



Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

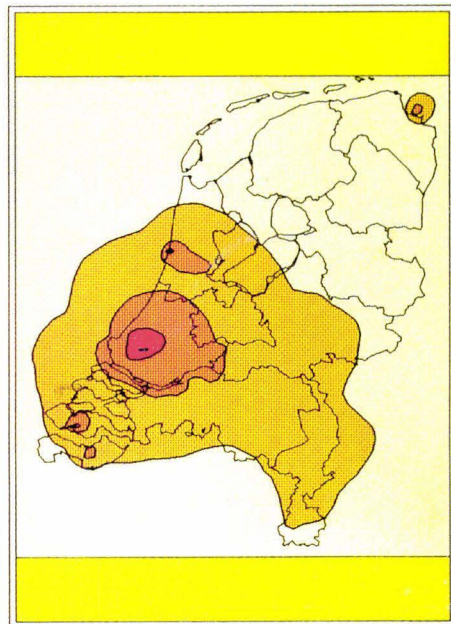
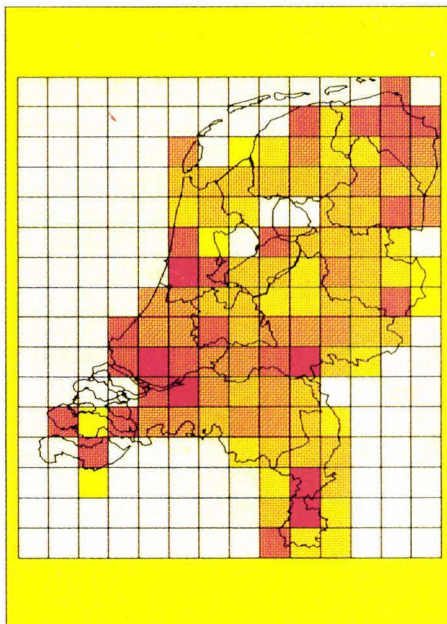
Directoraat-Generaal Milieubeheer
Hoofinspectie Milieuhygiëne
Afdeling Emissieregistratie
en Informatiemanagement

Emissies van stortplaatsen



Nr. 28, december 1995

P u b l i k a t i e r e e k s E m i s s i e r e g i s t r a t i e



EMISSIONS VAN STORTPLAATSEN

Publikatiereeks Emissieregistratie
Nr. 28, december 1995

Documentbeschrijving

1	Rapport nr. 28 Publikatiereeks Emissieregistratie	
2	Titel rapport Emissies van stortplaatsen	7 Datum publikatie December 1995
3	Schrijver(s)/redacteur(s) ing O. Coops ir. L. Luning ir. H. Oonk ir. J. Boom	
4	Uitvoerend instituut Grontmij Advies & Techniek bv, afdeling Procestechniek & Installaties TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie	
5	Opdrachtgever Hoofddirectie Milieuhygiëne Afdeling Emissieregistratie en Informatiemanagement	
6	Gefinancierd door Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer	
8	Samenvatting In dit rapport wordt een methodiek gepresenteerd voor de bepaling van emissies uit stortplaatsen naar de lucht en het water. Voor de berekeningen zijn de karakteristieken van de individuele stortplaatsen gecombineerd met algemene (gemiddelde) emissiefactoren voor stortplaatsemissies. Voor deze aanpak is gekozen om op een eenduidige, eenvoudige wijze een groot aantal locaties door te rekenen, zodat niet iedere locatie individueel hoeft te worden beoordeeld. De voordelen zijn dat alle locaties zo op uniforme wijze worden behandeld, zodat eventuele variaties in de berekeningen vergelijkbare resultaten blijven opleveren en eventuele aanpassingen van de berekeningen op zeer eenvoudige wijze kunnen worden doorgevoerd. Voor de locatiegegevens wordt gebruik gemaakt van het stortplaatsenbestand, dat wordt beheerd en jaarlijks geactualiseerd door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). De in dit rapport gepresenteerde methodiek is geschikt om de emissies op eenvoudige wijze te actualiseren. Berekeningen zijn uitgevoerd voor het gegevensjaar 1993. Uit de getotaliseerde stortplaatsemissies blijkt dat de emissies in de waterfase van de componenten stikstof, chloride, arseen, cadmium en kwik het grootst zijn (meer dan 1 % van de gepubliceerde totale emissies in Nederland naar water). In de gasfase is de emissie van methaan relatief het grootst (23% van de Nederlandse emissies), gevolgd door zwavelwaterstof, CFK's en toluen (0,4 tot 2,2%). Uit de emissies bij verbranding van stortgas is de emissie van koolmonoxyde relatief het grootst (0,12%). Het aandeel van de overige specifieke verbrandingsemissies is veel minder dan 0,1%.	
9	Begeleidingscommissie Het project is begeleid door drs. P.F.J. van der Most (VROM), D. Beker (RIVM)	10 Bijbehorende rapporten
Rapporten uit deze reeks zijn te bestellen bij: Hoofddirectie Milieuhygiëne/IPC 680 Afdeling Emissieregistratie en Informatiemanagement Postbus 30945 2500 GX Den Haag Tel. 070 - 339 4606		

INHOUD

	blz.
SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	11
1.1 Algemeen	11
1.2 Karakteristiek	12
1.3 Factor	12
1.4 Transmissiefactoren	12
1.5 Te beschouwen componenten	12
1.6 Afbakening van de systeemgrenzen	13
1.7 Achtergronden bij de aanpak	14
1.8 Gebruik beschikbare gegevens	14
1.9 Resultaat van de berekeningen	14
1.10 Indeling van het rapport	15
2 UITGANGSPUNTEN EMISSIES WATERFASE	17
2.1 Algemeen	17
2.1.1 Aanlegfase	17
2.1.2 Exploitatiefase	17
2.1.3 Eindfase	17
2.1.4 Nazorgfase	18
2.1.5 Voorzieningen	18
2.2 Kwantiteit	18
2.2.1 Neerslag en verdamping	18
2.2.2 Neerslagoverschot	19
2.2.3 Afstroming (run-off)	19
2.2.4 Infiltratie in het afval	20
2.2.5 Opvang van water	21
2.2.6 Neerslaggegevens	21
2.2.7 Samenvatting	23
2.3 Kwaliteit	23
3 UITGANGSPUNTEN EMISSIES GASFASE	27
3.1 Algemeen	27
3.1.1 Ontstaan van stortgas	27
3.1.2 Problemen met stortgas	27
3.1.3 Stortgaswinning en -benutting	27
3.2 Kwantiteit	28
3.2.1 Modelmatige beschrijving van de stortgasvorming	28
3.2.2 Keuze modelparameters	29
3.2.3 Noodzakelijke invoergegevens	29
3.3 Kwaliteit	30
3.3.1 Emissies van CFK's	31
3.3.2 Emissies van spoorelementen	31
3.4 Stortgaswinning en -benutting	33
3.4.1 Emissiereductie door stortgaswinning	33
3.4.2 Emissies bij benutting van stortgas	33
3.5 Emissiereductie door oxydatie van methaan in de toplaag	34

4	OVERZICHT STORTPLAATSENBESTAND	37
5	BEREKENINGEN	39
5.1	Water	39
5.1.1	Berekening algemeen	39
5.1.2	Berekening van emissies	39
5.2	Gas	41
5.2.1	Berekening algemeen	41
5.2.2	Berekening	41
6	CONCLUSIES	45
6.1	Algemeen	45
6.2	Aanbevelingen	46
7	LITERATUUR	47

BIJLAGEN		51
BIJLAGE A	SAMENSTELLING VAN PERCOLAAT	53
BIJLAGE B	SAMENSTELLING VAN STORTGAS	55
BIJLAGE C	VERBRANDINGSEMISSIES VAN STORTGAS	57
BIJLAGE D	ALGORITMEN	59
D.1	Algemene berekeningen	59
D.1.1	Volumeberekening van een stortplaats	59
D.1.2	Afleiding berekeningswijze Scholl-Canyon model	60
D.2	Algoritme voor berekeningen water	61
D.3	Algoritme voor berekeningen gas	62

SAMENVATTING

Hoewel voor stortplaatsen geen metingen plaatsvinden van emissies van individuele componenten, is het opstellen van een overzicht van emissies zeer waardevol.

In dit rapport wordt een methodiek gepresenteerd voor de berekening van emissies uit stortplaatsen naar de lucht en het water. Voor de berekeningen zijn de karakteristieken van de individuele stortplaatsen gecombineerd met algemene (gemiddelde) emissiefactoren voor stortplaatsemissies. Voor deze aanpak is gekozen om op een eenduidige, eenvoudige wijze een groot aantal locaties door te rekenen, zodat niet iedere locatie individueel hoeft te worden beoordeeld. De voordelen zijn dat alle locaties zo op uniforme wijze worden behandeld, zodat eventuele variaties in de berekeningen vergelijkbare resultaten blijven opleveren en eventuele aanpassingen van de berekeningen op zeer eenvoudige wijze kunnen worden doorgevoerd. De beperkingen van een dergelijke aanpak zijn dat onvermijdelijke onderlinge verschillen tussen stortplaatsen soms niet uit de berekeningen blijken. Voor de locatiegegevens wordt gebruik gemaakt van het stortplaatsenbestand, dat wordt beheerd en jaarlijks geactualiseerd door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). De in dit rapport gepresenteerde methodiek is geschikt om de emissies op eenvoudige wijze te actualiseren.

Voor emissies in de waterfase worden de oppervlakte, het type afval, de wateropvang en -behandeling beschouwd, voor emissies in de gasfase worden volume, type afval, gasonttrekking en benutting in de berekeningen betrokken. De berekeningen hebben betrekking op stortplaatsgegevens van het jaar 1993.

Tabel A Emissies naar lucht door stortgas

Component	Emissie van stortplaatsen (ton/jr)
Methaan	245 800
Koolwaterstoffen (excl. CH ₄ + CFK's)	410
Benzeen	4
Tolueen	67
Chloorfluorkoolwaterstoffen CFK's	29
Zwavelwaterstof	57

Tabel B Emissies naar lucht door toepassing van stortgas

Component	Emissie van stortplaatsen (ton/jr)
Dioxinen (I-TEQ-gram)	0,041 ¹
Koolmonoxyde	1 141
Stikstofoxyden	273
Koolwaterstoffen	198
Roet	9,9
Zwaveloxyden	18,6

1 uitgedrukt in gram/jaar

Tabel C Emissies naar water door percolaat

Component	Emissie van stortplaatsen
Chemisch zuurstofverbruik (ton/jr)	9 100
Stikstof (ton/jr)	3 900
Fosfor (ton/jr)	20
Chloor (ton/jr)	7 100
Arseen (kg/jr)	500
Cadmium (kg/jr)	120
Kwik (kg/jr)	25
Som metalen ¹ (ton/jr)	6
Benzeen, tolueen, ethyl- benzeen, xylenen (ton/jr)	5

1 Som metalen: chroom, koper, lood, nikkel en zink

Uit de getotaliseerde stortplaatsemissies blijkt dat ten opzichte van gepubliceerde Nederlandse emissies in de Publikatiereeks Emissieregistratie, emissies in het water van de componenten stikstof, chloride, arseen, cadmium en kwik het grootst zijn (meer dan 1% van de gepubliceerde totale emissies in Nederland naar water). In de gasfase is de emissie van methaan relatief het grootst (23% van de Nederlandse emissies), gevolgd door zwavelwaterstof (2,2%), CFK's (0,70%) en tolueen (0,37%). Uit de emissies bij verbranding van stortgas is de emissie van koolmonoxyde relatief het grootst (0,12%). Het aandeel van de overige specifieke verbrandingsemissies is veel minder dan 0,1%.

1 INLEIDING

1.1 Algemeen

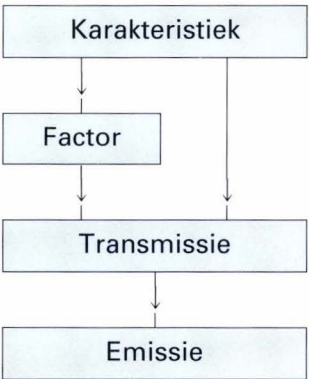
In opdracht van het ministerie VROM Inspectie Milieuhygiëne, afdeling Emissieregistratie en Informatiemanagement heeft Grontmij in samenwerking met TNO het project "Registratie emissies van stortplaatsen" uitgevoerd. In dit project is een algemeen te hanteren methodiek ontwikkeld om aan de hand van beschikbare gegevens en vaste uitgangspunten de water- en gasemissies van stortplaatsen te berekenen. Met de berekende vrachten aan componenten kan een geografisch overzicht worden vervaardigd. De resultaten van de emissieberekeningen worden opgenomen in de Emissiejaarrapporten.

Met de in dit project ontwikkelde methodiek kan dit overzicht met een relatief geringe inspanning actueel worden gehouden.

Emissies vanuit stortplaatsen manifesteren zich in verschillende milieucompartimenten: lucht, water en bodem. De hiervoor verantwoordelijke drager is gas of water. Met behulp van algemene gegevens over concentraties kan per stortplaats een individuele emissie worden bepaald. Voor een zo nauwkeurig mogelijke bepaling worden stortplaatsspecifieke kenmerken in beschouwing genomen. De wijze van bepaling van de individuele emissies wordt hieronder nader toegelicht.

In onderstaande afbeelding is de bepaling van de emissie geschematiseerd. Op basis van de karakteristieken van de stortplaats (oppervlak, stortvolume, exploitatieperiode, type afval) kan op basis van produktiefactoren (m^3 gas per ton afval, m^3 water per m^2 oppervlakte) worden bepaald hoeveel gas en water ontstaat in de situatie zonder voorziening. De voorzieningen reduceren de emissies. Elke voorziening speelt daarin een eigen rol. Bijvoorbeeld één kubieke meter gas die in een fakkel wordt verbrand geeft andere emissies dan wanneer deze kubieke meter wordt gebruikt voor het opwekken van elektriciteit. In de transmissietabel worden de specifieke emissies per m^3 gas of water opgenomen. Bij de berekening van de emissie worden deze gekoppeld aan het type voorziening of een combinatie daarvan (bijvoorbeeld g NO_x per m^3 gas, g CZV per m^3 water).

Figuur 1 Schematische bepaling van de emissies



1.2 Karakteristiek

De produktie (van zowel gas als water) wordt evenredig gesteld aan een bepaalde karakteristieke grootheid. Voor de produktie uit stortplaatsen komen de volgende mogelijke karakteristieke grootheden in aanmerking:

- de hoeveelheid en de aard (globaal) van gestort afval;
- de oppervlakte van de stortplaats, waarbij onderscheid gemaakt wordt naar stortlichaam en stortfront;
- de status van de stortplaats: in oprichting, in exploitatie, in afwerking, in de nazorgfase;
- de locatie van de stortplaatsen in verband met neerslag-omstandigheden.

1.3 Factor

Omdat de hoeveelheid en de samenstelling van het geproduceerde percolatiewater en het geproduceerde stortgas niet alleen afhankelijk zijn van de hoeveelheid afval, maar ook van een reeks andere factoren, worden de stortplaatsen verdeeld in een aantal categorieën.

Factoren die een rol spelen bij de onderverdeling in categorieën zijn onder meer:

- status van de stortplaats;
- ouderdom van het afvalpakket;
- categorieën gestort afval;
- het voorzieningenniveau van de stortplaats (aanwezigheid basisafdichting of bovenafdichting).

Op basis van de vastgestelde kenmerkende grootheden en de categorie-indeling kan de produktie worden bepaald met behulp van beschikbare stortgas- en percolatiewaterbalansmodellen.

1.4 Transmissiefactoren

Na vaststelling van de produktie van stortgas en percolatiewater dient te worden nagegaan in hoeverre dit resulteert in emissie. Bepalend hiervoor zijn de aanwezigheid van:

- percolatiewaterbehandeling (onderscheiden naar type);
- onderafdichting voor emissie van percolatiewater;
- bovenafdichting voor emissie van percolatiewater en gas;
- gasonttrekking (actief/passief) en -verwerking of -benutting (affakkelen, opwerken, elektriciteitsproduktie, benutting thermische energie).

De emissiefactoren zijn vastgesteld aan de hand van relevante literatuur (nationaal en internationaal), op basis van praktijkervaringen en in Nederland uitgevoerd onderzoek (emissiemetingen) (zie hoofdstukken 2 en 3: Uitgangspunten water en gas).

1.5 Te beschouwen componenten

De emissies van de volgende stoffen worden gekwantificeerd:

- in de waterfase: chemisch zuurstofverbruik (CZV), biologisch zuurstofverbruik (BZV), Kjeldahl-stikstof (N-Kj), metalen (arsen, cadmium, lood, chroom, koper, kwik, nikkel,

zink), organische microverontreinigingen (benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylene [BTEX]);

- in de gasfase: methaan, zwavelcomponenten (zwavelwaterstof), stikstofoxydes, halogeenverbindingen (CFK's), dioxine, benzeen, toluen, roet, koolmonoxyde.

Eenzijds zijn dit stoffen waarvan voldoende gegevens bekend zijn om gemiddelde factoren uit af te leiden, anderzijds komen deze stoffen voor in andere emissie-onderzoeken, waardoor een vergelijking met andere emissies mogelijk is.

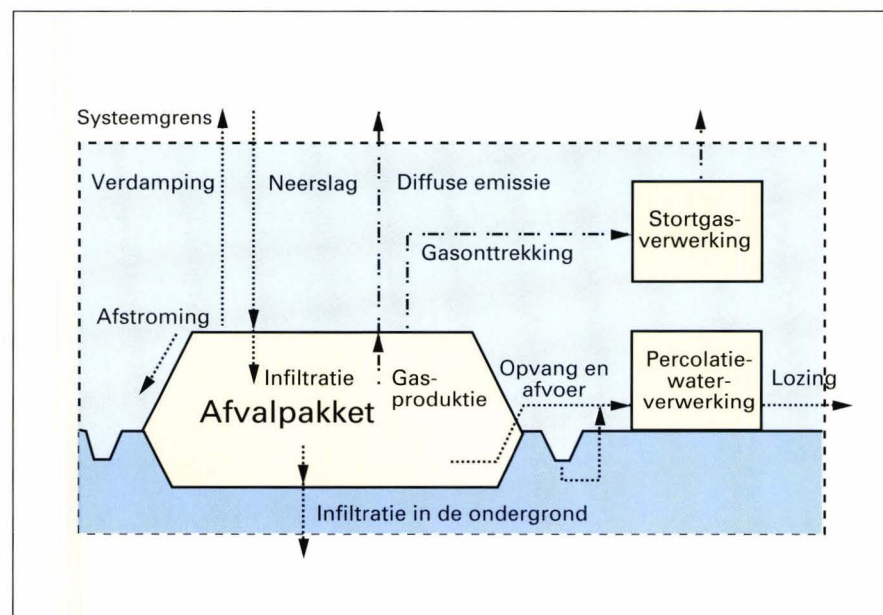
Distikstofoxyde (N_2O) wordt niet in het afvalpakket gevormd, maar meer als onderdeel van nitrificatie- en denitrificatieprocessen in de toplaag van een stortplaats. De N_2O -emissies van stortplaatsen zijn dan ook vergelijkbaar met de emissies van 'gewoon' grasland [ref. 28]. Gezien het totale oppervlak van de stortplaatsen in Nederland is de bijdrage van stortplaatsen aan de totale N_2O -emissie niet noemenswaardig.

1.6 Afbakening van de systeemgrenzen

De emissies worden uitgedrukt in een vracht (ton/jaar) op de grens van de stortplaats naar de milieucompartimenten bodem, water en lucht. Er wordt onderscheid gemaakt tussen emissies via de gasfase en via de waterfase. Bij de berekeningen wordt de inrichting als systeemgrens beschouwd. Als emissies worden dus beschouwd: diffuus ontwijkend gas, onttrokken en verwerkt gas, naar de bodem en het oppervlaktewater stromend percolatiewater, opgevangen, eventueel voorgezuiverd en geloosd percolaat.

In figuur 2 is dit schematisch aangegeven.

Figuur 2 Schema emissies uit stortplaatsen



1.7 Achtergronden bij de aanpak

Zoals hierboven beschreven worden de emissies bepaald met behulp van gemiddelde emissiefactoren. Dit leidt uiteraard tot een globale berekening omdat bepaalde specifieke kenmerken van individuele stortplaatsen niet bij de berekening worden betrokken. Omdat stortplaatsen op zeer veel verschillende aspecten van elkaar verschillen (afvalcategorieën, percolaatkwaliteit, ouderdom, geografische ligging) zullen er bij het toepassen van een uniforme benadering voor deze berekening afwijkingen kunnen ontstaan. Dit kan worden voorkomen door iedere stortplaats individueel te beschouwen en de lokale omstandigheden en analyses van verschillende stromen op de stortplaats te hanteren voor het bepalen van een stortplaatsspecifieke emissie. Hoewel een dergelijke methode een grote mate van nauwkeurigheid lijkt te garanderen, is er een aantal nadelen te noemen.

Ten eerste vergt zo'n aanpak, gezien het aantal stortplaatsen, een grote inspanning en tijd. Ten tweede biedt deze methode, door het vaak ontbreken van plaatselijke, essentiële informatie, een vertekend beeld, omdat de emissie bij de ene stortplaats wel met een zekere mate van nauwkeurigheid berekend kan worden, terwijl bij een andere stortplaats geen of onvoldoende uitgangsggegevens bekend zijn. Ten derde geven bekende lokale analyseresultaten slechts een momentopname, waardoor het hanteren van deze gegevens ook tot afwijkingen kan leiden.

Omwillen van de hanteerbaarheid zal een globale categorie-indeling gemaakt worden en zullen per karakteristiek gemiddelde samenstellingen van de in beschouwing te nemen stromen worden gehanteerd. Hiervoor worden overzichten van concentraties gepresenteerd die voortkomen uit een grote reeks van locatiespecifieke waarnemingen. In dat opzicht dient aan de resultaten geen grote absolute betekenis te worden gehecht, maar dienen deze als indicatie te worden beschouwd.

1.8 Gebruik beschikbare gegevens

Voor de berekeningen worden voor de stortplaatsspecifieke kenmerken uitsluitend gegevens uit het stortplaatsenbestand van het RIVM gebruikt. Dit bestand wordt beheerd door het RIVM en wordt jaarlijks aangevuld aan de hand van enquêtes bij de stortplaatsbeheerders. Het bestand bestaat uit de geografische gegevens van de locatie, de adressen van beheerders en eigenaars, de categorieën van gestort afval, aangevoerde hoeveelheid, status van de stortplaats, oppervlakte, aanwezigheid en type afdichtingen, waterbehandeling, stortgasonttrekking en dergelijke. Er is geen aanvullende informatie opgevraagd bij eigenaars of beheerders van de verschillende stortlocaties. Dit betekent dat onvolledigheid van het stortplaatsenbestand een beperking oplegt ten aanzien van de kwantificering van emissies. In de conclusies zal aandacht worden besteed aan omissies in de gebruikte bestanden en aan mogelijkheden voor toekomstige aanpassingen of toevoegingen in de enquêtes die jaarlijks worden gehouden.

1.9 Resultaat van de berekeningen

Na combinatie van de opgestelde en tot programmatuur verwerkte algoritmen en de stortplaatsgegevens is een tabel vervaardigd, waarin per stortlocatie de emissies van de verschillende parameters staan vermeld.

Ondanks het feit dat gebruik gemaakt wordt van gemiddelde emissiefactoren, waardoor bepaalde stortplaatsspecifieke omstandigheden misschien niet tot uiting komen, geeft het overzicht een mogelijkheid om de geografische spreiding van emissies door stortplaatsen te presenteren.

1.10 Indeling van het rapport

Het rapport is opgebouwd uit een aantal hoofdstukken, waarin eerst de algemene uitgangspunten voor de emissies in de waterfase worden behandeld (hoofdstuk 2), gevolgd door de uitgangspunten voor de emissies in de gasfase (hoofdstuk 3).

In hoofdstuk 4 worden de toe te passen gegevens van het stortplaatsenbestand, zoals dat in beheer is bij het RIVM, weergegeven.

Hoofdstuk 5 behandelt de berekeningsmethodieken. Hierin worden de verschillende definities gegeven, zoals die in de methodiek worden toegepast. Tevens zijn in dit hoofdstuk de berekende emissies getotaliseerd en vergeleken met in de literatuur gevonden landelijke emissies.

2 UITGANGSPUNTEN EMISSIES WATERFASE

2.1 Algemeen

Een van de effecten van stortplaatsen op de omgeving is de emissie van water en daarin meegevoerde verontreinigingen, het percolatiewater. Percolatiewater ontstaat tengevolge van infiltrerend water in een afvalpakket. De omvang van deze emissie wordt bepaald door de combinatie van kwaliteit en kwantiteit. De kwaliteit wordt voornamelijk bepaald door de ontwikkelingsfase van de stortplaats en door het type afvalstoffen die gestort worden of zijn. De kwantiteit is vooral afhankelijk van de aanwezige voorzieningen, zoals afdichtingen, opvang en behandeling (water) en leeftijd, type afval, afdichtingen, opvang en behandeling (gas).

Bij een stortplaats zijn de volgende ontwikkelingsstadia te onderkennen:

- de aanlegfase,
- de exploitatiefase,
- de eindfase,
- de nazorgfase.

(zie ook Leidraad Storten, ref. 33)

2.1.1 Aanlegfase

In de aanlegfase van een stortplaats, of een gedeelte daarvan, worden de technische voorzieningen voor het daadwerkelijke storten aangelegd. In deze periode wordt nog niet gestort en zal er dus geen emissie naar de omgeving optreden ten gevolge van de afvalstoffen.

2.1.2 Exploitatiefase

In de opvolgende fase, de exploitatiefase, wordt er gestort binnen de inrichting. Hierbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen oudere stortplaatsen en de zogenaamde gecontroleerde stortplaatsen die zijn voorzien van een vloeistofdichte onderafdichting, om de infiltratie van verontreinigd percolatiewater naar de ondergrond te voorkomen. Gedurende de (eerste jaren van de) exploitatieperiode treden de grootste emissies op. In deze periode ligt het grootste oppervlak van het terrein nog open, waardoor de infiltratie van regenwater in het afvalpakket het grootst is. Met name in de eerste jaren van storten zijn, in de zogenaamde verzurende fase, als gevolg van het op gang komen van de microbiologische afbraak van organisch materiaal, de concentraties van verontreinigende stoffen in het percolatiewater het hoogst. Na verloop van enige jaren stabiliseren de concentraties zich op een lager niveau, de methanogene fase. Omdat niet alle afval tegelijkertijd gestort is en beschikbaar komt voor microbiologische afbraak, is er geen duidelijke overgang tussen de verschillende stadia van het afbraakproces. De overgang van verzurende naar methanogene fase is daardoor niet zo scherp en zal in de praktijk uitgevlakt worden.

2.1.3 Eindfase

Op de exploitatiefase volgt de eindfase, de periode waarin geen afval meer gestort wordt, maar waarin de voorzieningen nog wel een functie hebben (stortgasonttrekking, waterbehandeling). In deze fase vinden de

activiteiten plaats om de stortplaats gereed te maken voor de eindbestemming, bijvoorbeeld door de aanleg van een bovenafdichting.

2.1.4 Nazorgfase

De definitie uit het wetsvoorstel Leemtewet over de aanvang van de nazorg luidt dat de nazorgfase begint als de exploitatieperiode van de stortplaats is beëindigd, de gehele locatie is voorzien van een bovenafdichting en een eindinspectie is uitgevoerd door het bevoegd gezag. In de nazorgfase vinden de controles plaats van de voorzieningen die in stand zijn gebleven of speciaal zijn aangelegd na het sluiten van de stortplaats. In deze fase zullen ook activiteiten moeten plaatsvinden om het functioneren van die voorzieningen te waarborgen, desnoods door vervanging.

2.1.5 Voorzieningen

Als emissiebeperkende voorzieningen worden beschouwd de aanwezigheid van:

- Een onderafdichting. Deze heeft een beperking van de emissie van percolatiewater naar de bodem en het grondwater tot gevolg;
- Een voorzuivering binnen de inrichting. Deze reduceert de verontreinigingen in het te lozen afvalwater naar oppervlaktewater of riolering;
- Een bovenafdichting. Deze voorkomt de infiltratie van regenwater in het afvalpakket, wat uiteindelijk leidt tot een vermindering van de hoeveelheid geproduceerd percolatiewater.

2.2 Kwantiteit

De kwantiteit van de wateremissie (infiltrerend of geloosd percolatiewater) is afhankelijk van de neerslag en de evapotranspiratie (evaporatie (verdamping) uit de bodem en transpiratie van de begroeiing) op de stortplaats. Deze zijn in de eerste plaats afhankelijk van de klimatologische omstandigheden, maar ook van het vegetatietype, de hellingen en de infiltratiecapaciteit van de afdekgrond.

Afhankelijk van de technische voorzieningen aan de bovenzijde van een stortplaats (afdeklaag, ontwatering en bovenafdichting) zal een gedeelte van de neerslag in het afval infiltreren en uiteindelijk als percolatiewater aan de onderzijde van het afvalpakket uittreden.

2.2.1 Neerslag en verdamping

De neerslag die op een afvalstort valt, zal deels verdampen naar de atmosfeer, deels oppervlakkig afstromen en deels, afhankelijk van de technische voorzieningen aan de bovenzijde van de stortplaats (afdeklaag, ontwatering en bovenafdichting) in het afval infiltreren (neerslagoverschot).

De jaarlijkse neerslag bedraagt in Nederland gemiddeld ongeveer 800 mm. Hierin kunnen schommelingen optreden variërend van 500 tot meer dan 1100 mm. De maandelijkse en dagelijkse neerslagcijfers vertonen relatief gezien een nog grotere variatie. Door het waterbufferende vermogen van

een afvalpakket zullen variaties in de percolatiewaterhoeveelheden uitgevlakt worden. Het is daarom niet zinvol om actuele (jaar-)neerslaggegevens van de stortplaatsen te gebruiken. Voor de eenvoud worden topografische verschillen buiten beschouwing gelaten. De bepaling van de waterhoeveelheden wordt uitgevoerd aan de hand van de neerslag- en verdampingsgegevens van De Bilt.

Voor de berekening van de omvang van de verdamping wordt uitgegaan van de referentiegewasverdamping volgens Makkink. Deze is berekend uit de etmaalsom van de globale straling en de etmaaltemperatuur. Voor grasbegroeiing is de potentiële verdamping vrijwel gelijk aan de referentiegewasverdamping. Het neerslagoverschot wordt vervolgens berekend als het verschil tussen de neerslag en de potentiële verdamping.

2.2.2 Neerslagoverschot

Voor de berekening van het neerslagoverschot wordt onderscheid gemaakt tussen begroeid oppervlak en niet-begroeid oppervlak. Begroeid oppervlak is het oppervlak waarop een afdeklaag met begroeiing aanwezig is. Niet-begroeid oppervlak is het oppervlak waarop nog gestort wordt of waarop nog geen begroeiing tot ontwikkeling is gekomen. Omdat begroeiing op afgedekte gedeelten van stortplaatsen niet ideaal is, maar sterk wordt beïnvloed door bijvoorbeeld afdekgrond, ingesloten laagtes, waterophoping, stortgasuittreding, en dergelijke, wordt voor het begroeide oppervlak van een stortplaats een beperking van de potentiële verdamping gehanteerd. Voor niet-begroeid oppervlak geldt een extra beperking van de potentiële verdamping, die tot uitdrukking wordt gebracht met een gewasfactor.

Bij een stortplaats in exploitatie komen beide typen oppervlakken voor. Omdat het onderscheid tussen begroeid en niet-begroeid oppervlak niet wordt gemaakt in het stortplaatsenbestand, is voor de oppervlakte van het niet-begroeide oppervlak een aanname gedaan. Een aannemelijke omvang van het stortfront en het nog niet begroeide oppervlak voor een stortplaats van gemiddelde omvang is twee hectare.

Het totale neerslagoverschot wordt mede bepaald door de nalevering van vocht door de bodem aan de vegetatie. Zo kan in droge perioden toch water beschikbaar komen voor evapotranspiratie, terwijl de neerslag gering is. Doordat er, met name in het zomerseizoen een vochttekort kan ontstaan, wat niet of nauwelijks wordt aangevuld door het onderliggende afvalpakket, wordt in de berekeningen een ondergrens van het neerslagoverschot aangehouden van nul.

2.2.3 Afstroming (run-off)

Afstroming van water over het oppervlak vindt plaats indien de infiltratiecapaciteit van de afdeklaag wordt overschreden. Afstroming treedt op bij hevige regenval, en slechts gedurende relatief korte perioden. Voor de omvang van deze stroom wordt algemeen aangenomen dat er minder dan 10% van de neerslag tot run-off leidt [o.a. ref. 24]. Omdat run-off slechts in geringe mate in contact komt met het afval, wordt ervan uitgegaan dat deze stroom niet bijdraagt aan extra verontreinigingen. Voor de bepaling van de emissies worden de concentraties in de run-off stroom daarom verwaarloosd.

2.2.4 Infiltratie in het afval

De hoeveelheid in het afval infiltrerend water wordt berekend uit de neerslagoverschotten en bepaald aan de hand van het feit of de stortplaats is voorzien van een bovenafdichting.

De hoeveelheid percolatiewater die uiteindelijk aan de onderzijde van het afvalpakket wordt opgevangen of die daar tot infiltratie in de bodem komt, is verder afhankelijk van:

- De snelheid van storten; hiermee wordt bedoeld de snelheid waarbij de eindhoogte van een bepaald stortcompartiment wordt bereikt. Bij een langzame opbouw van het afvalpakket zal de bevochtiging van het afval intensiever verlopen dan bij een hoge snelheid. In dat geval wordt er relatief snel nieuw afval over wat ouder afval gestort, terwijl het onderliggende afval nog nauwelijks bevochtigd is.
- Het vochtbergend vermogen van het afval; afhankelijk van het type gestorte afvalstoffen kan veel of slechts weinig van het infiltrerende regenwater geborgen worden in het afvalpakket. Dit wordt mede veroorzaakt door het initiële vochtgehalte en de bevochtiging bij de opbouw van het afvalpakket.
- Het recirculeren van percolatiewater; bij het terugvoeren van opgevangen percolatiewater naar het afvalpakket wordt de totale hoeveelheid water vergroot. Afhankelijk van de wijze van recirculatie kan als gevolg van verdamping van het teruggevoerde water de totale hoeveelheid beperkt gehouden worden.
- Nalevering van water uit het afval; bij de afbraak van organisch materiaal kan door het verdwijnen van adsorptiecapaciteit water vrijkomen en door het afbraakproces water gevormd worden. Ook kan bij klink van het afvalpakket perswater vrijkomen. Met het oog op de onzekerheden rond de omvang van deze "productie"stromen worden zij in de berekeningen niet meegenomen.

In het algemeen is de verblijftijd van water in het stortpakket vrij groot. Een gedeelte van het geïnfiltreerde water wordt geadsorbeerd door het afval. Een gelijkmatig verdeelde waterstroming in het afval is van belang in verband met de uniformiteit van afbraakprocessen binnen een stortlichaam.

Het transport van water wordt in sterke mate bepaald door de gevolgde stortmethode en de samenstelling van het afval (mogelijkheden voor verdichting). De dichtheid van het afval en de oriëntatie van de stortlagen bepalen voor een belangrijk deel de stroomsnelheid en de stroomrichtingen van het water. Een hoge dichtheid leidt tot een lagere doorlatendheid en daardoor tot een langere verblijf- en contacttijd. Als de verdichting verticaal is gericht, bijvoorbeeld bij het gebruik van een compactor, worden de poriën horizontaal georiënteerd. De horizontale doorlatendheid van een stortlichaam is daarom veelal groter dan de verticale doorlatendheid.

Op de grenzen van de stortlagen kunnen slecht doorlatende laagjes worden gevormd, door "verslemping" van het oppervlak. Boven dergelijke slecht doorlatende laagjes kunnen zich lokaal schijnwaterspiegels in het afvalpakket vormen. In het algemeen wordt aangenomen dat percolatiewater zich via voorkeursstroombanen door het stortlichaam verplaatst.

Omdat het vochtbergende vermogen slechts kan worden berekend over een langere periode, is deze post aan de hand van gegevens uit het stortplaatsenbestand moeilijk vast te stellen, aangezien historische gegevens niet worden bijgehouden of niet betrouwbaar zijn. Voor de berging door adsorptie wordt in de literatuur 10-20% gevonden. Een deel van het porievolume zal niet beschikbaar zijn voor adsorptie, omdat het ingesloten ligt of omdat het volume wordt ingenomen door gas. Door de inhomogeniteit van het afvalpakket ontstaan preferente stroombanen, die leiden tot een versneld beschikbaar komen van water aan de onderzijde van het afvalpakket. Toekennen van de adsorptie aan de aangevoerde hoeveelheid afval is niet reëel omdat dit leidt tot grote afwijkingen ten opzichte van de praktijk: een dergelijke berekeningswijze leidt vaak tot een nul-emissie. Omdat de maximale adsorptie pas na lange tijd wordt bereikt, en de invloed op de totale wateremissie relatief gering is, zal deze post in de berekeningen worden verwaarloosd.

Ook bij aanwezigheid van een gas- en vloeistofdoorlatende bovenaf-dichting wordt nog rekening gehouden met een (beperkte) infiltratie van regenwater. Dit komt voort uit de aanname dat de afdichting niet helemaal lekvrij kan worden aangelegd en dat er nog een zekere hoeveelheid water door de afdichtende laag permeëert. Hiervoor wordt een hoeveelheid van 5 mm/jaar voor een folie en 25 mm/jaar voor een minerale laag aangehouden, overeenkomend met de gehanteerde doorlatendheid voor verschillende afdichtingsmaterialen [ref. 32].

2.2.5 Opvang van water

De uiteindelijke bestemming van het water is afhankelijk van de voorzieningen op de stortplaats. Voor verschillende stromen kan onderscheid gemaakt worden tussen:

- Ongecontroleerde lozing op oppervlaktewater of grondwater. Deze wijze van waterafvoer zal voornamelijk optreden indien er geen sprake is van voorzieningen (met name onderafdichtingen).
- Gecontroleerde lozing op oppervlaktewater. Deze vorm van afvoer zal vrijwel uitsluitend worden toegestaan indien er een zuivering van het percolatiewater wordt toegepast. Dit is overigens slechts zinvol indien er ook een opvang van percolatiewater bestaat, en er dus een onderafdichting aanwezig is.
- Gecontroleerde lozing op de riolering. Deze vorm van afvoer kan plaatsvinden zowel met als zonder voorbehandeling op de locatie.

2.2.6 Neerslaggegevens

In de tabel staan de neerslag en verdampingsgegevens van langjarige gemiddelden van De Bilt van het KNMI (periode 1950-1990) weergegeven. De daaruit berekende overschotten van afgedekt en openliggend afval staan ernaast weergegeven.

Tabel 1 Overzicht neerslag- en verdampingsgegevens De Bilt 1950-1990 in mm. (bron: KNMI, De Bilt)

Maand	Neerslag	Neerslag – run-off	Referentie verdamping	Overschot bij begroeid oppervlak	Overschot bij niet begroeid oppervlak
Januari	67,5	60,8	7,1	54,4	57,3
Februari	48,0	43,2	15,0	29,7	35,7
Maart	58,8	52,9	28,1	27,6	38,9
April	50,9	45,8	56,1	0,0	17,7
Mei	56,8	51,1	81,9	0,0	10,1
Juni	67,4	60,7	90,5	0,0	15,5
Juli	77,1	69,4	89,3	0,0	24,8
Augustus	80,3	72,3	77,6	2,5	33,5
September	68,6	61,7	49,0	17,6	37,2
Oktober	77,8	70,0	25,1	47,4	57,5
November	72,8	65,5	10,3	56,2	60,4
December	78,0	70,2	7,0	63,9	66,7
Totaal (afgerond)	800	720	540	300	450

Het neerslagoverschot wordt als volgt berekend:

$$O = N - F(g) \cdot E_r \quad (1)$$

met een minimum van 0 op maandbasis.

In de formule is:

- N neerslag
F(g) gewasfactor (0,9 voor begroeid oppervlak, 0,5 voor niet-begroeid oppervlak)[ref. 44]
E_r referentieverdamping

Bepaling van de verschillende oppervlakten

Voor de bepaling van de omvang van het in het afval infiltrerende water wordt een onderscheid gemaakt tussen de verschillende typen afdekking van het oppervlak. Voor de berekening geldt de volgende vergelijking:

$$A(d) = A(t) - A(e) - A(s) \quad (2)$$

hierin is:

- A(d) afgedekt, begroeid oppervlak (ha)
A(t) totale oppervlakte van de stortplaats (ha)
A(e) oppervlakte, voorzien van een eindafdichting (ha)
A(s) niet-begroeide oppervlakte (onder andere stortfront) (ha)

Bepaling van de totale waterstroom

$$O = (A(d) \cdot O(d) + A(e) \cdot O(e) + A(s) \cdot O(s)) \cdot 10 + P \quad (3)$$

hierin is:

- O(e) overschot bij afgedicht oppervlak (5 of 25 mm/jr)
O(d) overschot bij begroeid oppervlak (300 mm/jr)
O(s) overschot bij niet-begroeid oppervlak (450 mm/jr)
P produktie van water in het afvalpakket (uit microbiologische afbraak, of vrijkomend bij klink), hier gesteld op 0.

2.2.7 Samenvatting

Voor de verschillende berekeningen voor de waterremissies van stortplaatsen wordt met de volgende standaardwaarden gewerkt:

- infiltratie van water in het afvalpakket:
 - bij afdekking met begroeiing: 300 mm/jr;
 - zonder afdekking of zonder begroeiing: 450 mm/jr;
 - bij vloeistofdichte bovenafdicthting: 5 of 25 mm/jr;
- adsorptie aan het afval: 0;
- produktie van water in het afvalpakket: 0;
- bij exploitatie van de stortplaats een niet begroeid oppervlak van 2 ha.

2.3 Kwaliteit

Als gevolg van microbiologische activiteit treedt afbraak van organisch materiaal in het afvalpakket op. Hierbij wordt stortgas gevormd evenals percolatiewater, dat opgeloste organische stof bevat afkomstig uit de afvalstoffen waarmee het water in contact is geweest. De kwaliteit van het percolatiewater is afhankelijk van het stadium waarin de afbraakprocessen zich voltrekken.

In de microbiologische afbraak van organisch materiaal kunnen vier stappen worden onderscheiden:

- fermentatie: hydrolyse en acidogenese;
- acetogenese;
- methanogenese.

Vóór de hydrolyse wordt aanvankelijk de aanwezige zuurstof in de poriën verbruikt voor aerobe afbraak van het afval. Dit is een zeer snel verlopend proces, dat reeds na enige dagen afgerond kan zijn.

In de hydrolysestap worden complexe, niet opgeloste, organische stoffen omgezet in minder complexe, opgeloste stoffen. De omzetting gebeurt onder invloed van door fermentatieve (zuurvormende) bacteriën uitgescheiden enzymen. De snelheid van de hydrolyse wordt beperkt door de mate waarin de verantwoordelijke enzymen en de te hydrolyseren stoffen met elkaar in contact komen. De aanwezigheid van water als transportmiddel is daarbij van groot belang.

In de acidogenese worden de hydrolyseprodukten afgebroken tot eenvoudige zuren, zoals valeriaanzuur, propionzuur, boterzuur, azijnzuur en mierzuur. Daarbij komen bij deze stap ook ethanol, kooldioxyde en waterstof vrij. Van groot belang is de grote zuurtolerantie van de fermentatieve bacteriën. Zelfs bij lage pH-waarden blijven de fermentatieve bacteriën actief. Het fermentatieproces wordt wel beïnvloed door de waterstofconcentratie, afhankelijk hiervan worden andere fermentatieprodukten (vetzuren) gevormd.

In de volgende stap (acetogenese) zetten acetogene bacteriën de fermentatieprodukten om in azijnzuur, waterstof en kooldioxyde. Afname van de waterstofconcentratie leidt tot een snellere en meer volledige omzetting in deze produkten.

De methanogene bacteriën zijn in de volgende stap actief. De belangrijkste processen zijn: de omzetting van azijnzuur in methaan en kooldioxyde en de vorming van methaan uit waterstof en kooldioxyde. Bovendien

vindt vergisting van mierzuur en methanol plaats, met als reactieproducten waterstof, kooldioxyde, methaan en water.

De methanogenese komt over het algemeen langzamer op gang dan de eerste drie fasen door de langzame groei van de methanogene bacteriën. In een stabiel afbraakproces in een stortlichaam worden alle vier afbraakproducten van de ene stap in de volgende stap verbruikt. Het stortgas dat uiteindelijk ontwijkt is een verzameling van de gassen die ontstaan tijdens de verschillende stappen van het afbraakproces.

Een ander proces dat een rol speelt voor de aanwezigheid van stoffen in het percolaat is uitloging. Behalve dat de neerslag al een zuur karakter heeft kan een verdere verzuring plaatsvinden door het in oplossing gaan van allerlei afbraakproducten. Het zure water kan reacties aangaan met vaste bestanddelen van het afval. Hierdoor worden met name zware metalen gemobiliseerd die met het water kunnen worden meegevoerd en die uiteindelijk de kwaliteit van het percolaat beïnvloeden. Dit verschijnsel is de zogenoemde uitloging.

Bij uitloging speelt de contacttijd tussen vloeistof en vaste stof, en daarmee ook de verhouding tussen de hoeveelheid vloeistof (L) en vaste stof (S) (de L/S-verhouding) een belangrijke rol. De volgende factoren zijn hierop van invloed:

- de specifieke afvalstoffen;
- de stortomstandigheden.

Factoren als waterhuishouding, desorptie/adsorptie, chemische en microbiologische reacties hebben een directe invloed op de uitgeloopte verontreinigingen en de mate en hoedanigheid waarin deze in het percolatiewater voorkomen. Deze factoren kunnen worden beïnvloed door:

- de samenstelling van het totale afvalstoffenpakket;
- de storttechniek.

De aard en de mate van verontreiniging van het percolatiewater worden vooral bepaald door:

- de aard van de gestorte afvalstoffen;
- de contacttijd tussen afval en percolerend water;
- het adsorptie-desorptiegedrag van de oplosbare verontreinigende stoffen in de stortplaats (dit wordt onder meer beïnvloed door de adsorptiecapaciteit van de vaste stoffen, de oplosbaarheid van de verontreinigende stoffen in water, de zuurgraad en redoxpotentiaal van het afvalpakket);
- chemische processen in het afvalpakket, waardoor verontreinigende stoffen kunnen neerslaan of in oplossing gaan en waardoor complexvorming kan optreden;
- biochemische processen in het afval, waardoor onder andere microbiologische afbraak van organische verbindingen kan plaatsvinden.

Gezien de huidige en toekomstige aard van de afvalstoffen zal het optreden van een duidelijke verzurende fase in de afbraak van organisch materiaal steeds minder duidelijk optreden. Voor de bepaling van emissies naar het water wordt er daarom van uitgegaan dat percolaat een methanogene kwaliteit heeft.

Voor de bepaling van de emissies zal worden uitgegaan van percolatiewater met een methanogene kwaliteit, waarvoor de gegevens zoals die gepresenteerd staan in de Leidraad Storten [ref. 33, ref. 1] worden gehanteerd. Deze gegevens zijn gemiddelden van in Nederland verzamelde

percolaatanalyses. Individuele stortplaatsen kunnen hier van afwijken, maar voor een emissie-overzicht zullen deze gemiddelden gebruikt worden.

Tabel 2 Samenstelling percolaat

Parameter	Eenheid	Methanogeen percolaat	"Geen" organisch afval
Chemisch Zuurstof Verbruik	mg/l	3 000	400
Biologisch Zuurstof Verbruik	mg/l	180	40
Chloor	mg/l	2 100	n.b.
Stikstof (N-totaal)	mg/l	1 250	40
Fosfor (P-totaal)	mg/l	6	n.b.
Cyanide	mg/l	n.b.	100
Arsen	µg/l	160	10-50
Cadmium	µg/l	6	10-50
Kwik	µg/l	10	10-50
Chroom*	µg/l	300	n.b.
Koper*	µg/l	80	n.b.
Nikkel*	µg/l	200	n.b.
Lood*	µg/l	90	n.b.
Zink*	mg/l	0,6	n.b.
*Som zware metalen ²	mg/l	1,25	1,5
Benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylene	mg/l	0,5 ¹	2
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen	µg/l	n.b.	50

1 Aannee kwaliteitsgegevens CUWVO [ref. 13]

2 Som metalen: chroom, koper, lood, nikkel en zink

n.b. niet bekend

Bij stortplaatsen waar voornamelijk anorganische stoffen worden gestort, dient wat betreft de organische parameters rekening gehouden te worden met een geringere biologische verontreiniging van het percolaat. Omdat er altijd enige organische stof in het afval voorkomt, zal er dus enige biologische belasting van het percolaat optreden. Voor de kwaliteit van percolaat uit niet-organische afvalstortplaatsen is een inschatting gemaakt op basis van praktijk- en literatuurgegevens. Van de metalen chroom, koper, lood, nikkel en zink zijn geen gemiddelde concentraties bekend. Daarom wordt in de berekeningsresultaten alleen de totaalparameter (som zware metalen) opgenomen.

De emissies van componenten worden gereduceerd indien een zuiveringsstap wordt toegepast. De hierbij te bereiken (gemiddelde) zuiveringsrendementen zijn weergegeven in bijlage A.

3 UITGANGSPUNTEN EMISSIES GASFASE

3.1 Algemeen

3.1.1 *Ontstaan van stortgas*

Wanneer afval wordt gestort, wordt het organisch materiaal in het afval in de loop van vele jaren afgebroken. Daarbij wordt stortgas gevormd, dat hoofdzakelijk bestaat uit methaan en kooldioxyde. Daarnaast bevat het gas een groot aantal spoorelementen, zoals zwavelwaterstof, organische esters, mercaptanen en gehalogeneerde koolwaterstoffen.

De vorming van stortgas gebeurt in verschillende stappen: allereerst worden de vaste organische stoffen gehydrolyseerd tot een mengsel van oplosbare organische verbindingen, welke vervolgens worden omgezet tot lagere vetzuren, aminozuren, suikers en andere laagmoleculaire stoffen. Deze componenten worden op hun beurt door methanogene bacteriën omgezet tot stortgas. De hoeveelheid stortgas, die in de loop van de tijd op een stortplaats gevormd wordt, varieert sterk. Tijdens de exploitatieperiode neemt de gevormde hoeveelheid gas toe met toenemende hoeveelheden gestort afval. Kort na het sluiten van de stortplaats bereikt de vorming van stortgas een optimum, waarna de stortgasvorming over een periode van tientallen jaren gestaag afneemt. Op individuele stortplaatsen kunnen hoeveelheden stortgas worden gevormd tot vele duizenden kubieke meters stortgas per uur. Per ton huishoudelijk afval wordt uiteindelijk circa 120 tot 200 m³ stortgas gevormd.

3.1.2 *Problemen met stortgas*

Wanneer stortgas vrijkomt kan het voor milieuproblemen zorgen: lokaal kan het stankoverlast veroorzaken en de vegetatie aantasten, op mondiaal niveau dragen emissies van stortgas bij aan de toename van het broeikas-effect.

De bijdrage van stortplaatsen aan het broeikas-effect wordt voornamelijk veroorzaakt door het methaan in het stortgas. De bijdrage van één kilogram methaan aan het broeikas-effect is ruim 20 keer zo groot als de bijdrage van één kilogram CO₂ [ref. 62; ref. 26].

Alhoewel stortgas aanzienlijke hoeveelheden kooldioxyde bevat, worden de emissies van kooldioxyde uit stortplaatsen wat betreft hun effect op het broeikas-effect gelijkgesteld aan nul. Hetzelfde geldt voor de kooldioxyde in het rookgas van afgefakkeld of anderszins verbrand stortgas. Dit wordt verklaard uit het feit dat de CO₂ in stortgas afkomstig is uit de korte koolstofcyclus: de koolstof is namelijk afkomstig uit kooldioxyde uit de lucht, relatief korte tijd ervoor (enkele tientallen jaren) gebonden door middel van fotosynthese. Geïntegreerd over deze tijd is de netto kooldioxyde-emissie gelijk aan nul.

3.1.3 *Stortgaswinning en -benutting*

Als het afval eenmaal is gedeponeerd, is stortgaswinning de enige manier om stortgasemissies tegen te gaan. Voor stortgaswinning wordt een bronnensysteem in het afvalpakket aangelegd, waarmee vervolgens het stortgas uit het afvalpakket wordt gezogen en getransporteerd naar een

centraal punt. Daar kan het worden afgefakkeld, maar in de meeste gevallen blijkt het aantrekkelijk om de energie-inhoud van het stortgas te benutten.

Voor deze benutting bestaan een aantal mogelijkheden: het stortgas kan direct worden gebruikt als brandstof in ovens, ketels, industriële boilers of voor stadsverwarming. Door met het gas een gasmotorgeneratorset aan te drijven kan men elektriciteit opwekken. Het gas kan worden verstoekt in een warmte/krachtinstallatie en tenslotte bestaat nog de mogelijkheid om het stortgas op te werken tot aardgaskwaliteit.

3.2 Kwantiteit

3.2.1 Modelmatige beschrijving van de stortgasvorming

De hoeveelheid stortgas, die op een stortplaats wordt gevormd, en de snelheid waarmee het gas wordt gevormd, varieert van stortplaats tot stortplaats en is onder meer afhankelijk van de afvalsamenstelling, de voorbehandeling van het afval en de wijze van storten. Ook spelen allerlei toevallige factoren een rol. Deze conclusie kan worden getrokken aan de hand van praktijkopgravingen waaruit blijkt, dat soms grote delen van het afvalpakket niet meedoen aan de gasproductie.

Door al deze aspecten die de stortgasvorming bepalen heeft het geen zin om complexe modellen voor stortgasvorming toe te passen. Daarom zijn de bestaande modellen voor stortgasvorming vrij eenvoudig van aard en gebaseerd op ervaringen uit de praktijk. Onderscheid kan worden gemaakt tussen nulde-ordemodellen, eerste-ordemodellen en multi-fasenmodellen [ref. 48]. Deze modellen zijn recentelijk gevalideerd voor Nederlandse stortplaatsen [ref. 40]. Gaande van het nulde-orde- naar het eerste-orde model blijkt de beschrijving van de stortgasvorming aanzienlijk beter te worden. Met het multi-fasenmodel worden de resultaten nog enigszins verder verbeterd.

De toepassingsmogelijkheden van deze modellen worden bepaald door het beschikbaar zijn van informatie over afvalhoeveelheden, -ouderdom en -samenstelling. Voor het nulde-ordemodel is alleen informatie nodig over afvalhoeveelheden; bij het eerste-ordemodel dient tevens de ouderdoms-opbouw bekend te zijn, terwijl bij het multi-fasenmodel ook de afvalsamenstelling van belang is.

Gelet op de beschikbare informatie in het stortplaatsenbestand is het niet mogelijk om het multi-fasenmodel toe te passen, nauwkeurige informatie omtrent de afvalsamenstelling is immers niet beschikbaar. Gegevens over de ouderdom van de stortplaats zijn wel aanwezig in het stortplaatsenbestand, zodat het eerste-ordemodel wel toepasbaar is.

In dit eerste-ordemodel wordt ervan uitgegaan dat de afbraaksnelheid evenredig is met de hoeveelheid van de nog aanwezige organische stof.

De hoeveelheid stortgas die ontstaat uit een afvalpakket dat in een bepaald jaar gestort is, wordt hierbij als functie van de tijd als volgt beschreven:

$$\alpha_t = \zeta \cdot 1,87 \cdot Q \cdot C \cdot k \cdot e^{-k \cdot t} \quad (4)$$

hierin is:

α_t de stortgasvorming t jaar na storten (m³/jr)

ζ de vormingsfactor (-), welke aangeeft welk deel van de biodegradeerbare organische koolstof uiteindelijk wordt omgezet in stortgas

Q	de hoeveelheid afval (ton)
C	het gehalte aan biologisch afbreekbaar organisch koolstof (kg·ton ⁻¹)
k	de afbraaksnelheidsconstante (jr ⁻¹)
t	leeftijd van het afval (jr)

De factor 1,87 geeft het volume stortgas weer, dat wordt geproduceerd per kg organische koolstof die daadwerkelijk wordt omgezet. Deze factor heeft de dimensie m³·kg⁻¹.

Voor het bepalen van de stortgasvorming uit een gehele stortplaats, worden de bijdragen van het afval gestort in verschillende jaren eerst afzonderlijk berekend. Sommatie van al deze bijdragen levert de totale stortgasvorming.

Deze sommatie kan worden vermeden, indien ieder jaar van exploitatie een gelijke hoeveelheid afval is aangevoerd. In dat geval valt vergelijking (4) te vereenvoudigen tot het Scholl-Canyon model, vergelijking (5).

$$\alpha_t = \zeta \cdot 1,87 \cdot Q \cdot C \cdot (e^{-k \cdot ts} - e^{-k \cdot te}) \quad (5)$$

hierin is:

te:	tijd na aanvang exploitatie (jr)
ts:	tijd na sluiting (in het geval van een stortplaats in exploitatie is ts gelijk aan 0) (jr)
Q	hoeveelheid afval per jaar (ton)

3.2.2 Keuze modelparameters

In een validatie van vormingsmodellen in Nederland zijn de meest waarschijnlijke waarden van de modelparameters in het eerste-ordemodel vastgesteld [ref. 40]. Daarnaast kan een gemiddeld koolstofgehalte van het afval in Nederland worden afgeschat [ref. 48]. Het eerste-ordemodel, dat hierdoor verkregen wordt, is vergelijkbaar met wat in de literatuur wordt beschreven [ref. 53; ref. 14; ref. 10; ref. 58].

Deze waarden zijn:

$$\zeta = 0,58$$

$$k = 0,094 \text{ jr}^{-1}$$

$$C_0 = 112 \text{ kg} \cdot \text{ton}^{-1}$$

Deze aannamen hebben als resultaat, dat geïntegreerd over de tijd 121 m³ stortgas per ton huishoudelijk afval zal ontstaan. Dit is minder dan wat is aangenomen door het RIVM bij een inventarisatie van Nederlandse methaanemissies [ref. 3]: 151 m³ stortgas per ton afval dat gestort is vóór 1986 en 143 m³·ton⁻¹ voor afval dat is gestort tussen 1987 en 1995. In dit rapport wordt gesproken van m³ per ton, terwijl door het RIVM wordt uitgegaan van kg per ton, hiervoor is gecorrigeerd.

3.2.3 Noodzakelijke invoergegevens

Voor de stortgasvorming dienen de volgende gegevens in het stortplaatsenbestand bekend te zijn:

- Aanwezigheid van organisch afval. Op een aantal stortplaatsen wordt geen organisch materiaal gestort, maar meer anorganische soorten afval als bouw- en sloopafval, puin, vliegias van verbrandingscentrales. Voorgesteld wordt om de aanwezigheid van huishoudelijk afval als criterium aan te

nemen voor het gehalte aan biologisch afbreekbaar organisch koolstof in het afval. Bij huishoudelijk afval wordt het gehalte gesteld op 112 kg koolstof per ton afval, bij "anorganisch" afval wordt het gehalte gesteld op 50 kg koolstof per ton.

- Exploitatieperiode. Van belang is het jaar van aanvang van de exploitatie en het jaar van sluiting (indien de stortplaats reeds gesloten is).
- Volume gestort afval. Aan de hand van het volume kan de hoeveelheid worden berekend uitgaande van het netto stortoppervlak en de dikte van het afvalpakket. Hoewel alle stortplaatsen hun eigen geometrie hebben, wordt de berekening geïdealiseerd tot een cirkelvormige stortplaats met standaardhellingen onder een verhouding van 1:4. Voor de omrekening van volume naar massa wordt een dichtheid van het afval van 1 ton/m³ aangehouden. Voor de stortgasvorming zouden de afvalhoeveelheden per jaar bekend moeten zijn, echter met name de oudere gegevens zijn vaak onvolledig en onnauwkeurig. De aanname dat de hoeveelheid afval gelijkmatig over de exploitatieperiode is gestort, geeft de mogelijkheid om de Scholl-Canyon relatie (5) te gebruiken.

3.3 Kwaliteit

Aan de hand van literatuurgegevens en enkele analyseresultaten van onttrokken stortgas is een gemiddelde samenstelling van stortgas bepaald. Uiteraard kunnen hierin afwijkingen optreden bij individuele stortplaatsen.

In tabel 3 zijn de gevonden analyseresultaten samengevat. Bij de presentatie is zoveel mogelijk aangesloten bij de stoffen en somparameters zoals die gebruikt worden in de rapportage van de Emissieregistratie. Gelet op de grote fluctuaties van de gevonden analyseresultaten is alleen gebruik gemaakt van de gegevens wanneer er minimaal drie resultaten beschikbaar waren. Van de hoofdcomponenten methaan en kooldioxyde zijn in principe ruim voldoende gegevens beschikbaar. Het aantal beschikbare resultaten van microverontreinigingen is echter beperkt. In bijlage B is het volledige overzicht opgenomen.

De aanwezigheid van de microcomponenten in het stortgas wordt veroorzaakt door:

- De aanwezigheid van bepaalde componenten in het gestorte afval, bijvoorbeeld CFK's uit koelkasten en spuitbussen en toluene uit afvalolie.
- Anaerobe afbraakprocessen, waardoor bijvoorbeeld zwavelwaterstof en vinylchloride kunnen worden gevormd.

Ervaringen met microverontreinigingen in Nederland wijzen erop, dat het merendeel van de spoorelementen gedurende de eerste tien jaar na het storten worden geëmitteerd.

Verwacht mag worden dat de concentraties van deze microcomponenten in de toekomst zullen afnemen. Steeds meer gevaarlijk afval afkomstig van huishoudens en bedrijven zal niet meer worden gestort maar op een andere wijze worden verwerkt. Een cijfermatige trend is echter niet te geven.

3.3.1 Emissies van CFK's

Een deel van de CFK-productie is op een stortplaats terechtgekomen, doordat diverse CFK-houdende produkten zoals piepschuim, spuitbussen en koelkasten gestort werden. In de loop van de tijd komen deze CFK's vrij als verontreinigingen in het stortgas. De concentraties van CFK's in het stortgas variëren sterk van plaats tot plaats, afhankelijk van de afvalsamenstelling. Doordat steeds minder CFK's worden toegepast, en doordat koelkasten tegenwoordig niet meer gestort worden, nemen de concentraties aan CFK's tegenwoordig af.

Een deel van de CFK's wordt in het afvalpakket gereduceerd, waarbij andere gechloreerde koolwaterstoffen (waaronder bijvoorbeeld het carcinogene vinylchloride) ontstaan.

Een gemiddelde concentratie van CFK's en andere gehalogeneerde koolwaterstoffen is vastgesteld aan de hand van literatuurgegevens en analyses van gewonnen stortgas. Deze gemiddelde samenstelling is gegeven in tabel 3.

3.3.2 Emissies van spoorelementen

Emissies van spoorelementen kunnen worden bepaald uit de totale emissie van stortgas, onder aanname van een gemiddelde concentratie, zie tabel 3.

Tabel 3 Samenstelling van stortgas

Component	Concentratie (vol %)	Concentratie (mg/m ³)
Kooldioxyde	40	
Methaan	60	
KWS (excl. CH ₄ + CFK's)		700
Benzeen		7
Tolueen		120
Organische halogeen verbindingen		130
CFK's		50
Trichloorfluormethaan (R11)		5
Trichloortrifluorethaan (112,122) (R113)		1
Dichloortetrafluorethaan (R114)		2
Chloorpentafluorethaan (R115)		1
Dichloordifluormethaan (R12)		20
Dichloorfluormethaan (R21)		10
Chloordifluormethaan (R22)		10
Overige organische halogeenverbindingen		
Dichlooretheen (1,2)		1
Dichloormethaan		20
Tetrachlooretheen		10
Tetrachloormethaan		0,0003
Trichloorethaan (1,1,1)		2
Trichlooretheen		10
Trichloormethaan		1
Vinylchloride		10
Som chloor		90
Som fluor		20
Methylmercaptaan		10
Zwavelwaterstof		100
Som zwavel		100

3.4 Stortgaswinning en -benutting

3.4.1 Emissiereductie door stortgaswinning

Voor 1993 wordt de onttrekking en benutting van stortgas als volgt verdeeld:

Tabel 4 Overzicht van stortgasprojecten (stand 1-1-1994)

Type verwerking	Aantal stortgasprojecten	Omvang (mln m ³)
Onttrekking	21	124
Directe verbranding		9
Elektriciteitsopwekking		43,5
Opwerking naar aardgaskwaliteit		32,9
Affakkeling		38,3

[ref. 2]

Bij een individuele stortplaats kan door stortgaswinning een significante emissiereductie worden bereikt. De hoeveelheid geëmitteerd stortgas kan hier worden berekend als het verschil van de hoeveelheden gevormd stortgas en de hoeveelheden gewonnen gas.

Voor de berekening wordt aangesloten bij de gegevens die zijn opgenomen in het stortplaatsenbestand.

3.4.2 Emissies bij benutting van stortgas

Wanneer stortgas wordt gewonnen, wordt het afgefakkeld, verbrand in een ketel of boiler, verbrand in een gasmotor ten behoeve van elektriciteitsopwekking of opgewerkt tot aardgaskwaliteit.

Bij de verbranding van stortgas ontstaan de voor verbrandingsprocessen gebruikelijke emissies. In bijlage C wordt een overzicht gegeven van emissiefactoren voor verschillende verbrandingsprocessen. Waar mogelijk is gebruik gemaakt van specifiek voor de toepassing van stortgas bekende factoren. In een aantal gevallen was dit niet mogelijk, hier is gebruik gemaakt van meer algemeen gehanteerde factoren. De emissie van CFK's en andere gehalogeneerde koolwaterstoffen is nihil. In een aantal projecten, bijvoorbeeld waar het stortgas wordt opgewerkt tot aardgaskwaliteit, worden deze componenten vooraf uit het stortgas verwijderd met behulp van actieve kool. In enkele gevallen worden de componenten op het actieve kool bij regeneratie alsnog gespuid in de atmosfeer. In de resterende projecten worden de componenten bij verbranding vrijwel geheel omgezet tot HCl en HF.

In het stortplaatsenbestand is informatie opgenomen over gasonttrekking, -verwerking en -benutting. Voor de verschillende benuttingsopties zijn gemiddelde emissiefactoren bepaald, gebaseerd op de emissiefactoren in bijlage C en de verdeling over fakkels en benuttingsinstallaties in 1993 [ref. 2].

Tabel 5 Gemiddelde emissiefactoren benutting stortgas

Stof	Emissiefactor (g/m ³ stortgas)
Dioxine	0,33 * 10 ⁻⁹ I-TEQ
Koolmonoxyde	9,2
Koolwaterstoffen	1,6
Stikstofoxyden	2,2
Roet	0,08
Zwaveloxyden	0,15

De emissies bij het winnen en benutten van stortgas kunnen worden bepaald door de hoeveelheid gewonnen stortgas te vermenigvuldigen met de emissiefactoren uit tabel 5.

3.5 Emissiereductie door oxydatie van methaan in de toplaag

Voordat methaan in de atmosfeer wordt geëmitteerd, passeert het de toplaag, waar een deel geoxydeerd wordt. De mate waarin methaan in de toplaag wordt geoxydeerd is onbekend, maar er bestaat een aantal schattingen. ref. 42 neemt 40 tot 50% oxydatie aan; ref. 54 stelt de oxydatie in de toplaag op 0 tot 40%; ref. 55 10% en in de Nederlandse emissie-inventarisatie wordt uitgegaan van 20% [ref. 3].

Deze schattingen zijn gebaseerd op interpretatie van laboratoriumproeven. Er zijn echter twee aspecten waardoor een vertaling van deze laboratoriumproeven naar de werkelijke situatie niet zonder meer kan worden gemaakt:

- Stortgas diffundeert in de praktijk niet homogeen door de toplaag, maar wordt geëmitteerd via allerlei kanalen en scheuren in het afvalpakket. Dit wordt gestaafd door metingen, waaruit blijkt dat emissies op een enkele stortplaats van plaats tot plaats kunnen variëren met meer dan een factor duizend [ref. 58]. Het overgrote deel van het stortgas komt vrij in een dusdanig hoge flux, dat het gas niet de kans krijgt om te oxyderen.
- Het stortgas bevat geen zuurstof om de methaan te oxyderen. De benodigde zuurstof dient uit de atmosfeer via diffusie in het afvalpakket of de afdeklaag door te dringen. Omdat deze diffusie wordt tegengegaan door een convectieve stroom van stortgas uit het afvalpakket, is de kans groot dat de oxydatie in de toplaag wordt gelimiteerd door de overdracht van zuurstof uit de atmosfeer naar het afvalpakket. Deze massaoverdrachts-limitering was afwezig bij de meeste laboratoriumexperimenten, hetgeen resulteert in een overschatting van de oxydatie.

Omdat zowel de inhomogeniteit van de toplaag als de stortgasflux uit het afvalpakket in de loop van de jaren afneemt, zal de mate van oxydatie toenemen met de ouderdom van de stortplaats. Hierbij is het niet uit te sluiten dat uiteindelijk 100% oxydatie wordt bereikt.

Het meeste stortgas ontstaat echter in de eerste jaren na storten, waardoor de invloed van oxydatie, geïntegreerd over de levensduur van de stortplaats, minder zal zijn dan de percentages zoals hiervoor genoemd. In de methodiek in deze studie wordt de oxydatie in de toplaag vastgesteld op 10%.

4 OVERZICHT STORTPLAATSENBESTAND

De tabellen in het rapport Afvalverwerking in Nederland [ref. 4, ref. 5] geven een overzicht van de beschikbare gegevens per stortplaats in het stortplaatsenbestand. In de tabellen staan gegevens gepresenteerd van totaal 115 stortplaatsen, 72 in exploitatie, 43 gesloten of in oprichting.

Voor dit project worden de volgende gegevens beschouwd:

Locatienaam
X- en Y-coördinaten
RIVM-nummer
Deellocatie
Totaal netto oppervlak
Dikte van het afvalpakket
Huishoudelijk afval gestort
Datum aanvang exploitatie
Datum einde exploitatie
Aanwezigheid onderafdichting
Aanwezigheid bovenafdichting
Percolaatzuivering: behandeling en methode

De locaties zijn geografisch te verwerken aan de hand van de xy-coördinaten. Per locatie worden deellocaties onderscheiden, waarmee verschillen in het voorzieningenniveau worden aangegeven (status, oppervlak, wel of geen onderafdichting, bovenafdichting e.d.). Voor de bepaling van de waterstromen heeft het hanteren van deellocaties als voordeel, dat de berekeningen sterk vereenvoudigd worden.

Uit de historische gegevens van het stortplaatsenbestand blijkt dat er sinds 1989 jaarlijks steeds meer gegevens worden opgenomen. Vanaf 1991 zijn van bijna iedere stortplaats in exploitatie de volledige afvalaanvoergegevens bekend. Dit is te danken aan een steeds vollediger respons op de jaarlijkse enquête van de stortplaatsbeheerders door het RIVM/AOO/VvAV.

5 BEREKENINGEN

5.1 Water

5.1.1 Berekening algemeen

In de berekeningen voor de waterkwantiteit wordt een aantal standaardgegevens gebruikt. Deze worden in onderstaand overzicht gepresenteerd:

N	neerslag (mm/jr)
V	verdamping (mm/jr)
A_t	totaal oppervlak (ha)
A_e	afgedicht oppervlak (ha)
A_s	oppervlak stortfront en niet-begroeid oppervlak (2 ha)
A_d	afgedekt (begroeid) oppervlak (ha)
T	aanvoer (ton)
O_d	overschot afgedekt (300 mm/jr)
O_s	overschot openliggend (450 mm/jr)
O_e	overschot afgedicht (5 mm/jr)
P	produktie van water in het afvalpakket (uit afbraak organisch materiaal, of perswater), hier gesteld op 0

Kwantiteit

Uitgangspunt:

- indien in exploitatie: stortfront wordt gesteld op 2 ha ($A_s = 2$)
- afdekking ($A_d = A_t - A_e - A_s$)

Totale overschot

$$O = (A_d \cdot O_d + A_s \cdot O_s + A_e \cdot O_e) \cdot 10\,000/1000 + P$$

Kwaliteit

- algemeen: methanogeen volgens tabel 2 (bijlage A);
- "geen" organisch afval: afwijkende kwaliteit volgens tabel 2 (bijlage A);
- zuiveringsrendementen, afhankelijk van het type zuivering (bijlage A).

5.1.2 Berekening van emissies

In tabel 6 zijn de getotaliseerde emissies van de individuele stortplaatsen gepresenteerd. Tevens is een kolom opgenomen met de emissies van de componenten in geheel Nederland, zoals die in de literatuur worden gevonden. Vervolgens zijn de totale stortplaatsemissies hieraan gerelateerd.

De verdeling over de drie stromen die bij de berekeningen van de emissies zijn onderscheiden is als volgt: lozing op de riolering (60%), ongecontroleerde lozing (30%) en gecontroleerde lozing op het oppervlaktewater (10%). In tabel 6 zijn deze emissies getotaliseerd.

Tabel 6 Emissies door percolaat

Component	Totale emissies van stortplaatsen	Emissie in Nederland ¹	Bijdrage stortplaatsen (%)
Chemisch zuurstofverbruik (CZV) (ton/jr)	9 100	n.b.	-
Stikstof (N-totaal) (ton/jr)	3 900	215 000	1,8
Fosfor (P-totaal) (ton/jr)	20	19 000	0,11
Chloride Cl (ton/jr)	7 100	686 000	1,03
Arseen As (kg/jr)	500	7 330	6,8
Cadmium Cd (kg/jr)	120	4 730	2,5
Kwik Hg (kg/jr)	25	1 580	1,6
Som metalen (ton/jr) ²	6	1 354	0,44
Benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen BTEX (ton/jr)	5	620	0,81

1 Emissies naar water (1994) [ref. 36]

2 Som metalen is de som van de individuele elementen chroom, koper, lood, nikkel en zink voor "organische" stortplaatsen en de totaalparameter voor stortplaatsen met "geen" organisch afval

n.b. niet bekend

De conclusies die uit deze weergave naar voren komen zijn als volgt samen te vatten:

- De omvang van emissies van verontreinigingen in het water door stortplaatsen is over het algemeen laag (van 0,1% tot 2,5%).
- Emissies in de orde van 1% van de totale emissie in Nederland worden gevonden voor de stoffen stikstof, chloride, cadmium, kwik en BTEX.
- De hoogste emissie wordt gevonden bij arseen, deze bedraagt 6,8% van de totale emissies.

De percentages gelden ten opzichte van de totale gepubliceerde Nederlandse emissies, plaatselijk kan het aandeel van emissies door stortplaatsen uiteraard hoger zijn.

5.2 Gas

5.2.1 Berekening algemeen

De totale stortgasemissie wordt berekend uit de stortgasvorming en de stortgasemissies. De standaardgegevens, die worden gebruikt voor het bepalen van de vorming, zijn:

A_t	totaal oppervlak (ha)
D	dikte afvalpakket (m)
HA	huishoudelijk afval gestort? (ja/nee)
Q	hoeveelheid afval (m^3)
t_e	tijd na aanvang exploitatie (jr)
t_s	tijd na sluiting (jr)

Kwantiteit

De stortgasvorming wordt vervolgens berekend volgens vergelijking (5):

$$\alpha_t = \zeta \cdot 1,87 \cdot Q \cdot C \cdot (e^{-k \cdot t_s} - e^{-k \cdot t_e}) \quad (6)$$

Hierin is:

$$\zeta = 0,58$$

$$k_1 = 0,094 \text{ jr}^{-1}$$

$$C_0 = 112 \text{ kg ton}^{-1}$$

De standaardgegevens, die worden gebruikt voor het bepalen van de winning, zijn:

W	stortgaswinning? (ja/nee)
Q_{win}	hoeveelheid gewonnen stortgas (m^3/jr)

Kwaliteit

De emissies van componenten in gevormd stortgas volgen uit de totale stortgasemissie en de samenstelling van stortgas, als gegeven in tabel 3.

De emissies van methaan worden met 10% verminderd als gevolg van oxydatie in de toplaag (zie § 4.4).

De emissies bij winning en benutting van stortgas worden berekend uit de gewonnen hoeveelheden stortgas door toepassing van de emissiefactoren in tabel BC.1 (bijlage 3).

5.2.2 Berekening

In de tabellen 7 en 8 zijn de berekende waarden van alle individuele stortplaatsen getotaliseerd en vergeleken met de totale Nederlandse emissies.

Tabel 7 Emissies door stortgas

Component	Emissie vanuit stortplaatsen (ton/jr)	Emissie in Nederland ¹ (ton/jr)	Bijdrage stortplaatsen (%)
Methaan	245 800	1 060 000	23
Koolwaterstoffen (excl. CH ₄ + CFK's)	410	366 000	0,11
Benzeen	4	6 310	0,06
Tolueen	67	18 200	0,37
CFK's	29	4 170	0,70
Zwavelwaterstof	57	2 580	2,2

1 Emissiegegevens naar de lucht over 1994 [ref. 36]

Tabel 8 Emissies door toepassing van stortgas

Component	Emissie vanuit stortplaatsen (ton/jr)	Emissie in Nederland ¹ (ton/jr)	Bijdrage stortplaatsen (%)
Dioxinen (I-TEQ-gram)	0,041 ²	91,3 ²	0,04
Koolmonoxyde	1 141	932 000	0,12
Stikstofoxyden	273	542 000	0,05
Koolwaterstoffen exclusief CH ₄ en CFK's	198	166 000	0,12
Roet	9,9	33 200 ³	0,03
Zwaveloxyden	18,6	277 000	0,01

1 Emissiegegevens naar de lucht over 1994 [ref. 36]

2 Uitgedrukt in gram/jaar

3 Emissiegegevens naar de lucht over 1990 [ref. 34)]

Gezien de onzekerheden in de wijze waarop de emissies zijn vastgesteld, dienen de berekende resultaten als indicatie te worden beschouwd. Ondanks de onzekerheden met betrekking tot de betrouwbaarheid van de gepresenteerde waarden kunnen toch enkele interessante conclusies worden getrokken:

- De bijdrage aan de totale methaan- en H₂S-emissie is aanzienlijk.
- De bijdrage aan CFK- en tolueenemissies is in de orde van 1%.
- De bijdrage aan de totale verbrandingsemisies zijn zeer klein. Lokaal kan het aandeel van emissies van stoffen in stortgas of afgassen uiteraard veel hoger zijn.

De schatting van de hoeveelheden methaan in deze studie wijken af van de hoeveelheden die eerder werden gerapporteerd door [ref. 3]. De oorzaak hiervan is enerzijds de informatie over hoeveelheden afval, die is opgenomen in het stortplaatsenbestand en anderzijds het voortschrijdend inzicht in de hoeveelheden methaan die per ton afval ontstaan:

- De hoeveelheden afval, die Van Amstel heeft aangenomen zijn hoger dan de hoeveelheden, die zijn opgenomen in het stortplaatsenbestand.

- De hoeveelheden stortgas, die per ton afval ontstaan zijn in deze studie lager dan werd aangenomen door Van Amstel. Deze informatie is gebaseerd op een recente validatie van modellen voor stortgasvorming [ref. 40].
- De concentratie van methaan in stortgas is in deze studie hoger dan werd aangenomen door Van Amstel. Deze informatie is gebaseerd op een inventarisatie van samenstellingen van onttrokken stortgas, uitgevoerd in het kader van deze studie (zie hoofdstuk 3).
- De oxydatie in de toplaag van stortplaatsen is in deze studie lager dan door Van Amstel is aangenomen. Dit is gebaseerd op de resultaten van metingen van emissies van stortplaatsen, en is recentelijk bevestigd door onderzoek [ref. 41].

Al deze aspecten resulteren in de lagere schatting van de emissies van methaan uit stortplaatsen dan voorheen werd gehanteerd.

6 CONCLUSIES

6.1 Algemeen

In dit onderzoek is een berekening van emissies door stortplaatsen naar de lucht en het water (de bodem) uitgevoerd. Voor de berekeningen zijn de karakteristieken van de individuele stortplaatsen gecombineerd met algemene (gemiddelde) emissiefactoren voor stortplaatsemissies. Voor deze aanpak is gekozen om op een eenduidige, eenvoudige wijze een groot aantal locaties door te rekenen, zodat niet iedere locatie individueel hoeft te worden beoordeeld. De voordelen zijn dat alle locaties zo op uniforme wijze worden behandeld, zodat door eventuele afwijkingen in de berekeningen de resultaten vergelijkbaar blijven en eventuele aanpassingen van de berekeningen op zeer eenvoudige wijze kunnen worden doorgevoerd. De nadelen, of beperkingen, van een dergelijke aanpak zijn dat onvermijdelijke, onderlinge verschillen tussen stortplaatsen wellicht niet uit de berekeningen blijken. Echter, het feit dat een individuele beoordeling en behandeling zeer veel tijd vergt, heeft voor de keuze van een algemene, globale beschouwing de doorslag gegeven.

Bij het opstellen van een methodiek voor het bepalen van water- en gasemissies is uitgegaan van bestaande, in de praktijk veel gebruikte en geverifieerde modellen. Voor algemeen gebruik zijn de constanten en variabelen in de modellen zodanig gekozen dat na het toepassen bij veel, zeer verschillende, stortplaatsen een goede benadering van de werkelijk optredende emissies wordt bereikt.

Gezien de zeer gevarieerde beschikbaarheid van geregistreerde algemene gegevens van stortplaatsen in het door het RIVM beheerde stortplaatsenbestand zijn voor zowel de berekeningen van emissies naar water als naar lucht aannames gedaan met betrekking tot oppervlaktes, volumes en afvalaanvoer.

De beschreven en gehanteerde methodiek is eenvoudig toepasbaar voor de bepaling van de emissies. Omdat een beperkt aantal stortplaatsspecifieke kenmerken bij de berekening wordt gebruikt, is zowel voor locaties waarvan voldoende gegevens bekend zijn, als van – meestal oude of gesloten – stortplaatsen waarvan slechts een gering aantal items bekend is, een algemeen geldende berekeningsmethodiek bruikbaar.

De resultaten van de berekening voor wateremissies zijn getotaliseerd voor de verschillende parameters bij drie verschillende "bestemmingen":

- (ongecontroleerde) lozing;
- directe lozing op oppervlaktewater;
- lozing op de riolering.

Hieruit blijkt dat de grootste emissie plaatsvindt naar de riolering (60%), gevolgd door ongecontroleerde lozing (30%) en lozing op oppervlaktewater (10%).

Uit de berekeningsresultaten van gasvormige emissies blijkt dat circa 16% van al het geproduceerde stortgas daadwerkelijk wordt onttrokken. Uit vergelijking met bekende (totale) emissies in Nederland blijkt dat het aandeel van de methaanemissie uit stortplaatsen circa 23% bedraagt. De emissie van zwavelwaterstof bedraagt circa 2,2%, de emissies van toluëen, CFK's, koolmonoxyde (bij verbranding van stortgas) en koolwaterstoffen liggen elk tussen 0,1 en 1% van de totale emissies in Neder-

land. Alle andere parameters blijven onder 0,1%. De totale dioxine-emissie uit de verbranding van stortgas ligt op circa 0,007% van de totale Nederlandse dioxine-emissie. In vergelijking met andere berekeningen is de hier berekende stortgasproduktie circa 40% lager. Dit wordt onder andere veroorzaakt door lagere afvalhoeveelheden, berekeningswijze van de stortgasproduktie, methaangehalte van het stortgas en aannames voor oxydatie van methaan in de toplaag van stortplaatsen.

Het gebruikte stortplaatsenbestand bevat informatie van veel, vooral grote, stortplaatsen. Kleine, oude stortplaatsen die vanwege hun aantal een aanzienlijke bijdrage zouden kunnen geven in de totale emissie zijn in het bestand ondervertegenwoordigd. Er bestaat onzekerheid over de bijdrage aan de emissies vanuit de kleine stortplaatsen, met name van methaan dat in de toplaag geoxydeerd kan worden.

6.2 Aanbevelingen

Uit de beschrijvingen blijkt dat voor een globale bepaling van emissies uit stortplaatsen de gepresenteerde methodiek voldoet. Een nauwkeuriger bepaling is alleen mogelijk voor locaties waarvan voldoende historische gegevens bekend zijn. Vooral voor oude stortplaatsen is dat praktisch gezien niet mogelijk. Ook bij bestaande, of jonge stortplaatsen is vaak slechts beperkt informatie over het verleden bekend.

Om het beeld van emissies naar lucht te completeren met de bijdrage vanuit kleine stortplaatsen is nader onderzoek naar de oxydatie van stortgas in de toplaag aan te bevelen.

Een mogelijkheid om bij toekomstig actualiseren van de berekeningen tegemoet te komen aan de relatief onnauwkeurige benadering die in deze studie is gehanteerd, is voor het verleden de methode te blijven gebruiken, en vanaf een bepaald jaar de recente stortgegevens, die naar aard en hoeveelheid bekend zijn, te verwerken in een rekenmodel.

Voor de bepaling van de wateremissies is een nauwkeurige opgave van oppervlaktes van belang. Om in de toekomst een betrouwbaarder berekening te kunnen maken, is het registreren van actuele uitbreidingen van stortplaatsen gewenst.

In verband met veranderende afvalsamenstellingen is het noodzakelijk ontwikkelingen in de percolaatkwaliteit te volgen en eventueel hier de berekeningen op aan te passen.

7 LITERATUUR

- 1 Aalbers, Th.G. (1992). Uitloging van zware metalen en anionen uit afvalstoffen in relatie tot bodem- en grondwater bescherming; grenswaarden C2-, C3 en C4-afvalstoffen. RIVM, Bilthoven
- 2 Adviescentrum Stortgas (1994). Winnen en benutten van stortgas in 1993. Utrecht
- 3 Amstel, A.R. van, e.a.(1993). Methane the other greenhouse gas research and policy in the Netherlands, RIVM, Bilthoven
- 4 AOO, RIVM, VVAV, (1993). Afvalverwerking in Nederland, kalenderjaar 1992, Bilthoven.
- 5 AOO, RIVM, VVAV, (1994). Afvalverwerking in Nederland, kalenderjaar 1993, Bilthoven.
- 6 Bartelds, H., (1981). Emissies ten gevolge van de verbranding in afgasfakkels, TNO-rapport 81-01478, Apeldoorn.
- 7 Bartelds, H., (1993). Vorming van dioxinen bij verbranding van stortgas, TNO-rapport 94-014, Apeldoorn.
- 8 Bartelds, H., Scheffer, C.B., (1994). Industrial combustion in gas turbines and internal combustion engines, Stuurgroep Emissies, werkgroep energie en verbrandingsprocessen.
- 9 Blakey, N.C., (1992). Model prediction of landfill leachate production, Landfilling of waste: leachate, Barking.
- 10 Born, G.J. van den, Bouwman, A.F., Olivier, J.G.J., Swart, R.J., (1991). The emission of greenhouse gases in the Netherlands, RIVM, Report no. 222 901 003, Bilthoven.
- 11 Centraal Bureau voor de statistiek, (1992). Algemene milieustatistiek 1992, 's-Gravenhage.
- 12 Centraal Bureau voor de statistiek, (1993). Statistisch jaarboek 1993, 's-Gravenhage.
- 13 Coördinatiecommissie Uitvoering Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren, (1987). Zuivering van percolatiewater van stortplaatsen voor afvalstoffen.
- 14 Ehrig H.J., (1986). Untersuchungen zur Gasproduktion aus Hausmüll, Müll und Abfall, Vol 5, p173-183.
- 15 Farquhar, G.J., Rovers, F.A., (1973). Gas production during refuse decomposition, Water, Air, and Soil Pollution, Vol 2, p483-495.
- 16 Glas, H., Notenboom, G.J., Liem, G.H., (1993). High rate biological leachate treatment, Proceedings Sardinia 93, Fourth International Landfill Symposium, Cagliari, Italy, p883-892.

- 17 Grontmij, (1989). ISP-project HF-2, Bergingsmogelijkheden van concentraat afkomstig uit een hyperfiltratie-installatie in een afvalstort, De Bilt.
- 18 Grontmij, (1991a). Analyseresultaten stortgasonttrekking Schinnen.
- 19 Grontmij, (1991b). Analyseresultaten stortgasonttrekking Schijndel.
- 20 Grontmij, (1992a). Project Leidraad storten, Recirculatie percolatiewater voor gecontroleerde stortplaatsen, De Bilt.
- 21 Grontmij, (1992b). Analyseresultaten stortgasonttrekking Bavel.
- 22 Grontmij, (1994). Analyseresultaten stortgasonttrekking Bavel.
- 23 Hasemann, G., Rieskamp, H., (1987). Untersuchungen zum Emissionsverhalten von Deponiegasfackeln, Deponie-Ablagerung von Abfällen, Vol 3 p169-185.
- 24 Hoeks, J., Agelink, G.J., (1982). Onderzoek naar de mogelijkheden om de infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen, 's-Gravenhage.
- 25 Hoeks, J., (1986). Milieu-effecten van afvalstortplaatsen, Afvalbeheer, Vol 4, p18-22.
- 26 IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, (1994). Radiative forcing of climate change, The 1994 report of the scientific assessment working group of IPCC.
- 27 Kaimann, B., (1991). Emissionen chlorierter Kohlenwasserstoffe bei Verbrennung von Deponiegassen in Fackeln, VDI-berichte 922, p213-222.
- 28 Kroeze, C., (1994). Nitrous oxide (N₂O) emission inventory and options for control in the Netherlands, RIVM rapportnr. 773001004, RIVM, Bilthoven.
- 29 Liberti, L., Amicarelli, V., Amodio, F., Ferrara, L., Blasi, G., (1993). Measurement of Landfill gas and quantitative prediction at Bari Landfill Site, Proceedings Sardinia 93, Fourth International Landfill Symposium, Cagliari, Italy.
- 30 Luning, L., Tent, J., (1993). Gaseous emissions of Landfill Sites, Proceedings Sardinia 93, Fourth International Landfill Symposium, Cagliari, Italy.
- 31 Ministerie VROM, (1985). Richtlijn gecontroleerd storten, 's-Gravenhage.
- 32 Ministerie VROM, (1991). Richtlijnen voor dichte eindafwerking op afval- en reststofbergingen, 's-Gravenhage.
- 33 Ministerie VROM, (1993a). Leidraad Storten, Den Haag.

- 34 Ministerie VROM, (1993b). Emissies in Nederland, Trends, thema's en doelgroepen, Vijfde inventarisatieronde - 1990, Publikatiereeks Emissieregistratie, nr 13, 's-Gravenhage.
- 35 Ministerie VROM, (1994). Emissies in Nederland - 1992, Trends, thema's en doelgroepen, VRamingen 1993, Publikatiereeks Emissieregistratie, nr 20, 's-Gravenhage.
- 36 Ministerie VROM, (1995). Emissies in Nederland - 1993, Bedrijfs groepen, regio's en individuele stoffen. Ramingen 1994. Publikatiereeks Emissieregistratie, nr 26, 's-Gravenhage.
- 37 Nagelhout, D., Wieringa, K., Joosten, J.M., (1989). Afval 2000 - een verkenning van de toekomstige afvalverwijderingsstructuur-, Bilthoven.
- 38 Oonk J., (1993a). Landfill gas formation, recovery and emission in the Netherlands, 1st Symposium on non-CO2 greenhouse gases, Maastricht.
- 39 Oonk, J., Scheepers, M.J.J., Takke, J.W., (1993b). Overzicht stortgasprojecten in Nederland (1983-1991), Adviescentrum Stortgas, Utrecht.
- 40 Oonk, H., Weenk, A., Coops, O., Luning, L., (1994). Validation of landfill gas formation models, TNO-rapport 94-315, Apeldoorn.
- 41 Oonk, J., Boom, A., (1995). Landfill gas formation, recovery and emissions, TNO-rapport R95-203, Apeldoorn.
- 42 Orlich, J., (1990). Methane emissions from landfill sites and water waste lagoons, Federal Environment Agency, Berlin.
- 43 Rautenbach, R., (1987). Wirtschaftliche Aspekte der Aufbereitung von Deponie- und Faulgas durch Membranverfahren, Deponie-Ablagerung von Abfällen, Vol 3, blz 139-154.
- 44 Rijtema, P.E., Roest, C.W.J., Pankow, J., (1986). Onderzoek naar de waterbalans van vuilstortplaatsen, Wageningen.
- 45 Roedinger, M., Glomm, H., (1988). Zur Technik der Hochtemperatur Verbrennung von Deponiegas, Kommunalwirtschaft, Vol 5, p136-139.
- 46 Rosenbusch, K., (1991). Deponieverfassung und -verwertung unter dem Aspekt neuer administrativer Anforderungen, Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Vol 2, p27-50.
- 47 Rudolph, U., Lewitz, H., (1989). Bau und betrieb der Entgassungsanlage auf der Deponie Georgswerder, Wasser und Boden, Vol 9, p526-531.
- 48 Scheepers, M.J.J., Zanten B. van, (1994). Handleiding stortgaswinning, Adviescentrum Stortgas, Utrecht.

- 49 Schneider, J., (1991). Reinigung von Deponiegas, Entsorgungspraxis, Vol 9, p161-166.
- 50 Stichting Vaste Afvalstoffen, (1970). Rapport vuilverwijdering periode 1970-2000, Amersfoort.
- 51 Stichting Verwijdering Afvalstoffen, (1976). Overzicht van afvalverwerkingsgebieden in Nederland, SVA 1791, Amersfoort.
- 52 Stichting Verwijdering Afvalstoffen, (1979). Overzicht afvalverwijdering, SVA 3000, Amersfoort.
- 53 Tabasaran, O., (1976). Überlegungen zum Problem Depo-niegas, Müll und Abfall, Vol 7, p204.
- 54 UK Department of the Environment, (1993). An assessment of methane emissions from UK landfills, UK DoE report CWM 063/93.
- 55 US-EPA, (1993). Anthropogenic methane emissions in the United States: Estimates for 1990, EPA 430-R-93-003.
- 56 Verschut, C., (1991a). Broeikasgassen uit vuilstorts, meet-rapport AVRI, TNO-rapport 91-385, Apeldoorn.
- 57 Verschut, C., (1991b). Broeikasgassen uit vuilstorts, meet-rapport ARN BV, TNO-rapport 91-398, Apeldoorn.
- 58 Verschut, C., Oonk J., Mulder W., (1991c). Broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland, TNO-report 91-444, IMET-TNO, Apeldoorn.
- 59 Widder, G., Wiemer, K., (1991). Deponie/Abgasmesspro-gramm in Hessen, Fachtagung in Trier, 6-8 maart 1991.
- 60 Willumsen, H.C., (1985). Utilization of landfill gas from small Danish landfill, GRCD 8th international landfill gas symposium.
- 61 Woelders, H., e.a., (1993). Landfilling of MSW after separa-tion of biowaste and RDF: Emission control, Proceedings Sardinia 93, Fourth International Landfill Symposium, Cagli-ari, Italy.
- 62 Wuebbles, D.J., Edmonds, J., (1990). Primer on Greenhou-se Gases.

BIJLAGEN

Tabel A.1 Samenstelling percolaat [ref. 33, ref. 1]

Parameter	Eenheid	Methano- geen per- colaat	"Geen" organisch afval
Chemisch zuurstofverbruik CZV	mg/l	3 000	400
Biologisch zuurstofverbruik BZV	mg/l	180	40
Chloor Cl ⁻	mg/l	2 100	n.b.
Stikstof N-totaal	mg/l	1 250	40
Fosfor P-totaal	mg/l	6	n.b.
Cyanide CN	mg/l	n.b.	100
Arseen As	µg/l	160	10-50
Cadmium Cd	µg/l	6	10-50
Kwik Hg	µg/l	10	10-50
Chroom Cr ⁶⁺	µg/l	300	n.b.
Koper Cu ²⁺	µg/l	80	n.b.
Nikkel Ni ²⁺	µg/l	200	n.b.
Lood Pb ²⁺	µg/l	90	n.b.
Zink Zn ²⁺	mg/l	0,6	n.b.
*Som zware metalen: Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	mg/l	1,25	1,5
BTEX	mg/l	0,5 ¹	2
PAK	µg/l	n.b.	50

1 Aanname kwaliteitsgegevens CUWVO [ref. 13]
n.b. niet bekend

Tabel A.2 *Zuiveringspercentages van verschillende behandelingsmethoden van percolatiewater*

Zuiveringstechniek	Zuiveringspercentage percolaat				
	CZV	BZV	N-Kj	Metalen	BTEX
Anaeroob + chemische conditionering	85	80	10	90	90
Aëroob met N-verwijdering	65	85	93	35	35
Hyperfiltratie 1 sectie	99	95	75	98	98
Hyperfiltratie 2 secties	99	99	98	98	98
Flocculatie/Precipitatie	10	0	10	50	50

[ref. 16]

SAMENSTELLING VAN STORTGAS

Tabel B.1 Samenstelling stortgas, macrocomponenten

Component	Concentratie (vol %)	Aantal analyses	Standaard afwijking
Kooldioxyde	43,1	14	5,99
Methaan	56,9	16	9,92
Stikstof		12	4,31
Waterstof		7	1,54
Zuurstof		12	1,37

Tabel B.2 Samenstelling stortgas, microcomponenten

Component	Concentratie (mg/m ³)	Aantal analyses	Standaard afwijking
KWS (excl. CH ₄ en CFK's)	714		
Dekaän	56	3	44,2
Heptaän	13,7	8	15
Hexaän	11,1	8	12,1
Nonaän	40,8	3	17,1
Octaän	12,9	8	9,72
Pentaän	32,1	8	45,4
Dicyclopentadien	8,9	5	9,84
Benzeen	7	9	7,11
Butylbenzeen (tert-)	35,2	5	33,3
Ethylbenzeen	70,4	6	40,2
Tolueen	118	9	98,1
Trimethylbenzeen(1,3,5-)	82,7	5	77
Xyleen (o,m en p)	146	7	120
Organische halogeen verb.	129		
CFK's	50		
R11	5,29	14	6,09
R113	1,14	9	0,727
R114	2,24	5	1,23
R115	1,02	3	1,06
R12	21,9	7	16
R21	6,33	6	7,23
R22	12,1	3	14,9

Tabel B.2 Samenstelling stortgas, microcomponenten (vervolg)

Component	Concentratie (mg/m ³)	Aantal analyses	Standaard afwijking
Overige halogeen- koolwatersoffen			
Chloorethyleen	18	3	21,4
Dichlooretheen (1,2)	12,6	4	8,58
Dichloormethaan	17,2	14	25,7
Tetrachlooretheen	9,78	14	10,4
Tetrachloormethaan	0,0003	10	0,0004
Trichloorethaan (1,1,1)	1,88	13	3,5
Trichlooretheen	8,64	15	11,1
Trichloormethaan	0,947	11	1,97
Vinylchloride	9,64	13	7,35
Som-chloor	85,8		
Som-fluor	15,8		
Koolstofdisulfide	3,79	3	2,98
Methylmercaptaan	13	7	13
Zwavelwaterstof	97,7	9	69,2
Som-zwavel	104		

[ref. 18; 19; 21; 22; 23; 27; 29; 30; 43; 45; 46; 47; 49; 56; 57; 58; 59; 60].

Tabel C.1 Emissiefactoren stortgasverbranding

Stof	Bron	Factor (g/m ³ stortgas)	Referentie
Dioxine	fakkel	$0,90 \cdot 10^{-9}$	6
	fakkel ht	$0,26 \cdot 10^{-9}$	6
	gasmotor	$0,30 \cdot 10^{-9}$	6
	ketel	$0,72 \cdot 10^{-9}$	6
CO	fakkel	- 2,7% C	7
	gasmotor '85-'90	6	8
	gasmotor < '85	6	8
	gasmotor > '90	3,4	8
C _x H _y	fakkel	- 0,27% C _x H _y	7
	gasmotor '85-'90	4	8
	gasmotor < '85	4	8
	gasmotor > '90	6	8
NO _x	fakkel	0,3	30
	fakkel ht	0,18	45
	gasmotor	6	30
	gasmotor '85-'90	14	8
	gasmotor < '85	50	8
	gasmotor > '90	3	8
Roet	fakkel	- 0,05% C _x H _y	7
SO _x	fakkel	- 100% S	7

Opmerkingen

- 1 Bij de bepaling van de emissiefactoren voor dioxinen is gebruik gemaakt van de toxiciteitsequivalentiefactoren van de 17 meest toxische dioxinen en furanen.
- 2 De emissiefactor voor koolmonoxyde is de geëmitteerde in koolmonoxyde gebonden koolstof als percentage van de koolstof in de brandbare componenten in het fakkelgas.
- 3 De emissiefactor voor koolwaterstoffen is de geëmitteerde in koolwaterstoffen gebonden koolstof als percentage van de koolstof in de brandbare componenten in het fakkelgas.
- 4 De emissiefactor voor roet is de geëmitteerde in roet aanwezige koolstof als percentage van de koolstof in de brandbare componenten in het fakkelgas.
- 5 De emissiefactor voor zwaveloxyden is de geëmitteerde in zwaveloxyden gebonden zwavel als percentage van de zwavel in het fakkelgas.

[ref. 6; 7; 8; 30; 45].

D.1 Algemene berekeningen

D.1.1 Volumeberekening van een stortplaats

Uitgangspunten voor de volmeberekening van een stortplaats:
hellingen 1:4, geïdealiseerd volume met een cirkelvormige plattegrond
(maximaal volume)

Bekende gegevens zijn:

A_g grondoppervlak
 H dikte afvalpakket

Hieruit afgeleid worden:

R straal van het grondoppervlak
 r straal van het bovenoppervlak
 A_b bovenoppervlak
 V volume

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{A_g / \pi} \\ r &= R - 4H \\ V &= \frac{1}{3} H (A_g + A_b + \sqrt{A_g A_b}) \\ A_b &= \pi r^2 = \pi (R - 4H)^2 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{3} H (A_g + A_b + \sqrt{A_g A_b}) \\ &= \frac{1}{3} H (\pi R^2 + \pi r^2 + \sqrt{\pi^2 R^2 r^2}) \\ &= \frac{1}{3} H (\pi R^2 + \pi r^2 + \pi Rr) \\ &= \frac{1}{3} H (\pi R^2 + \pi (R - 4H)^2 + \pi R(R - 4H)) \\ &= \frac{1}{3} \pi H (R^2 + R^2 - 8RH + 16H^2 + R^2 + 4RH) \\ &= \frac{1}{3} \pi H (3R^2 - 12RH + 16H^2) \\ &= \frac{1}{3} \pi H \left(3 \frac{A_g}{\pi} - 12H \sqrt{\frac{A_g}{\pi}} + 16H^2 \right) \\ &= A_g H - 4\pi H^2 \sqrt{\frac{A_g}{\pi}} + \frac{16}{3} \pi H^3 \end{aligned} \quad (8)$$

D.1.2 Afleiding berekeningswijze Scholl-Canyon model

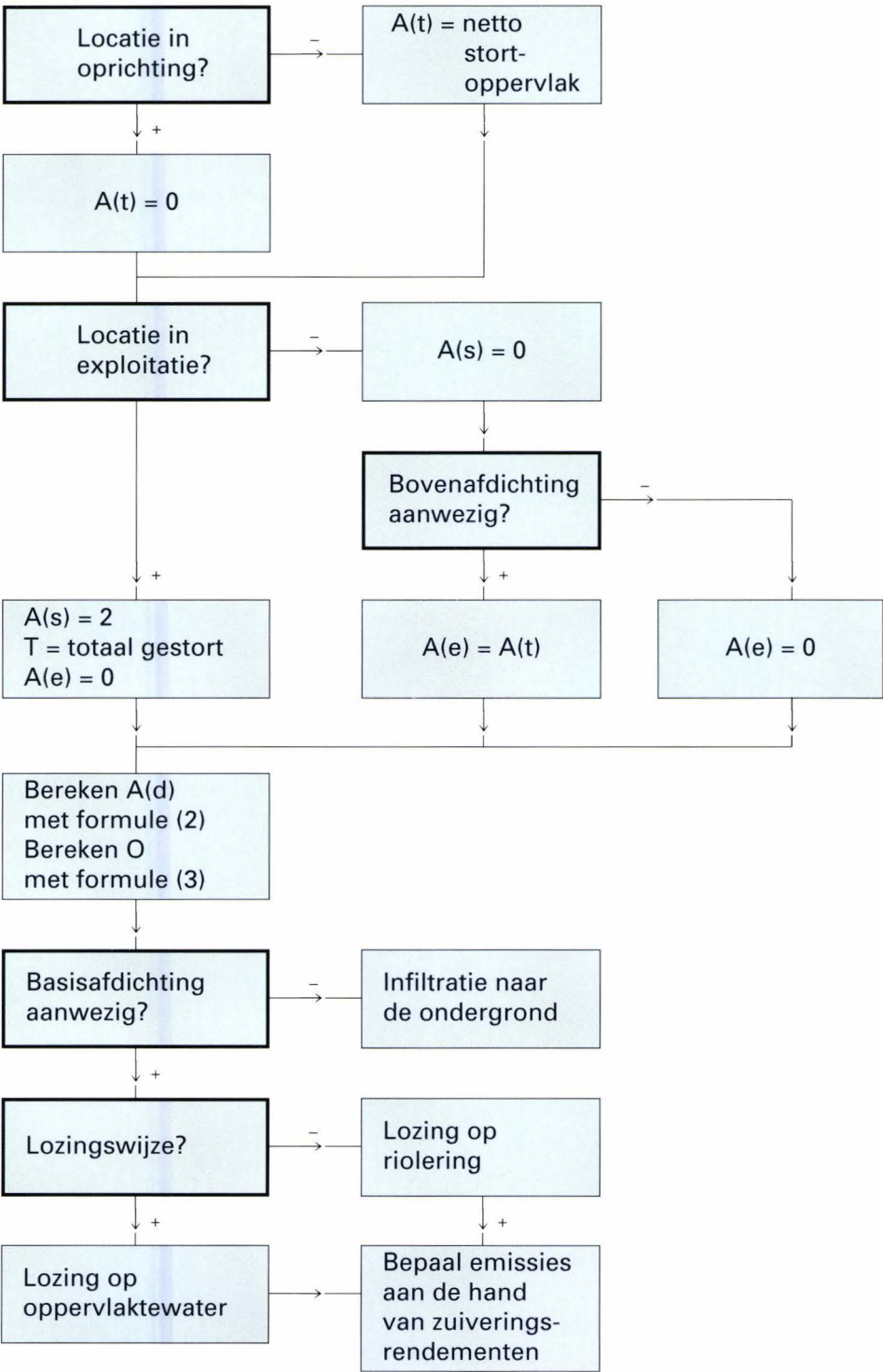
$$\begin{aligned}
 A_{t,i} &= \int \zeta V Q_i C k e^{-kt} dt \\
 \sum_{i=js}^{je-1} A_{t,i} &= \sum_{i=js}^{je-1} \left(\int_t^{t+1} \zeta V Q_i C k e^{-kt} dt \right) \\
 &= \sum_{i=js}^{je-1} \zeta V Q_i C \int_{t=jb-i}^{jb-(i+1)} k e^{-kt} dt \\
 &= \zeta V Q_i C \int_{t=jb-js}^{jb-je} k e^{-kt} dt \\
 &= \zeta V Q_i C (-e^{-kt}) \Big|_{jb-js}^{jb-je} \\
 &= \zeta V Q_i C (-e^{-kt}) \Big|_{ts}^{te} \\
 &= \zeta V Q_i C (e^{-kts} - e^{-kte})
 \end{aligned}$$

(9)

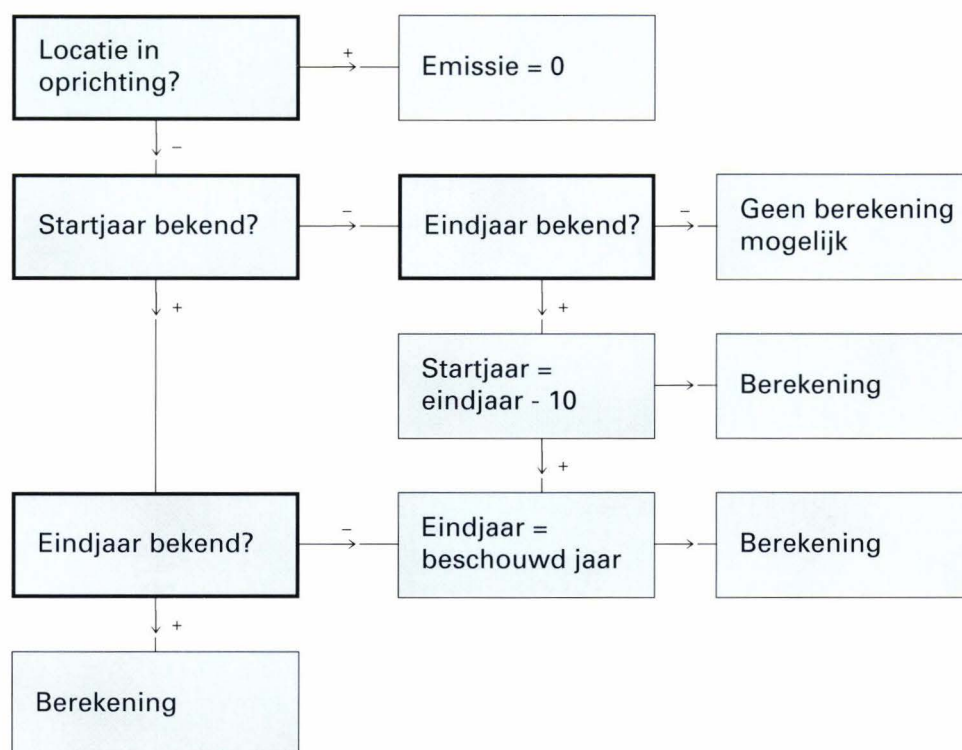
waarin:

a_t	stortgasvorming t jaar na storten ($m^3 \cdot jr^{-1}$)
ζ	vormingsfactor (-), welke aangeeft welk deel van de biodegradeerbare organische koolstof uiteindelijk wordt omgezet in stortgas
V	factor voor omrekening van kg organische koolstof naar volume stortgas ($m^3 \cdot kg^{-1}$)
Q	hoeveelheid afval per jaar (ton)
C	gehalte aan biologisch afbreekbaar organisch koolstof ($kg \cdot ton^{-1}$);
k	afbraaksnelheidsconstante (jr^{-1})
t	leeftijd van het afval (jr)
jb	beschouwd jaar
je	jaar van aanvang exploitatie
js	jaar van sluiting van de stortplaats
te	tijd na aanvang exploitatie (jr)
ts	tijd na sluiting (in het geval van een stortplaats in exploitatie is ts gelijk aan 0) (jr)

D.2 Algoritme voor berekeningen water



D.3 Algoritme voor berekeningen gas



VERSCHENEN IN DE PUBLIKATIEREEKS EMISSIEREGISTRATIE

Nummer	Omschrijving	Datum
1	Industriële emissies in Nederland Derde inventarisatieronde, 1985 t/m 1987	December 1990
1A	Industriële emissies in Nederland Derde inventarisatieronde, 1985 t/m 1987 Supplement	December 1990
2	Emission inventory in The Netherlands Industrial Emissions, 1985–1987 Summary	Juli 1991
3	Emissieregistratie en Informatiemanagement, Symposium	November 1991
4	Verbrandingsemissies van Grote Vuurhaarden, 1981 t/m 1988	November 1991
5	Industriële emissies in Nederland Vierde inventarisatieronde, Basisjaar 1988	Oktober 1992
5A	Industriële emissies in Nederland Vierde inventarisatieronde, Basisjaar 1988 Supplement	Oktober 1992
6	Emission inventory in The Netherlands Industrial emissions for 1988 Summary	December 1992
7	Emissions from Large Combustion Plants in The Netherlands in 1990 and 1991	Maart 1993
8	Emissiefactoren Lekverliezen van apparaten en verliezen bij op- en overslag	April 1993
9	Emissiefactoren Microverontreinigingen uit verbrandingsprocessen	April 1993
10	Emissiefactoren Vluchtige organische stoffen uit verbrandingsmo- toren	April 1993
11	Emissiefactoren – Kunststof- en rubber- verwerkende industrie	Augustus 1993
12	Op weg naar een standaard voor het genereren van emissiegegevens	Augustus 1993
13	Emissies in Nederland Trends, thema's en doelgroepen Vijfde inventarisatieronde, 1990	September 1993
14	Industriële emissies in Nederland Bedrijfs groepen, individuele stoffen en verdeling over regio's Vijfde inventarisatieronde, 1990	September 1993
15	Emissies van halogeenkoolwaterstoffen ten- gevolge van reinigen en ontvetten in kleine bedrijven	December 1993
16	Emission inventory in The Netherlands Emissions to air and water in 1990, Summary	Februari 1994
17	Provinciale bijdragen aan milieuthema's Vijfde inventarisatieronde, 1990	April 1994
18	Trends in de industriële emissies van prioritaire stoffen - Periode 1981 t/m 1992	Juli 1994

VERSCHENEN IN DE PUBLIKATIEREEKS EMISSIEREGISTRATIE (VERVOLG)

Nummer	Omschrijving	Datum
19	Milieu-indicatoren voor energiecentrales	September 1994
20	Emissies in Nederland – 1992 Trends, thema's en doelgroepen Ramingen 1993	Oktober 1994
21	Emissies in Nederland – 1992 Bedrijfsgroepen, regio's en individuele stoffen Ramingen 1993	Oktober 1994
22	Emission inventory in The Netherlands Emissions to air and water in 1992	December 1994
23	Milieu-indexen voor het aggregeren van emissies van bedrijfstakken	Januari 1995
24	Reporting to EMEP of the spatial distribution of emissions in 1990	Februari 1995
25	Emissions from Large Combustion Plants in The Netherlands in 1992 and 1993	April 1995
26	Emissies in Nederland Trends, thema's en doelgroepen 1993 en ramingen 1994	Oktober 1995
27	Emissies in Nederland Bedrijfsgroepen en regio's 1993 en ramingen 1994	Oktober 1995
28	Emissies van stortplaatsen	December 1995

Publikatie van:

Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Centrale Directie Voorlichting
en Externe Betrekkingen
Rijnstraat 8
2515 XP Den Haag

VROM 95605/b/1-96
7842/128