma
 "Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering";
 Ministerie van VROM Directie Afvalstoffen
 Ministerie van VROM Directie Lucht
 Afvalverwerking Regio Nijmegen (ARN B.V.)
 Afvalverwijdering Rivierenland (AVRI)
 N.V. Vuilafvoer Maatschappij (VAM)

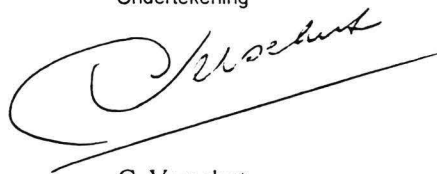
Namen en functies van de medewerkers

C. Verschut	- onderzoekleider
W. van de Kamp	- medewerker
H. Brouwer	- medewerker
W. van Marwijk	- medewerker
Ing. T. Boom	- medewerker
W. Mulder	- medewerker
Ir. J. Oonk	- medewerker
Ir. N.J. Duijm	- medewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed
 TNO-IMW afdeling Analytische chemie, Delft

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
 januari tot en met december 1991

Ondertekening



C. Verschut
 onderzoekleider

Goedgekeurd door



Ir. J.I. Walpot
 werkgroep­leider

Bijlage 1 **Bepaling van de emissie uit de bodem aan de hand van metingen van de verticale concentratieprofielen en windsnelheidsprofielen**

Emissies uit de bodem worden door de wind meegevoerd. Indien men op een bepaalde plaats meet hoeveel verontreiniging door de wind wordt meegevoerd, weet men hoeveel er bovenwinds door de bodem is geëmitteerd. Als de emissie in dwarsrichting homogeen is, en men bevindt zich ver genoeg van de zijkant van het emissiegebied (afstand tot zijrand is groter dan circa 1/5 van de bovenwinds rand) kan men volstaan met de meting op één plaats in verticale richting, aangezien in dwarsrichting geen gradiënt aanwezig zal zijn: de 'flux' is op iedere dwarswindse plaats dezelfde *mits de emissie dwarswinds homogeen is*.

De emissie per eenheid breedte bovenwinds van het meetpunt is de (uniforme) emissieflux F_z [kg/s m²] maal de bovenwindse lengte L [m] tot de rand van het emissiegebied:

$$F_z \cdot L = \int_0^{\infty} \bar{c}(z) \cdot \bar{u}(z) \, dz$$

met $\bar{u}(z)$ de gemiddelde windsnelheid gedurende de meting voor een bepaalde windrichtingssector.

Uit de metingen dient nu de integraal van $u \cdot c$, de met de wind meegevoerde massa van verontreiniging, bepaald te worden.

Wilson [1] argumenteert dat het bij een gegeven lengte L (idealiter cirkelvormig gebied met straal R omdat dan voor iedere windrichting het resultaat gelijk is) op een bepaalde hoogte z het produkt $u \cdot c$ evenredig is met de totale flux, ongeacht de stabiliteit. Er is hierbij eerder sprake van een plezierig artefact dan van een verklaarbaar algemeen voorkomend fysisch verschijnsel, en daarom zijn de huidige metingen op een aantal hoogten uitgevoerd.

Windsnelheidsprofiel

Uit de metingen op 1, 3 en 10 m hoogte is het windsnelheidsprofiel benaderd. Dit is gebeurd door een logaritmisch profiel te leggen voor hoogten beneden 3 m door de meetpunten op 1 en 3 m en voor hoogten boven 3 m door de meetpunten op 3 en 10 m.

Het logprofiel wordt geschreven als

$$u(z) = u(z_1) \cdot \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z/z_1)}$$

In een homogeen profiel dient de waarde van z_0 beneden en boven 3 m gelijk te zijn. In de praktijk blijkt dit meestal niet zo te zijn. Dit betekent dat er sprake is van inhomogeen terrein, zoals begroeiing (heggen), dijken en/of taluds binnen een afstand van 200 m vanaf het meetpunt.

Het betekent ook dat de profielen slechts bij benadering goed zijn. Boven 1 m zijn de profielen vrij vlak, en grote fouten zullen daar niet optreden.

Beneden 1 m neemt de snelheid snel af. Omdat daar ook de grootste concentraties optreden, zijn fouten in dat deel van het snelheidsprofiel belangrijk.

De snelheid op 0,5 m, welke bij de integratie gebruikt wordt, heeft een fout van ten hoogste $\pm 20\%$.

Dit leidt tot een fout in de bepaling van de totale flux van ten hoogste $\pm 7\%$.

Concentratieprofiel

De concentratiemetingen op 0,5 m, 1 m, 2 m, 4 m en 10 m zijn op lineair grafisch papier uitgezet. Een vloeiende curve is met de hand ingetekend, en concentratiewaarden op hele meters hoogte afgelezen. De concentratie op 10 m is altijd als achtergrondconcentratie beschouwd.

Berekening van de door de wind meegevoerde emissie

De genoemde integraal is met de rechthoeksregel benaderd, waarbij de concentratie en windsnelheid op 0,5 m representatief geacht worden van 0-0,75 m, die op 1 m van 0,75-1,5 m, die op 2 m van 1,5-2,5 m, enzovoort.

De berekening is met name gevoelig voor de discretisatie (stapgrootteverdeling) beneden 1 m. Een andere discretisatie leidt tot een afwijking van circa $\pm 6\%$.

De veronderstelling dat op lagere hoogten dan 10 m het achtergrondniveau bereikt wordt, leidt tot afwijkingen van circa $\pm 13\%$ (Dit is waarschijnlijker naarmate de bovenwindse rand van het emissiegebied dichterbij ligt.).

De nauwkeurigheid van de totale door de wind meegevoerde emissie is aldus circa $\pm 25\%$. Hierbij wordt geen rekening gehouden met inhomogeniteiten van de emissie in dwarswindse richting.

Berekening van de emissie uit de bodem

De emissie uit de bodem volgt door de door de wind meegevoerde emissie te delen door de lengte L tot de bovenwindse rand van het emissiegebied (kg/s m^2) over die lengte. De nauwkeurigheid is gelijk aan de nauwkeurigheid waarmee men deze bovenwindse lengte kan bepalen. Bij begrenzingen welke niet loodrecht op de windrichting staan, kan de lengte L geschat worden uit de gemiddelde lengte tot de rand gezien vanuit het meetpunt over een hoek van 10° tot 15° aan weerszijden van de gemiddelde windrichting tijdens de meting.

- [1] Wilson, J.D.
Estimation of the rate of gaseous mass transfer from a surface source plot to the atmosphere.
Atm. Env. Vol. 16, no. 8, 1982.

Bijlage 2 Neerslaggegevens

De neerslaggegevens zijn etmaal totalen voor een periode van 10 uur tot 10 uur en hebben betrekking op de achterliggende periode.

Datum	Plaats	Neerslag mm
3/6	Volkel	2,5
4/6	Volkel	0,1
5/6	Volkel	0,0
6/6	Volkel	0,0
7/6	Volkel	8,1
8/6	Volkel	0,4
9/6	Volkel	3,5
11/6	Dwingelo	3,5
12/6	Dwingelo	1,7
13/6	Dwingelo	12,2
14/6	Dwingelo	11,1
15/6	Dwingelo	2,0
16/6	Dwingelo	14,0
17/6	Dwingelo	1,1
18/6	Dwingelo	4,6
19/6	Dwingelo	3,1
20/6	Dwingelo	10,4
21/6	Dwingelo	1,1
22/6	Dwingelo	8,6
23/6	Dwingelo	2,4
24/6	Geldermalsen	2,4
25/6	Geldermalsen	3,8
26/6	Geldermalsen	9,5
27/6	Geldermalsen	2,3
28/6	Geldermalsen	17,9
29/6	Geldermalsen	0,7
30/6	Geldermalsen	0,0
15/7	Volkel	0,0
16/7	Volkel	0,1
17/7	Volkel	0,1
18/7	Volkel	4,8
19/7	Volkel	0,5
20/7 t/m 23/7	Volkel	0,0
24/7	Volkel	8,4
24/7	Geldermalsen	3,8
25/7	Geldermalsen	6,8
26/7	Geldermalsen	0,8
27/7 t/m 30/7	Geldermalsen	0,0
31/7	Geldermalsen	1,8
1/8	Geldermalsen	0,7
26/8 t/m 6/9	Dwingelo	0,0

ARN stortplaats Volkel
AVRI stortplaats Geldermalsen
VAM stortplaats Dwingelo

Stortplaats	Gemeente	Opp. [HA]	Stort- hoogte [m]	Hoeveelheid gestort afval m ³	Afdeklaag		Periode van storten	Bijzonderheden
					Soort	Dikte [m]		
Weperpolder	Oosterwolde	13,5	12 - 14	1 × 10 ⁶ m ³	grond	0,7	1970 - 1990	gasbellen, reuk
Ouwsterhante	Ouwsterhante	29	8	2 × 10 ⁶ m ³	leem-grond zand bentoniet	0,5 1	1970 - 1989	gasbellen, gaswin- ning 300 m ³ /uur
Zwagermieden	Zwagermieden	16,4	1,5 - 2,5	0,35 × 10 ⁶ m ³	keileem/veen + zuiverings-slib	1	1974 - 1981	overwegend bouw- en sloopafval
Garijperhoek	Garijp	8	4,5	0,2 × 10 ⁶ m ³	grond	0,7	1981 - he- den	bouw- en sloopafval
Herbayum	Herbayum	3	4	0,12 × 10 ⁶ m ³	folie en grond	0,7	1982 - 1989	bouw- en sloopafval
Skinkeskans	Leeuwarden	9,3	8 - 10	0,2 × 10 ⁶ m ³	-	-	1989 - he- den	bedrijfsafval + bouw- en sloopafval

Stortplaats	Gemeente	Opp. [HA]	Stort- hoogte [m]	Hoeveelheid gestort afval ton	Afdeklaag		Periode van storten	Bijzonderheden
					Soort	Dikte [m]		
Coevorden	Coevorden	1,35			grond	0,5	1965 - 1980	
Odoorn	Odoorn	9			grond	0,8	1965 - 1987	
Roden	Roden				grond	0,8	1965 - 1990	
VAM	Wijster	50	20 - 35	12,85 × 10 ⁶	In aanleg		1970 - heden	gaswinning

Stortplaats	Gemeente	Opp. [HA]	Stort- hoogte [m]	Hoeveelheid gestort afval ton	Afdeklaag		Periode van storten	Bijzonderheden
					Soort	Dikte [m]		
De Stokte	Dalfsen	8					1959	
't Rikkerink	Ambt Delden	27					1969 - 1982	gaswinning
Pluimersdijk	Diepenheim	1,5					1950	
't Wechelerveld	Diepenveen	6					1966 - 1984	
Randerwaarden/Evers	Diepenveen	4,69					1973 - 1987	
060.07	Enschede	3					- heden	
060.08	Enschede	3,12					- heden	
Collendoorn	Hardenberg	20,8					1950 - 1980	onderzoek- gaswinning
090.07	Hardenberg	50					1986 -	
Hulsen	Hellendoorn	14,4					1968 - 1981	
Boeldershoek	Hengelo	85					- heden	gaswinning
Tiekeveen	Losser	3,36					1975 - 1988	
Elsenerveld	Markelo	9,43					1969 - 1987	Onderzoek- gaswinnig
Hogebroeksweg	Raalte	8,63					- 1989	
't Wiede gat	Staphorst	3,78					1966 - 1987	
Steenakkers	Steenwijk	23					1950 - 1977	
Vasse	Tubbergen	4,25					1976	gaswinning
Westerveld	Zwolle	31,25					- 1988	

Stortplaats	Gemeente	Opp. [HA]	Stort- hoogte [m]	Hoeveelheid gestort afval ton ¹	Afdeklaag		Periode van storten	Bijzonderheden	
					Soort	Dikte [m]			
Aanschoterweg	Barneveld	9	15	201.390 (34.470)			- heden	gaswinnig wordt overwogen	
Reefweg	Bergh en Gendringen			149.970 (52.140)			- 1990		
Wekeromseweg	Ede			170.122 (83.560)			- ?		gesloten?
Het Bellegoor	Ecbergen			126.000 (55.200)			- heden		
Ullerberg	Ermelo			280.762 (140.262)			- heden		
AVRI	Geldermalsen			179.177 (72.813)			- heden		t/m 1990: 1,7 × 10 ⁶ ton
	Hattem			67.964 (31.920)			- heden		
Armhoede	Lochem			43.590 (21.700)			- heden		
De Kril	Nunspeet			78.489 (29.146)			- ?		
Sluinerweg	Voorst			98.975 (19.087)			- heden		
Keyenbergseweg	Wagenigen			106.360 (29.800)			- heden		
Driemarkweg	Winterswijk			413.630 (62.900)			- ?		
	Zelhem			? (77.140)			- heden		
	Zutphen			115.353 (41.875)			- heden		
ARN	Beuningen				- heden				

¹⁾ Getal tussen de haakjes duidt op de hoeveelheid huishoudelijk- en grof huisvuil.
Het opgegeven tonnage heeft betrekking op de periode 1983- 1984 en 1985

Stortplaats	Gemeente	Opp. [HA]	Stort- hoogte [m]	Hoeveelheid gestort afval ton	Afdeklaag		Periode van storten	Bijzonderheden
					Soort	Dikte [m]		
H.N. van der Eijk	Houten	5	3			0,35	1964 -	gaswinning
Mastwijk	Montfoort	16	12			0,35	1939 - 1977	
Maarsbergen	Maarn	8	20			0,35	1968 - 1979	

Stortplaats	Gemeente	Opp. [HA]	Stort- hoogte [m]	Hoeveelheid gestort afval ton	Afdeklaag		Periode van storten	Bijzonderheden
					Soort	Dikte [m]		
Velsen	Velsen				teelaarde		gesloten	recreatiegebied; geen huisvuil gestort; na sluiten wel gas- ontwikkeling, nu niet meer; exploitatie gas niet lonend
Hollandse Brug	Naarden						1979 - heden	storten van huisvuil
Nauernasche Polder	Zaanstad						1979 - heden	niet toegestaan
Westwoud ¹⁾	Drechsterland	30	6,5 - 7	1,5 × 10 ⁶ ton	grond	1	1972 - 1987	Stortgas komt vrij
Wieringenmeer ¹⁾	Wieringenmeer	30	12		grond	1	1985 - heden	aandeel huisvuil 640.000 ton

¹⁾ Beheer stortplaatsen Samenwerkingsorgaan W-Friesland; Contactpersoon: J.F.N. Velslerboer

Stortplaats	Gemeente	Opp. [HA]	Stort- hoogte [m]	Hoeveelheid gestort afval m ³	Afdeklaag		Periode van storten	Bijzonderheden
					Soort	Dikte [m]		
Midden Zeeland ¹⁾ Koegorspolder ¹⁾ Tuttelhoek ¹⁾ Schelphoek ²⁾	Borssele Terneuzen Tholen Westerschouwen Koudekerke Sas van Gent	6 13,8	tot 8	1,21 × 10 ⁶ m ³	grond grond klei	0,5	1973 - heden 1977 - heden 1963 - 1991 1974 - heden 1973 - heden 1981 - heden	gaswinning bedrijfsafvalstoffen fa. Wielemaker Bedrijfsafval en bouw- en sloopafval

¹⁾ aanvullende informatie gevraagd bij plaatselijke stortplaatsbeheerders; geen informatie ontvangen

²⁾ Informatie verkregen bij plaatselijke stortplaatsbeheerders; contactpersoon: N.J. Eilers

Stortplaats	Gemeente	Opp. [HA]	Stort- hoogte [m]	Hoeveelheid gestort afval ton	Afdeklaag		Periode van storten	Bijzonderheden
					Soort	Dikte [m]		
De Kragge I	Wouw	24	15	$1,3 \times 10^6$	schone grond	1	1950 - 1988	gaswinning
De Kragge II	Wouw	30	15	3×10^6	schone grond	1	1989 - heden	benut opp. 7 HA
Bavel-Dorst	Breda	32	18	3×10^6	schone grond	1	1977 - heden	gaswinning 1200 m ³ /uur
Spuider	Tilburg	100	20	8×10^6	schone grond	1	1967 - heden	gaswinning
	Waalwijk	13	12	$1,2 \times 10^6$	schone grond	1	1969 - 1988	
Vlagheide	Schijndel	41,5	18	2×10^6	schone grond	1	1976 - heden	huisvuil circa 60%
Voorste Heide	Berghem	4	10	$0,2 \times 10^6$	schone grond	1	1987 - heden	Fakkelt
	Uden	8	10	$0,6 \times 10^6$	schone grond	1	1958 - heden	
	Haps	4	10	$0,35 \times 10^6$	schone grond	1	1986 - heden	
N.V. RAZOB	Nuenen	50	50	5×10^6	schone grond	1	1978 - heden	gaswinning
Neerendonk	's-Hertogenbosch	15	6	$0,4 \times 10^6$	schone grond	1	1975 - heden	Bedrijfsaval en bouw- en sloopafval

Stortplaats	Gemeente	Opp. [HA]	Stort- hoogte [m]	Hoeveelheid gestort afval m ³	Afdeklaag		Periode van storten	Bijzonderheden
					Soort	Dikte [m]		
Langen Akker	Berg en Terblijt	9,5			grond	0,3	1976 - 1989	stortgas komt vrij
Groeve Kruisberg	Meerssen	6,5	10 - 20		grond + teelaarde	0,7 + 0,3	1970 - heden	stortgas komt vrij
Mook	Mook	3,32	6		grond	0,8	1976 - heden	stortgas komt vrij
Zuringspeel	Horst	24,25	15		grond	0,3	1970 - 1990	Fakkels, stortgas komt vrij
Linne Montfort	Linne	21	21				1950 - heden	gaswinning
Weert	Weert	23	19		grond	0,3	1970 - heden	stortgas komt vrij
Schinnen	Schinnen	17	40		grond	0,3	1969 - heden	stortgas komt vrij
Groeve Houben	Spanbeek	4,5	40		grond		1970 - heden	stortgas komt vrij
Ubach over Worms	Ubach over Worms	22,1	37	> 1,5 × 10 ⁶ m ³	gedeeltelijk grond	1	1974 - heden	gasonttrekkings-systeem wordt aangelegd
Groeve Belvédère	Maastricht	12,5	25		grond of leem	0,3	1978 - heden	Fakkels
Groeve Teunesen	Gennep	5	11	550.000 m ³			1978 - 1990	
Wambach Groeve	Tegelen	8	12	> 2,5 × 10 ⁶ m ³			1975 - heden	
Stort Kirkels	Weert	3,66	9		grond	0,3	1977 - 1991	Bouw en slooafval
Groeve Boymans	Schinnen	4,5	22 - 27				1974 - heden	
Groeve Meulenberg	Stein	2,1	15	200.000 m ³	grond	1	1980 - heden	mest
Groeve Martens	Beek	3,2	23		grond	0,3	1982 - heden	bedrijfsafval
Groeve Blom	Berg en Terblijt	7		> 500.000 m ³	grond + teelaarde	1 + 0,3	1974 - heden	

Bijlage 4 Bepaling van de k-waarden

In de literatuur de volgende relatie gegeven voor de stortgasemissie op een tijdstip t (zie hoofdstuk 2).

$$E_t = k A_0 e^{-kt} \quad [\text{B.4.1}]$$

Voor de emissie van een vuilstort, waar gedurende een aantal jaar een bepaalde hoeveelheid is gestort, kan deze relatie worden omgewerkt tot:

$$E_t = \sum_{i=1970}^t Q_i (k A_0 e^{-k(t-i)}) \quad [\text{B.4.2}]$$

Voor bepaling van de factor k hierin, voor de verschillende stortplaatsen, zij de volgende gegevens nodig:

- de geproduceerde hoeveelheid stortgas
- de factor A_0 ,
- de hoeveelheid gestort materiaal en de ouderdom hiervan.

Omdat het stortgas, dat op een bepaalde plaats geproduceerd wordt niet perse op diezelfde plaats hoeft te worden geëmitteerd, kan lokaal op een stort geen waarde van k worden afgeschat. Door voor een stort de gemiddelde gemeten emissie te correleren aan de gemiddelde hoeveelheid afval, welke in de loop der jaren is gestort, is het wel mogelijk een waarde van k voor de gehele stort af te leiden.

De gemiddelde emissies zijn voor de AVRI en de VAM gebaseerd op de mastmetingen, en voor de ARN op de doosmetingen, als beschreven in dit rapport. Tabel B4.1 geeft een overzicht van de gebruikte gegevens.

Broeikasgassen uit vuilstort in Nederland

Tabel B.4.1 Gegevens van de stort

	ARN	AVRI	VAM
gemiddelde stortgasemissie m ³ ton/jaar	18,9	13,2	5,7
waarvan CH ₄	4,6	6,6	2,4
CO ₂	14,3	6,6	3,3
Samenstelling (% jr⁻¹)			
1970	-	1,2	0,4
1971	-	1,2	1,0
1972	-	1,2	2,1
1973	-	1,2	3,3
1974	-	1,2	4,6
1975	-	1,2	5,1
1976	-	1,2	7,1
1977	-	1,2	3,2
1978	-	1,2	-
1979	-	1,2	2,3
1980	-	5,1	-
1981	-	3,9	4,3
1982	-	3,9	7,7
1983	-	3,9	-
1984	-	3,9	-
1985	-	3,9	6,7
1986	-	9,1	3,6
1987	14,2	12,2	4,6
1988	32,0	12,2	9,1
1989	33,4	6,2	10,6
1990	20,0	14,9	11,4
1991	0,4	8,7	12,5

Met behulp van deze gegevens, en door gebruik van relatie B4.2 kunnen de verschillende waarden van k via trial and error worden bepaald. Dit kan op een tweetal manieren:

- op basis van totaal stortgas,
- op basis van de CH₄-emissie.

ad a) Men kan het totale volume stortgas in de berekening betrekken. Op deze manier wordt de berekening niet verstoord door een eventuele omzetting van CH₄ in CO₂. Nadeel is wel, dat bij de aanwezigheid van nog andere CO₂ bronnen het beeld verstoord wordt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de ARN, waar het compost nog een mogelijke CO₂-bron is.

ad b) Men kan de hoeveelheid gemiddelde methaan correleren, aannemende dat het vrijkomende stortgas 50 vol% CH₄ bevat. Op deze manier storen andere CO₂-bronnen de berekening niet. Het eventueel in de toplaag geoxydeerde methaan wordt echter niet in de berekening betrokken.

Bij berekeningen bleken er nog twee bijzondere gevallen op te treden:

- ad c) In het geval van de ARN komt het gas voornamelijk vrij op de niet afgedekte gedeelten. De hier gemeten emissie moet worden gecorrigeerd aan de samenstelling van de totale stort: Met andere woorden de kwantificering dient hier te gebeuren door de flux door het oppervlak te relateren aan de totale hoeveelheid gestort materiaal.
- ad d) Voor de AVRI wordt door de stortplaatsbeheerder een A_0 van 200 opgegeven.

Onder aanname van waarde voor A_0 van 180 tot 1986, en een hedendaagse waarde van 170 [Beker, 1990], en een concentratie van 50% CH_4 in het gas (van belang in methode b) worden de waarden, als beschreven in tabel B4.2 verkregen.

Tabel B.4.2 Berekende waardes van k (in jr^{-1})

	methode a	methode b	methode c	methode d
ARN	-	0,09	0,07	-
AVRI	0,24	0,24	-	0,19
VAM	0,07	0,05	-	-

ARN LOKATIE 18

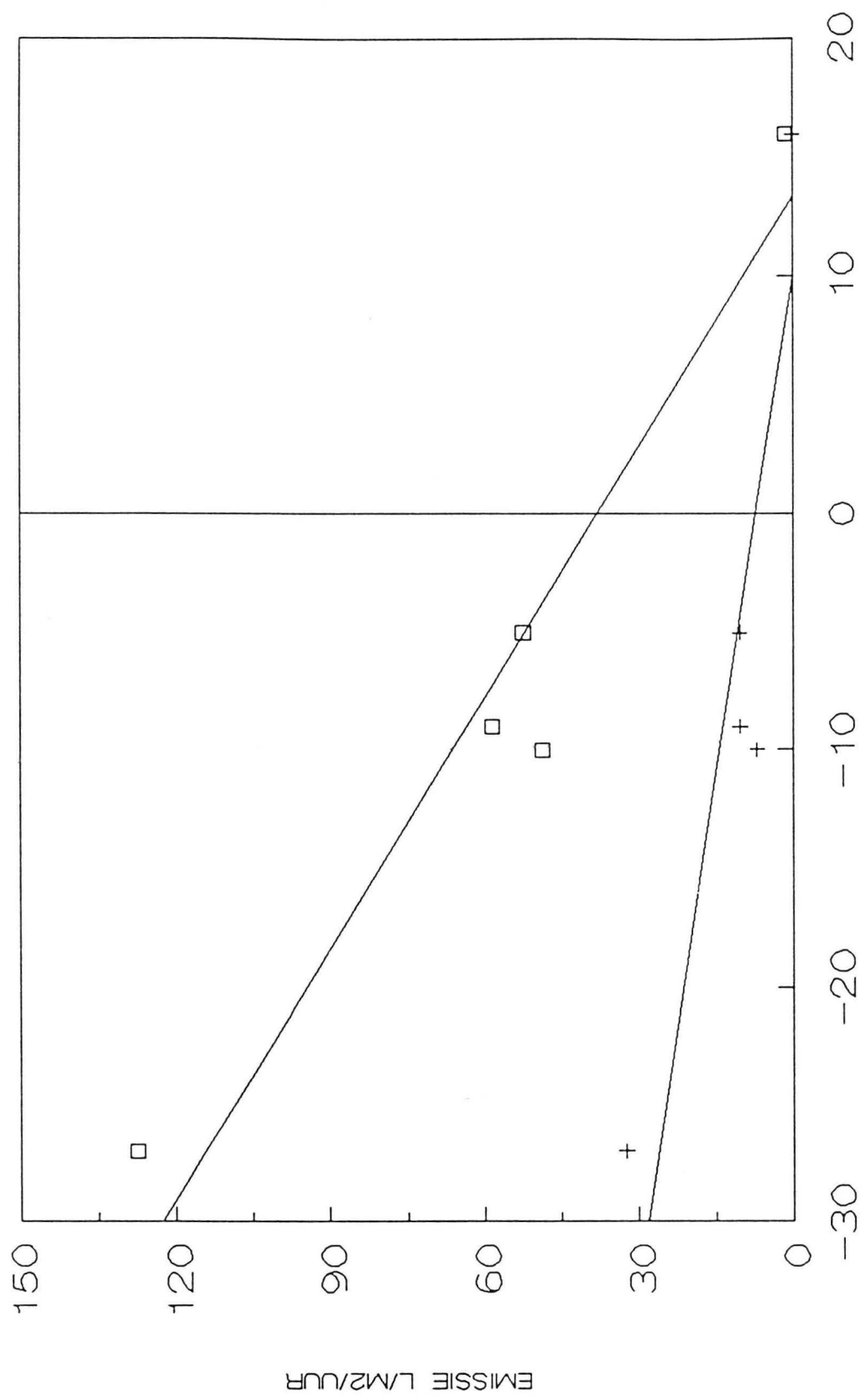


FIG 1

DRUK Pa + CH4

□ CO2

RELATIVE EMISSIE / DRUK
ARN LOKATIE 32

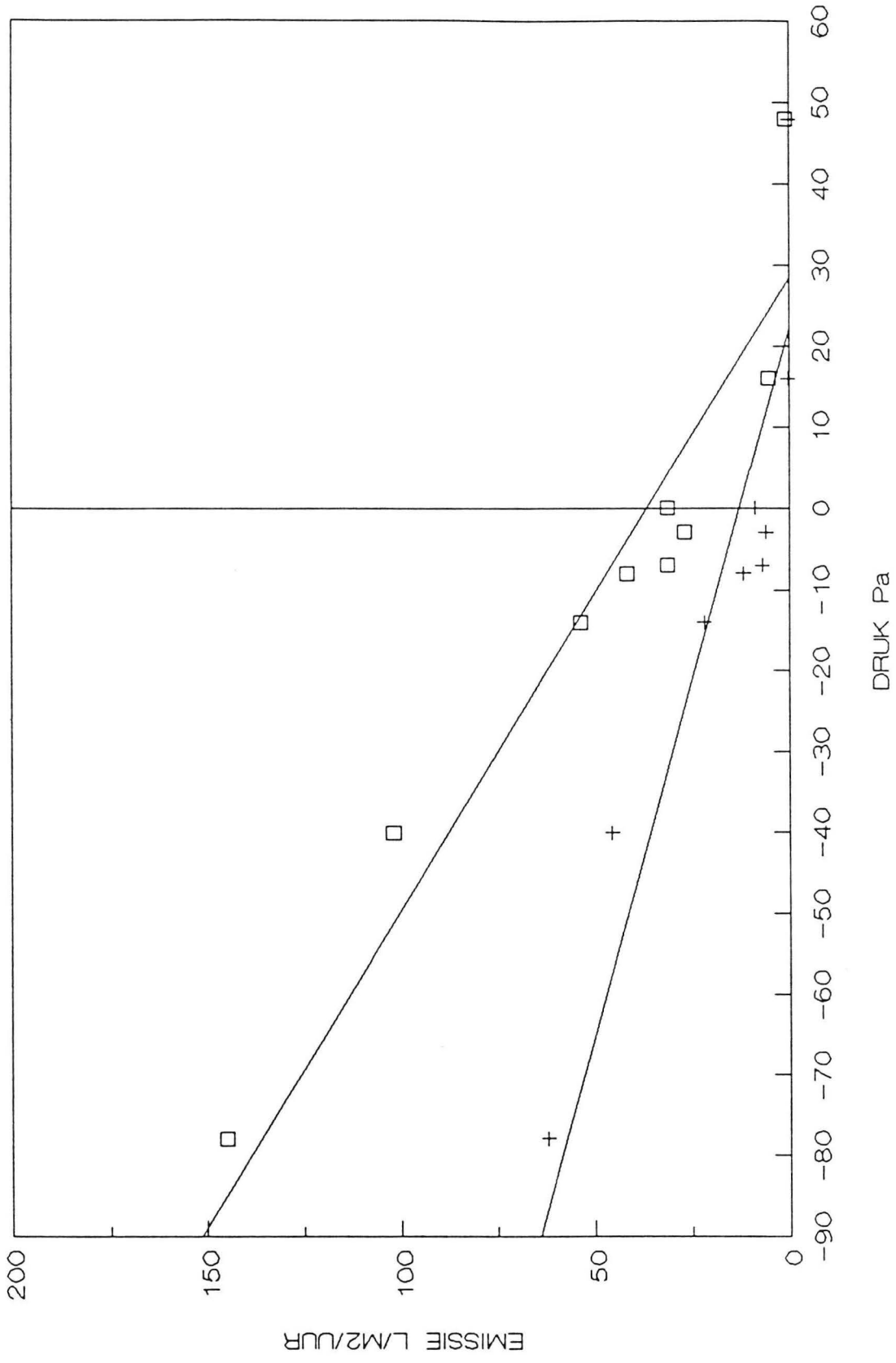
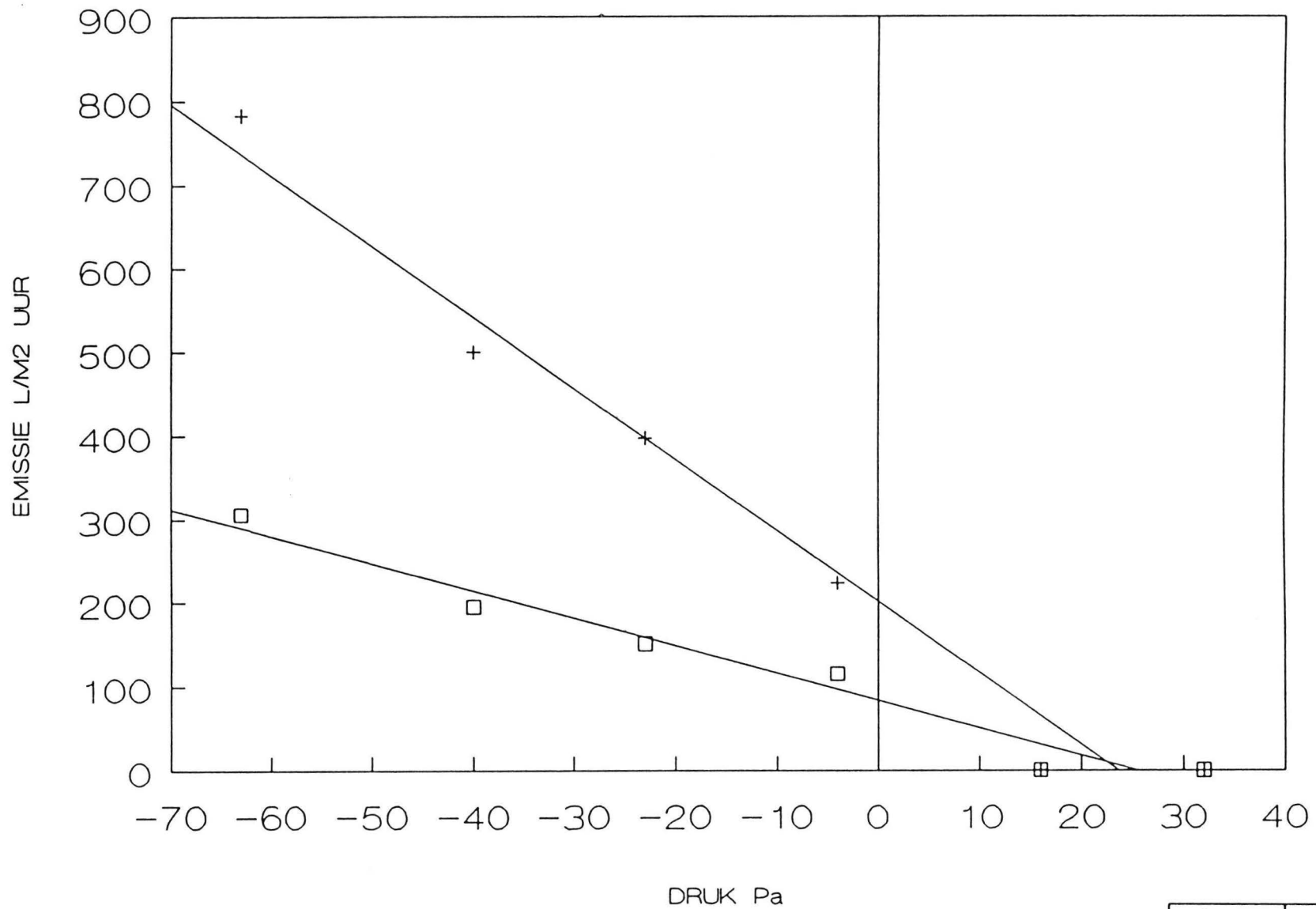


FIG 2

AVRI LOKATIE 2.17



□ CO₂

+ CH₄

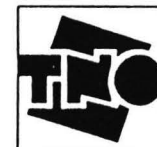
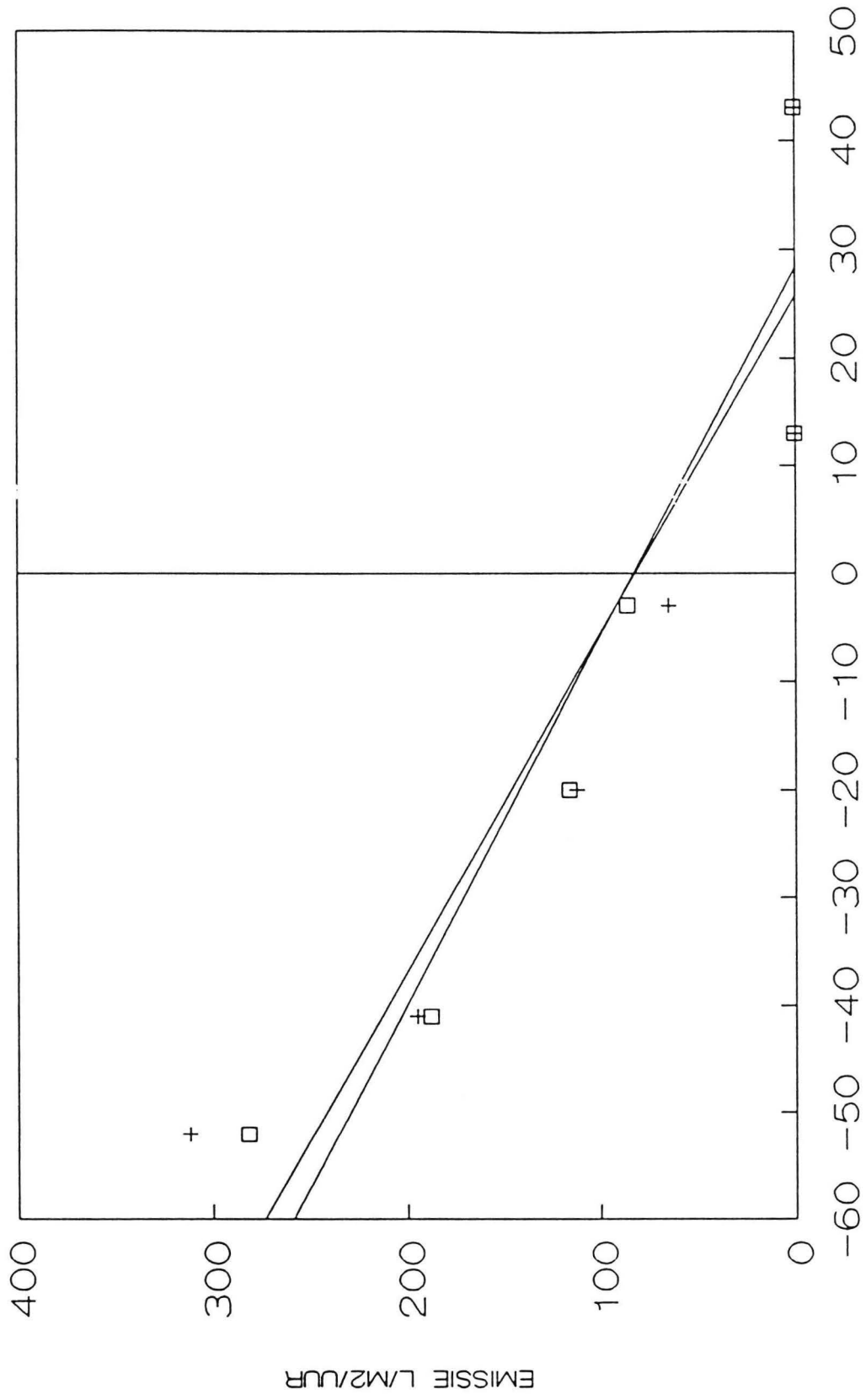


FIG
3

AVRI LOKATIE 10.28

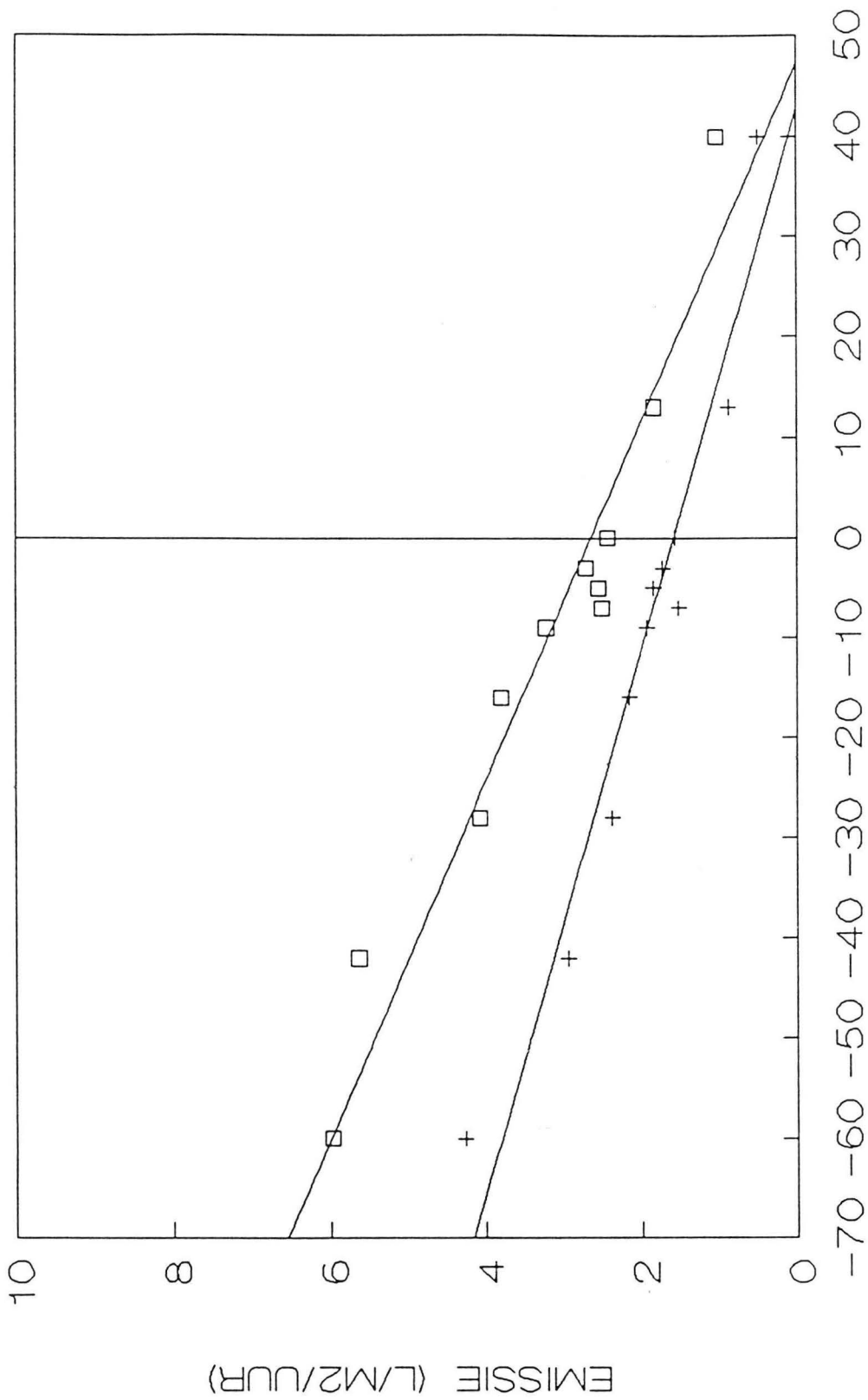


DRUK Pa
+ CH4

□ CO2



FIG 4



DRUK (PA)

□ CH₄

+ CO₂

FIG
5



EMISSIE / SNELHEID ARN LOKATIE 32

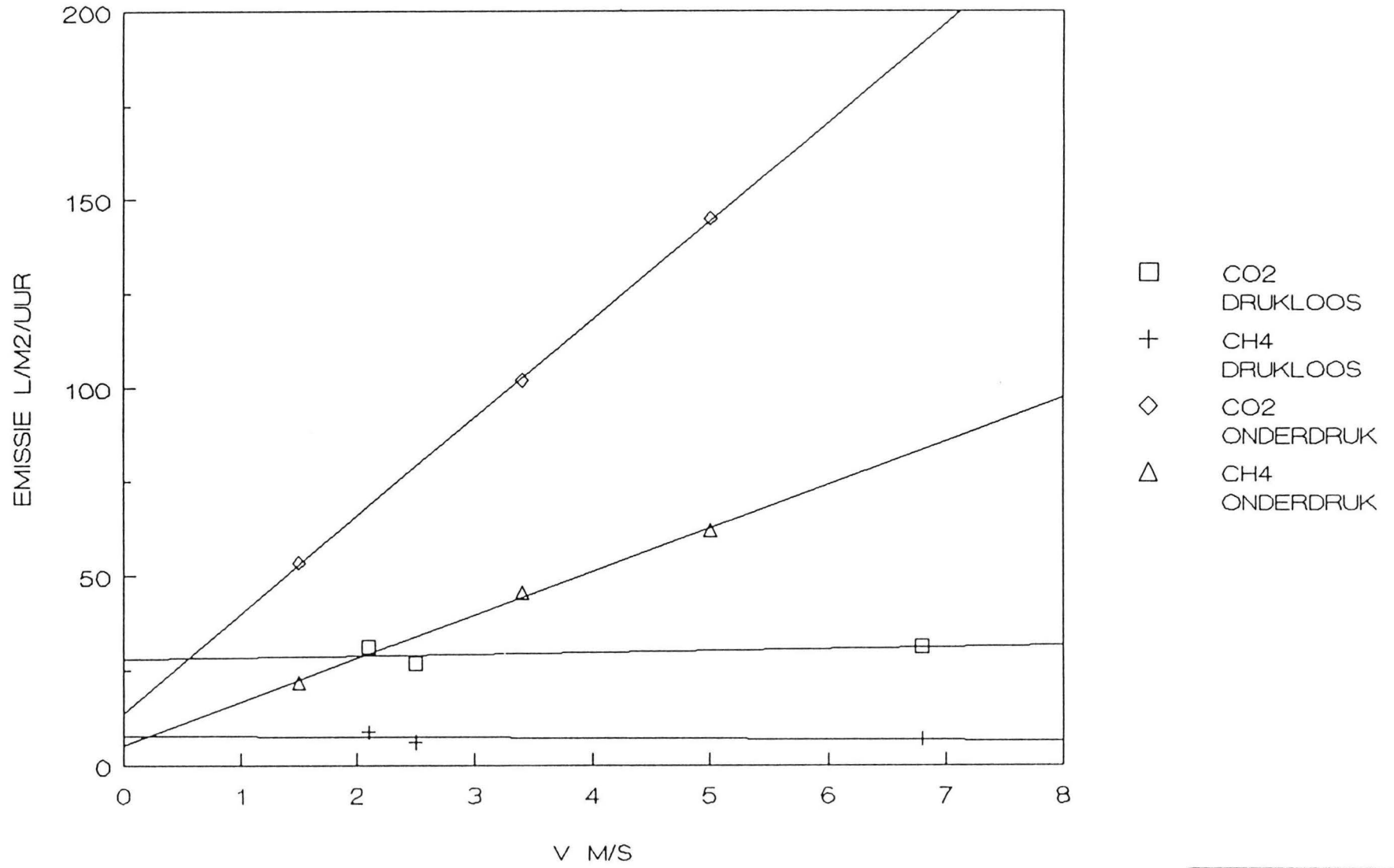


FIG
6

EMISSIE LIMISSIE / SNELHEID
 VAM DOOS 2 19 EN 21/6

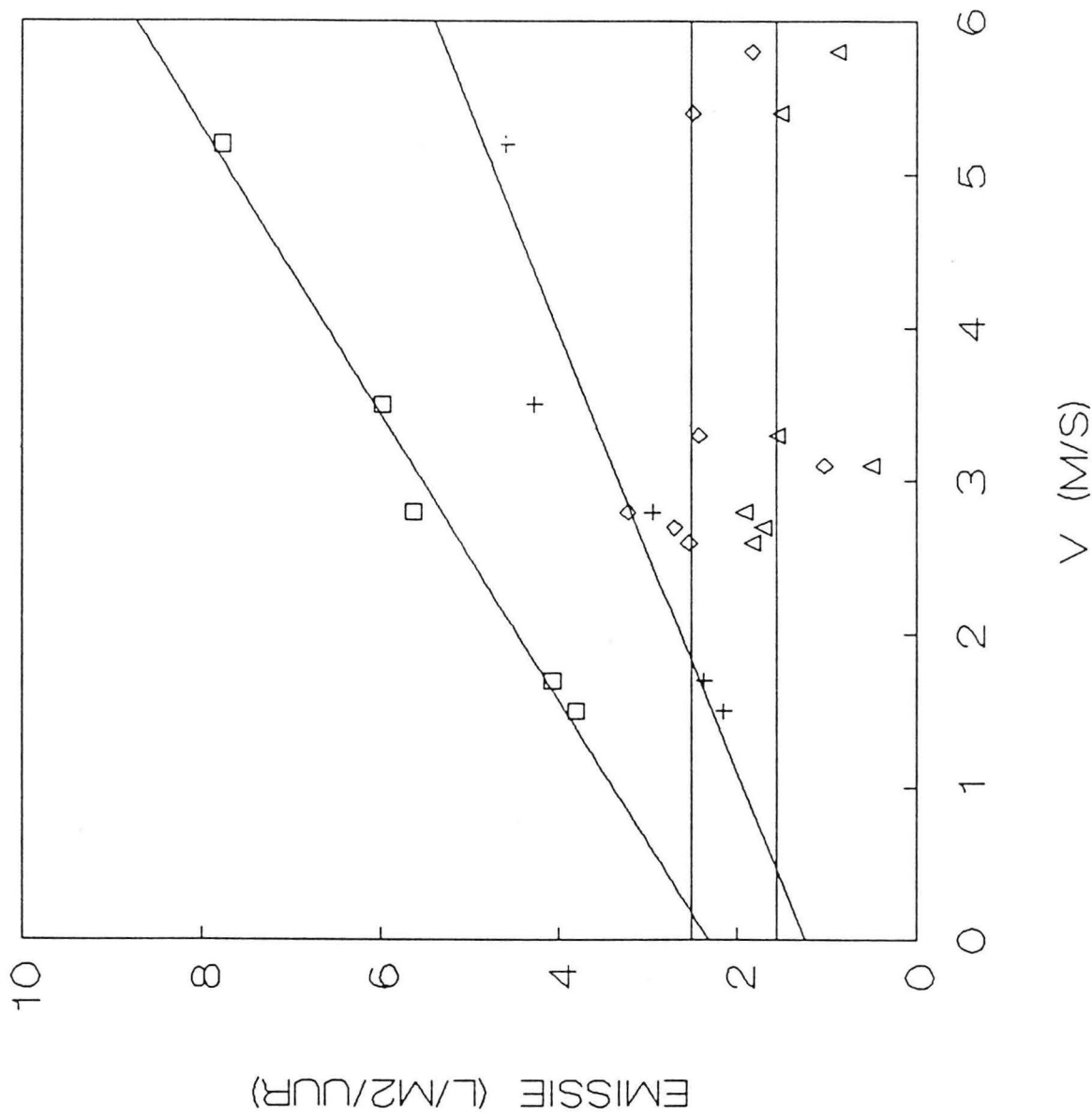
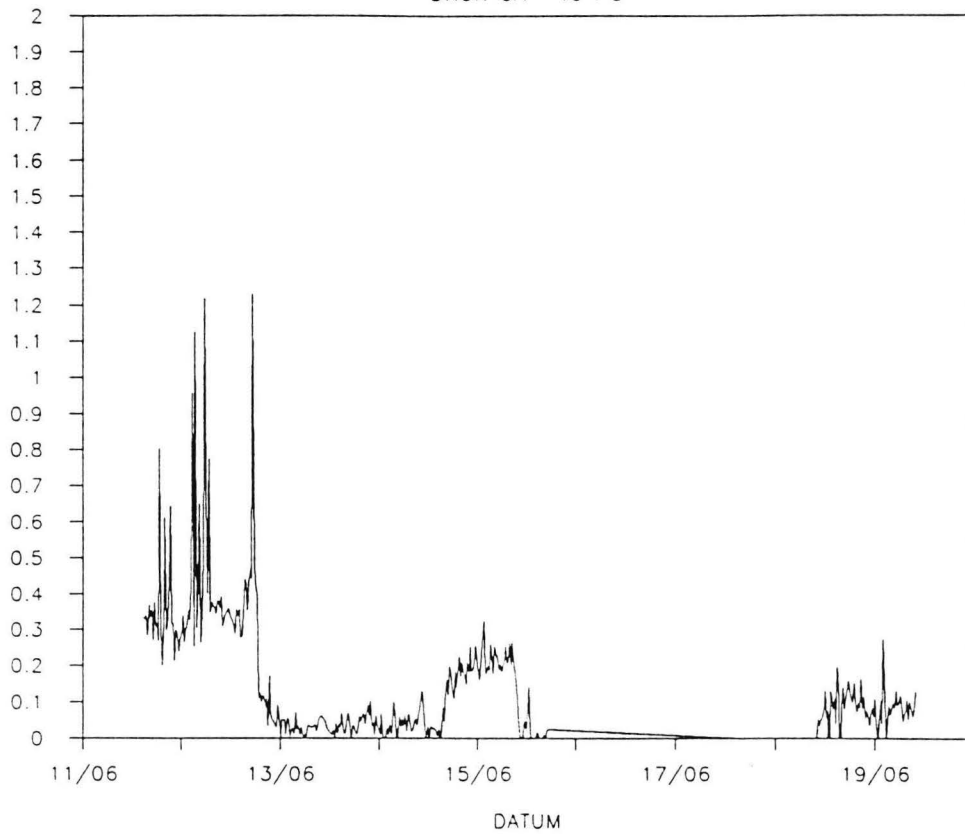


FIG 7

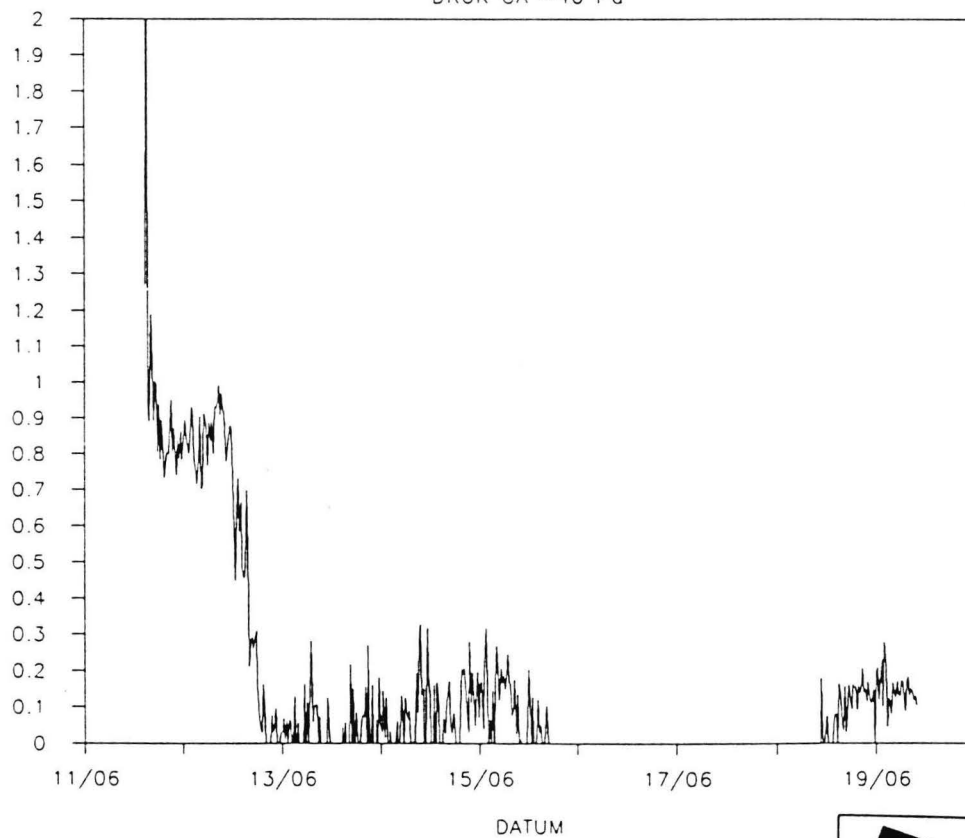
CH4 EMISSIES VAN LOKATIE I DOOS 1

DRUK CA -40 Pa



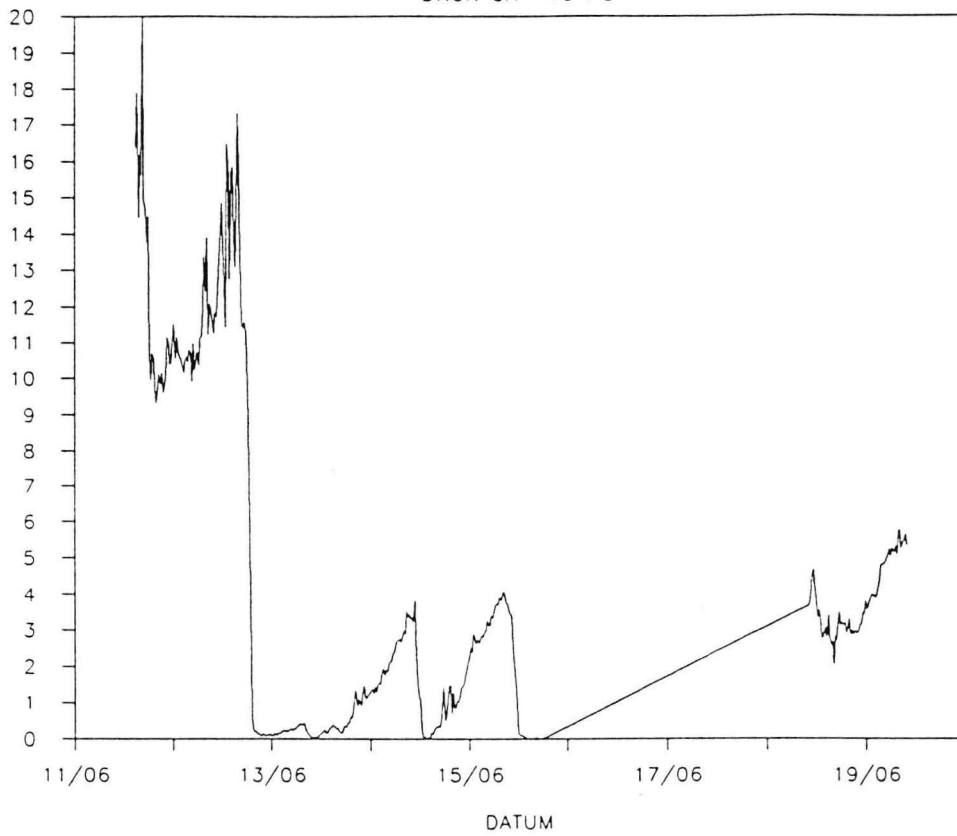
CO2 EMISSIES VAN LOKATIE I DOOS 1

DRUK CA -40 Pa



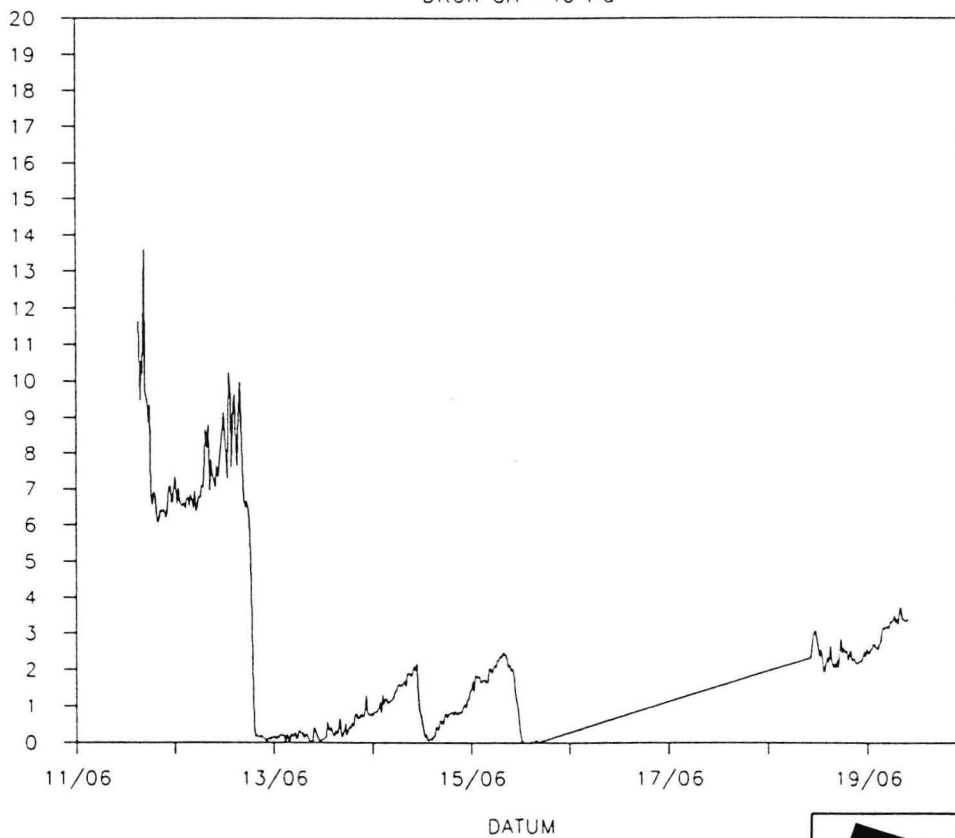
CH4 EMISSIES VAN LOKATIE 1 DOOS 2

DRUK CA -40 Pa



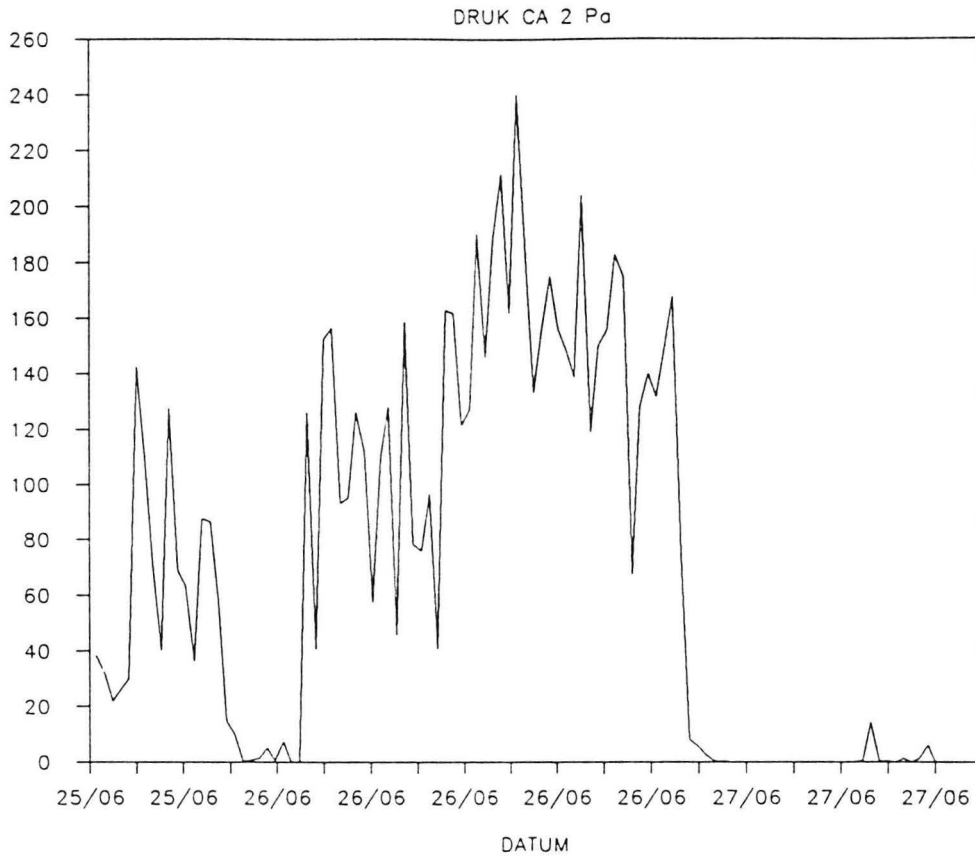
CO2 EMISSIES VAN LOKATIE 1 DOOS 2

DRUK CA -40 Pa



CCH4 L/M2/UUR

CH4 EMISSIES AVRI LOKATIE 14.15



CO2 EMISSIES AVRI LOKATIE 14.15

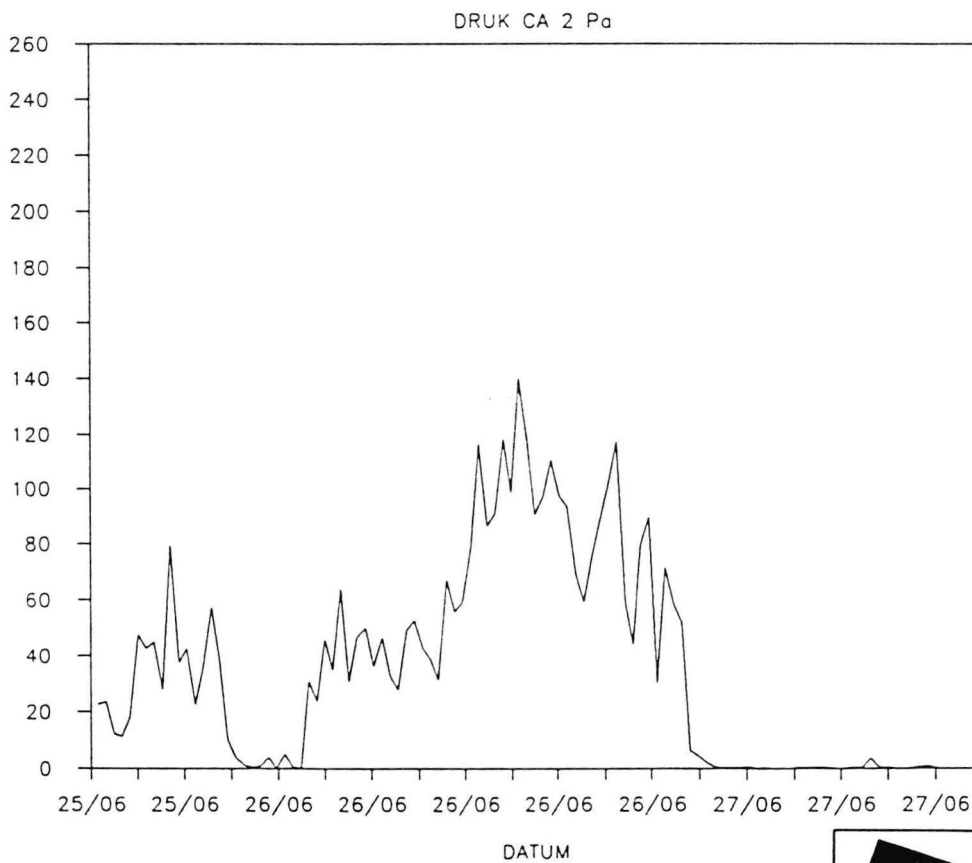
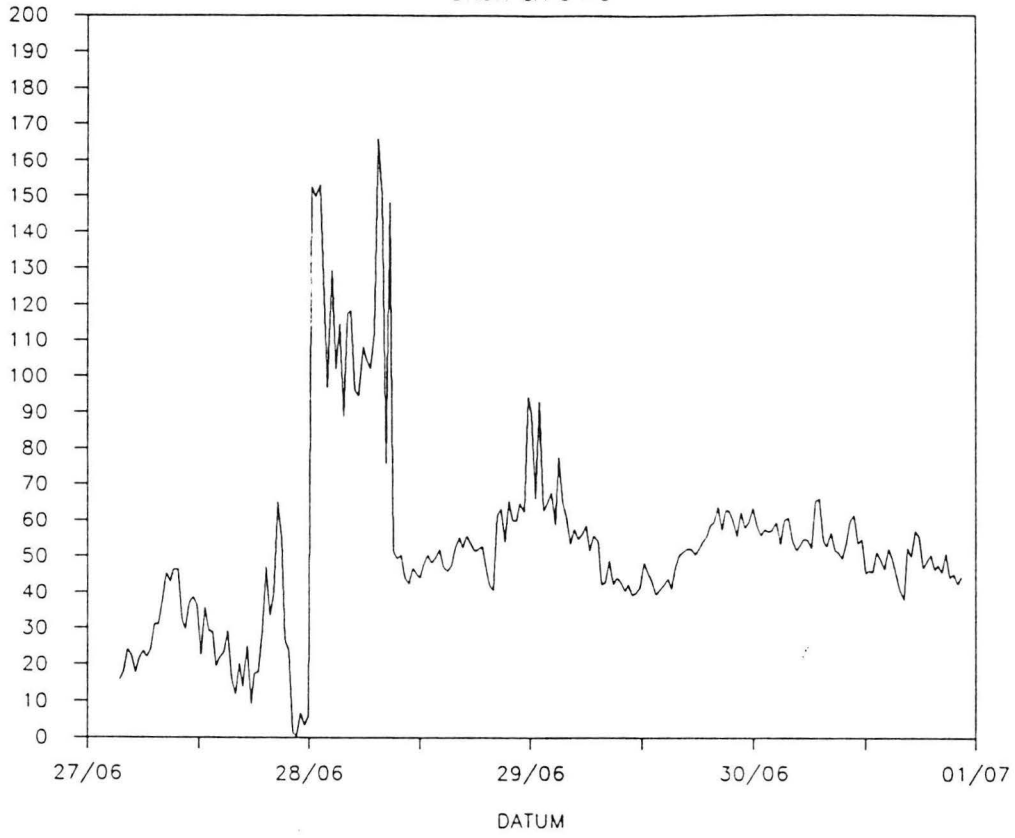


FIG
10

CH4 EMISSIES AVRI LOKATIE 14A.16

DRUK CA 3 Pa



CO2 EMISSIES AVRI LOKATIE 14A.16

DRUK CA 3 Pa

