

Stortgaswinning met hoog rendement

Referentienummer 93-248
Dossiernummer 112326-24783
Datum maart 1994
NP

Auteur
Ir. J. Oonk

Trefwoorden
– stortgaswinning
– duurzame energie
– methaanemissiebeperking

Bestemd voor
NOVEM B.V.
Energiewinning uit afval en biomassa
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Colofon

Contractnummer: 355220/1810

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het programma Energiewinning uit Afval en Biomassa (EWAB)

Beheer en coördinatie van het EWAB-programma berust bij:
NOVEM, Nederlandse maatschappij voor energie en milieu b.v.

St. Jacobsstraat 61

Postbus 8242

3503 RE Utrecht

tel. 030- 363 444

Contactpersoon: ir. K.W. Kwant

NOVEM geeft geen garanties voor de juistheid en/of volledigheid van gegevens, ontwerpen, constructies, producten of produktiemethoden voorkomende of beschreven in dit rapport, noch voor de geschiktheid voor enige bijzondere toepassingen

Het onderzoek werd uitgevoerd door het TNO Milieu- en Energietechnologie (TNO-ME).

Auteurs:

ir. J. Oonk

Adres:

TNO-ME

Postbus 342

7300 AH Apeldoorn

Meer exemplaren van dit rapport zijn verkrijgbaar bij TNO-ME (tel. 055-493 592), onder vermelding van rapportnr. 93-248 à f 75,-- per exemplaar.

Samenvatting

Stortgaswinning en -benutting heeft een aantal energetische en milieuvordelen. Zo vormt het stortgas een belangrijke duurzame energiebron en is stortgaswinning en -benutting een kosteneffectieve methode om broeikasgasemissies te reduceren.

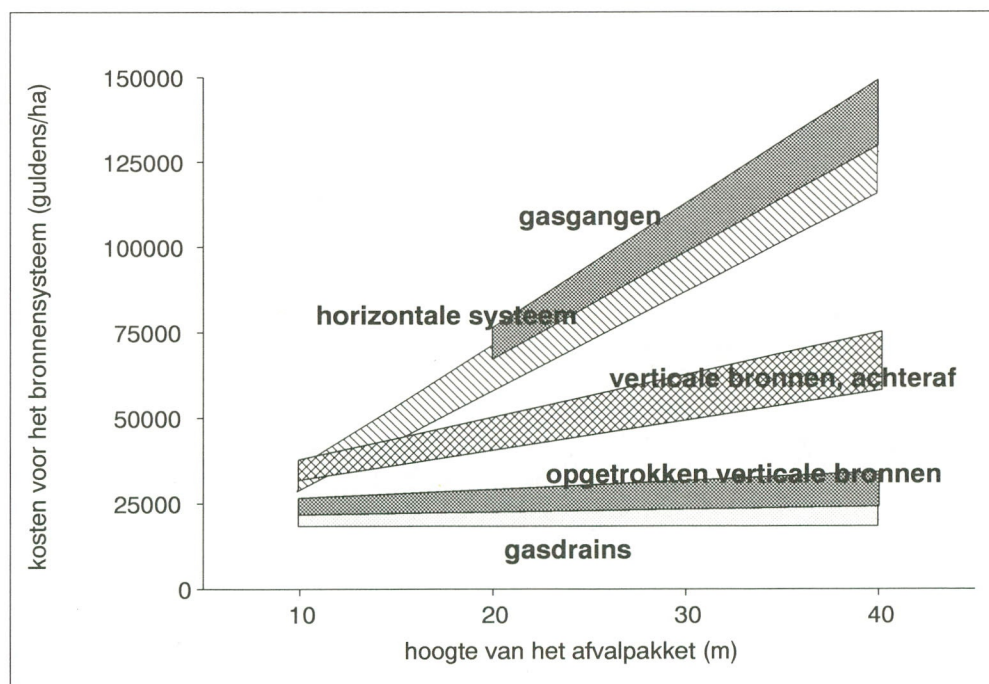
Het rendement van stortgaswinning kan op twee manieren worden gedefinieerd:

- het momentane rendement van stortgaswinning is het rendement op een bepaald tijdstip;
- het integrale rendement van stortgaswinning is het rendement betrokken over de levensduur van de stortplaats.

Het energetisch en het milieueffect van stortgaswinning wordt het best weerspiegeld door het integrale rendement.

Tabel 1 geeft voor enkele systemen voor stortgaswinning weer, hoe goed het stortgas onttrokken kan worden, wat de mogelijkheden voor benutting van het stortgas zijn, wat de kosten voor het onttrekkingssysteem zijn en in hoeverre realisatie van het systeem de exploitatie van de stortplaats hindert.

De kosten van de verschillende bronnensystemen per hectare en als functie van de pakkethoogte staan weergegeven in figuur 1. Deze kosten zijn exclusief kosten voor het leidingensysteem, de afzuig- en fakkelininstallatie. Voor de verticale systemen zijn drie bronnen per hectare aangenomen.



Figuur 1 Kosten voor het winningssysteem als functie van de pakkethoogte

Het blijkt, dat stortgaswinning tijdens de exploitatie van de stortplaats essentieel is voor een hoog rendement. Systemen, waarmee dit niet mogelijk is - achteraf geïnstalleerde bronnen, oppervlakte-ontgassing - hebben een inherent laag rendement en blijken bovendien onnodig duur.

Door tijdens de voorbereiding van de stortplaats al rekening te houden met de stortgaswinning kan een hoger rendement worden gerealiseerd. Dit kan door het combineren van een compartimentsgewijze stortmethode met het optrekken van verticale bronnen of het installeren van een gecombineerd systeem. Dit optrekken van verticale bronnen is een bewezen techniek. Door de compartimentsgewijze werkwijze kan hiermee een hoog rendement worden gehaald, terwijl de kosten relatief laag zijn, doordat de bronnen worden opgetrokken in plaats van geboord of gegraven. Uit modelberekeningen blijkt, dat deze methode voor stortgaswinning het te prefereren systeem is. Een verdere rendementsverbetering kan worden bewerkstelligd door verzameling van het stortgas aan de onderzijde. Hierdoor kan wellicht al tijdens de opbouw van het afvalpakket gas gewonnen worden. Deze techniek behoeft echter nog verdere ontwikkeling.

Indien men gebonden is aan een laagsgewijze stortmethode kan met behulp van een horizontaal systeem tijdens de opbouw van het afvalpakket stortgas worden gewonnen. Dit horizontale systeem is echter wel relatief duur.

Gegeven een bepaald systeem kan het integraal rendement ook worden verbeterd door een toename van het momentaan rendement. Daarvoor bestaan twee mogelijkheden:

- het eerder of beter **afdichten** van het afvalpakket. Doordat hierbij de investeringen op een eerder tijdstip moeten worden gedaan, verliest men renteinkomsten. Eerder afdichten of het aanbrengen van een tussenafdichting blijkt een dure manier te zijn voor het verhogen van het rendement van stortgaswinning.
- Het vergroten van de **brondichtheid**. Dit blijkt veel kosteneffectiever te zijn dan de vorige maatregel. Deze maatregel is effectiever naarmate het afvalpakket minder goed wordt afgedicht of naarmate gedurende langere tijd zonder afdichting gas wordt onttrokken. Een grote brondichtheid is dus vooral van belang wanneer tijdens de exploitatie gas wordt onttrokken.

De kosten voor het systeem van stortgaswinning variëren sterk, maar zijn in alle gevallen kleiner dan de marktprijs voor het stortgas, klein ten opzichte van de kosten voor andere maatregelen ter bestrijding van het broeikaseffect en zeer gering ten opzichte van de kosten voor afvalverwerking.

De stortgasvorming en daarmee de mogelijkheden voor stortgaswinning worden beïnvloed door een groot aantal factoren, zoals de afvalsamenstelling, de voorbewerking van het afval en de bovenafdichting. Het is echter niet duidelijk of beïnvloeding van de stortgasvorming voordelen heeft voor de stortgaswinning. Bovendien kan versnelling van de stortgasproductie gepaard gaan met nadelen voor het milieu. De meeste invloeden zijn echter autonoom; ze worden niet genomen omwille van het stortgas maar om andere redenen, zoals reductie van het stortvolume of de percolaatwateremissie. Het manipuleren van de vochthuishouding (toevoegen van water, percolaatwaterrecirculatie) is bijvoorbeeld een maatregel, specifiek gericht op het versnellen van de bacteriologische processen. Al dit soort maatregelen moeten in een breder verband worden bestudeerd: 'wat is het doel van het storten: conserveren of stabiliseren!?'.

Tabel 1 Beoordeling van de onttrekkingssystemen

	Stortgaswinning tijdens exploitatie			Stortgaswinning na exploitatie			Techniek en economie		Overige aspecten			
	effectiviteit emissie-beperking	beheersing gas-kwaliteit	mogelijkheden gas-benutting	effectiviteit emissie-beperking	beheersing gas-kwaliteit	mogelijkheden gas-benutting	Technische uitvoering	Kosten	belemmering storten	stabiliteit stort-pakket	waterbeheersing	doorvoeringen afdeklaag
Verticale onttrekking na beëindiging storten	-	n.v.t.	-	+	+	+	+	0	+	+	0	-
Verticale onttrekking compartimentsgewijs	+	0	+	+	+	+	+	0	+	0	0	-
Verticale onttrekking oprichting vooraf	+	0	-	+	+	+	0	0	0	0	0	-
Verticale onttrekking optrekken tijdens exploitatie	+	0	-	+	+	+	+	+	-	0	0	-
Verticale onttrekking aansluiting onderzijde	+	?	+	+	+	+	?	?	-	0	+	+
Verticale onttrekking intensieve bronnering	-	n.v.t.	-	+	+	+	+	?	+	+	0	-
Gasgangen	0	0	0	+	0	+	+	+/-	-	+	+	+
Horizontale onttrekking	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	0	+
Gabion bronnen	0	+	0	0	+	0	+	?	-	0	0	-
Combinatie verticale en horizontaal systeem	+	0	-	+	0	+	+	+	-	0	+	-
Gasdrainagebuizen	-	n.v.t.	-	+	0	0	+	+	+	+	+	+
Gasdrainagematten	-	n.v.t.	-	+	0	0	+	-	+	+	+	?

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	7
2	Stortgas: milieuprobleem of energiebron	9
2.1	Het ontstaan van stortgas	9
2.2	Problemen met stortgas	10
2.3	Stortgaswinning en -benutting	12
3	Rendement van stortgaswinning: begripsbepaling	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Momenteaan en integraal rendement van stortgaswinning	14
3.3	Energetisch rendement	14
3.4	Mogelijkheden voor verbetering van het rendement	15
4	Systemen voor stortgaswinning	17
4.1	Algemeen	17
4.2	Verticale onttrekking na beëindiging storten	17
4.3	Verticale onttrekking, per compartiment	19
4.4	Verticale onttrekking, aanleg vooraf	20
4.5	Verticale onttrekking, aanleg tijdens storten	22
4.6	Verticale onttrekking, aansluiting aan onderzijde	23
4.7	Verticale onttrekking, intensieve bronnering	24
4.8	Onttrekking met gasgangen	24
4.9	Onttrekking met een horizontaal buizensysteem	26
4.10	Onttrekking met gabion bronnen	28
4.11	Combinatie horizontale gasgangen met verticale bronnen	28
4.12	Oppervlakte-ontgassing met gasdrainagebuizen	29
4.13	Oppervlakte-ontgassing met gasdrainagematten	30
4.14	Vergelijking van de systemen	31
4.15	Discussie	34
5	Verbetering momentane rendement	38
5.1	Inleiding	38
5.2	Voorkomen van emissie of migratie	39
5.3	Een efficiënter systeem voor stortgaswinning	41
5.4	Conclusies	44
6	Integrale rendementen en kosteneffectiviteit voor een modelstort	45
6.1	Inleiding	45
6.2	Invloed van de brondichtheid	48
6.3	Invloed van de bovenafdichting	48
6.4	Invloed van de ouderdomsopbouw van de stortplaats	50
6.5	Invloed van de geometrie van de stortplaats	51
6.6	Discussie en conclusies	52

Stortgaswinning met hoog rendement

7	Beïnvloeden van de gasvorming	54
7.1	Inleiding	54
7.2	De kernfactoren	55
7.3	Opbouw van de gasvormingcurve.....	57
7.4	Invloedsparameters op de stortgasvorming	59
7.5	Discussie	61
8	Discussie en conclusies	64
9	Literatuur	66
10	Verantwoording	68

1 Inleiding

Bij het storten van afval ontstaat in het afvalpakket stortgas. Dit calorierijke gas veroorzaakt een aantal problemen, zowel op lokaal niveau (geuroverlast, vegetatieschade) als op mondiaal niveau (bijdrage aan het broeikaseffect). Emissievermindering van stortgas kan worden gerealiseerd door het gas te winnen.

Een stortgasproject bestaat uit een winningssysteem waarmee het stortgas wordt onttrokken en een fakkelinstallatie, al dan niet gecombineerd met een benuttingsinstallatie waar de energie-inhoud van het stortgas wordt benut. In Nederland zijn op dit moment (eind 1993) 22 stortgasprojecten operationeel.

De rendementen van deze stortgasprojecten (de fractie van het gevormde gas, dat gewonnen wordt) zijn niet bekend. In prognoses voor de winbare hoeveelheid stortgas wordt vaak uitgegaan van een momentaan winningsrendement (definitie zie hoofdstuk 3) van 40-80%. In de praktijk blijkt echter, dat de geprognostiseerde hoeveelheid winbaar stortgas niet wordt gerealiseerd. Een tegenvallend winningsrendement is bij dit soort projecten een mogelijke oorzaak, alhoewel ook de stortgasvorming minder kan zijn dan verwacht.

Om meer inzicht te krijgen in welke factoren het rendement van stortgaswinning bepalen, welke systemen voor stortgaswinning bestaan en hoe het rendement van stortgaswinning kan worden geoptimaliseerd, is door TNO-ME in opdracht van NOVEM een studie uitgevoerd, waarvan de resultaten hier gerapporteerd worden.

Bij de beschrijving van de systemen en het formuleren van maatregelen is aansluiting gezocht bij de praktijk van het storten. Praktische uitvoerbaarheid, hinder bij de stortplaatsexploitatie en kosteneffectiviteit zijn aspecten, waar expliciet rekening mee is gehouden.

In deze studie wordt onderscheid gemaakt tussen het momentane en het integrale rendement. Het momentane rendement wordt bepaald door de verhouding tussen de hoeveelheid van het gas, dat gewonnen en gevormd wordt op een zeker moment; het integrale rendement wordt bepaald door de verhouding tussen de hoeveelheid gas dat wordt gewonnen en gevormd gedurende gehele levensduur van de stort. Met name dit integrale rendement is van belang voor het beoordelen van het effect van het winningssysteem.

Vergroting van het integrale rendement wordt voornamelijk bereikt door het tijdstip, waarop wordt begonnen met stortgaswinning, te vervroegen. Met andere woorden, voor het realiseren van een hoog winningsrendement moet men stortgas kunnen winnen tijdens de exploitatieperiode van de stortplaats. De mogelijkheden hiervoor worden bepaald door de keuze van het systeem voor stortgaswinning en de wijze waarop dit systeem wordt gecombineerd met de exploitatie van de stortplaats.

Een tweede manier waarop het integrale rendement kan worden vergroot is de verhoging van het momentane rendement. Mogelijkheden hiervoor betreffen het eerder of beter afdichten van de stortplaats en het vergroten van de brondichtheid. Het effect en de kosteneffectiviteit van deze maatregelen is afhankelijk van het systeem voor stortgaswinning waarbij ze worden geïmplementeerd, de geometrie van de stort, de duur van de exploitatieperiode, etc.

Het blijkt, dat een hoog rendement tegen lage kosten realiseerbaar is. Hiervoor moet tijdens de voorbereidingsfase van de stortplaats rekening worden gehouden met de stortgaswinning, zodat het systeem van stortgaswinning tijdens de exploitatie van de stortplaats kan worden geïnstalleerd. Door dit te combineren met een compartimentsgewijze stortmethode kan al in een vroegtijdig stadium stortgas van voldoende kwaliteit worden gewonnen.

In dit rapport wordt allereerst ingegaan op het ontstaan van stortgas, de daarmee gepaard gaande milieubelasting en de stortgaswinning en -benutting als mogelijkheid om milieubelasting tegen te gaan. Vervolgens worden enkele begrippen gedefinieerd, welke samenhangen met het rendement van stortgaswinning. In hoofdstuk 4 worden enkele systemen voor stortgaswinning beschreven. In hoofdstuk 5 worden de mogelijkheden voor vergroting van het momentane rendement beschreven. Aan de hand van berekeningen aan een modelstortplaats worden in hoofdstuk 6 de rendementen en kosten van de verschillende systemen voor stortgaswinning nader gekwantificeerd. De stortgasvorming en daarmee de mogelijkheden voor stortgaswinning worden beïnvloed door een groot aantal factoren. Hierop wordt in hoofdstuk 7 wat nader ingegaan. In hoofdstuk 8 volgt een discussie en worden conclusies gedefinieerd.

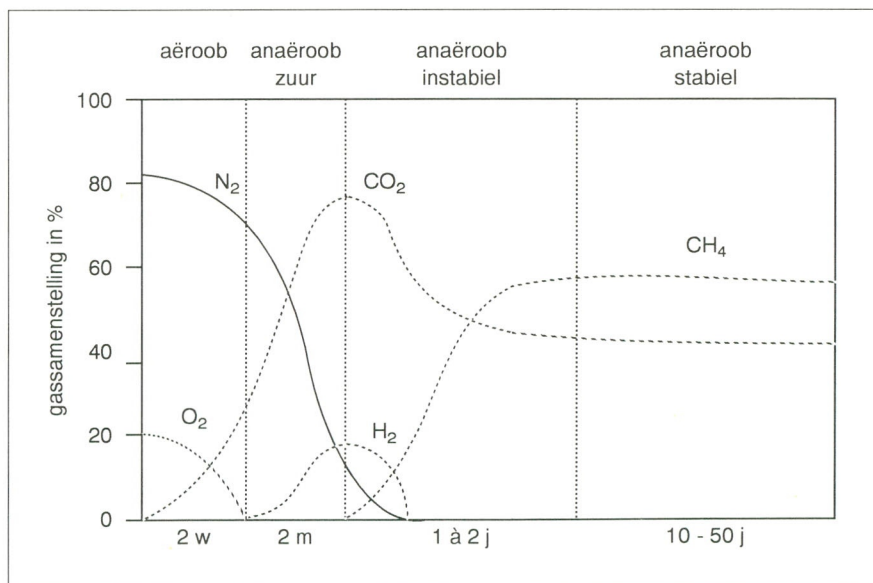
2 Stortgas: milieuprobleem of energiebron

2.1 Het ontstaan van stortgas

Als organisch afval wordt gestort, dan worden de biodegradeerbare organische componenten (BOC) in de loop van enkele tientallen jaren bacteriologisch afgebroken. Daarbij ontstaat stortgas: een brandbaar gas, hoofdzakelijk bestaand uit methaan en kooldioxide. De vorming van stortgas gebeurt in drie fasen: in de hydrolysefase worden de vaste organische stoffen omgezet tot een mengsel van oplosbare organische verbindingen, welke in de verzuringsfase worden omgezet tot lagere vetzuren, aminozuren, suikers en andere laagmoleculaire stoffen. Deze componenten worden op hun beurt in de methanogene fase omgezet tot stortgas.

Omdat het afvalpakket zeer inhomogeen is, kan het jaren duren voordat in een deel van het afval de omstandigheden zodanig zijn, dat de hydrolysefase wordt ingezet. Daarbij kan het vóórkomen dat het organisch materiaal op de ene plaats nog volledig aanwezig is, terwijl vlak daarnaast het organisch materiaal al helemaal is omgezet. De hydrolysefase is dus naar alle waarschijnlijkheid de snelheidsbepalende stap bij de vorming van stortgas. Dat betekent, dat als het organisch materiaal eenmaal gehydrolyseerd is, de omzetting tot stortgas vrij vlot volgt.

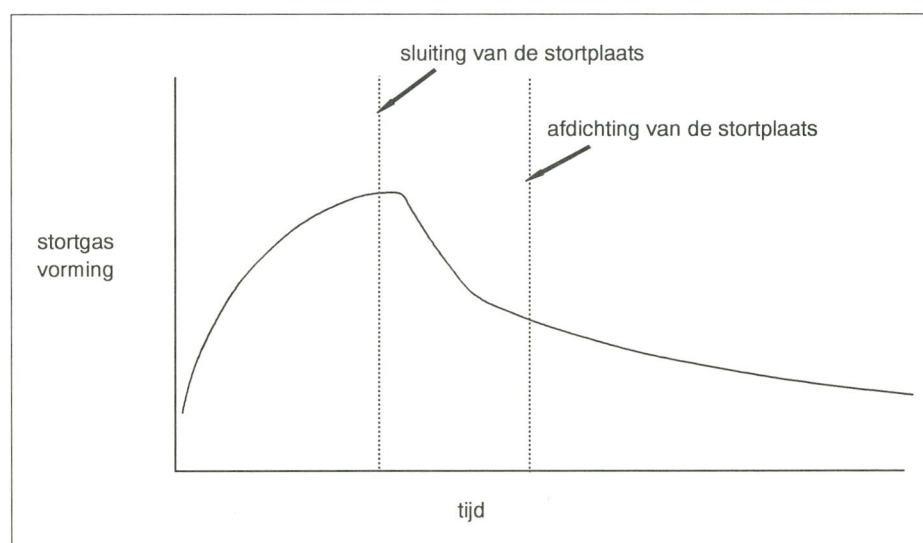
Figuur 2.1 geeft de samenstelling van het stortgas in de tijd. In het begin varieert deze sterk: het gas bevat slechts weinig methaan. Na verloop van tijd (enkele weken tot maanden) neemt de methaanvorming toe totdat, na een periode van ongeveer een half jaar tot een jaar, de samenstelling van het stortgas stabiel wordt met concentraties methaan van 55 tot 65 vol%.



Figuur 2.1 Samenstelling van het stortgas in de tijd

Ook de hoeveelheid stortgas, welke in de loop van de tijd op een stortplaats gevormd wordt, varieert sterk, zoals in figuur 2.2 is geïllustreerd. Tijdens de exploitatieperiode neemt de gevormde hoeveelheid gas toe met toenemende hoeveelheden gestort afval. Kort na het sluiten van de stortplaats bereikt de hoeveelheid gevormd stortgas een maximum, waarna de stortgasvorming over een periode van enkele tientallen jaren gestaag afneemt. Op individuele stortplaatsen worden al snel hoeveelheden stortgas gevormd van meer dan 500 à 1000 m³ stortgas per uur. Deze hoeveelheid is onder meer afhankelijk van de hoeveelheid gestort afval, de concentratie aan biodegradeerbare organische componenten en de ouderdom van het afvalpakket.

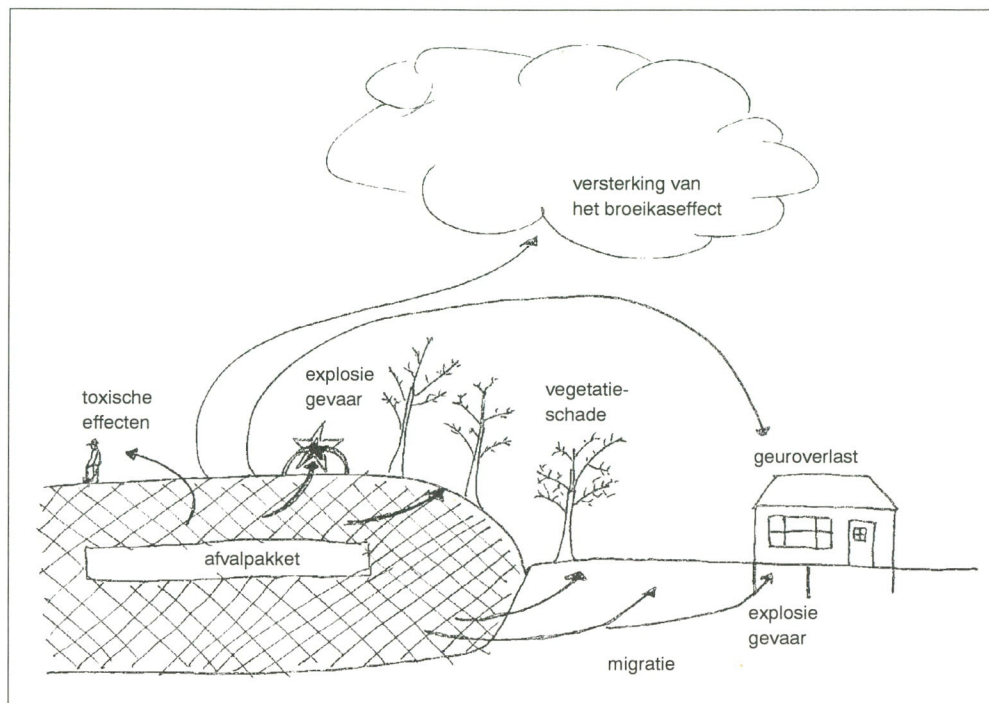
In totaal wordt per ton gemengd huishoudelijk afval zo'n 150 tot 200 m³ stortgas gevormd. Hierbij is het denkbaar, dat in delen van het afvalpakket nooit de hydrolysefase wordt ingezet, waardoor niet al het biodegradeerbaar organisch materiaal uiteindelijk in stortgas wordt omgezet. De verhouding tussen de hoeveelheid omgezet BOC en de totale hoeveelheid BOC, de vormingsfactor, is ongeveer 0,5 - 0,6 [Adviescentrum Stortgas, 1993].



Figuur 2.2 Vorming van stortgas

2.2 Problemen met stortgas

Wanneer stortgas ongecontroleerd vrijkomt, kan dat op de stortplaats de nodige problemen veroorzaken. Indien het gas door de bodem naar omliggende gebieden migreert kunnen deze problemen naar de directe omgeving van de stortplaats worden verplaatst. Door de wijze van opbouw van stortplaatsen in Nederland komt migratie betrekkelijk weinig voor. In figuur 2.3 worden enkele problemen van stortgas schematisch weergegeven.



Figuur 2.3 Mogelijke problemen met stortgas

Geuroverlast is een probleem, dat voornamelijk optreedt tijdens de exploitatie van de stortplaats en kort na sluiting. Oorzaak van de geuroverlast zijn organische vetzuren uit de verzuringsfase, H_2S en andere zwavelhoudende verbindingen.

Een ander veel voorkomend probleem is vegetatieschade bij zowel de jonge aanplant op een afgewerkte stort als bij de bestaande vegetatie in de directe omgeving. Sommige beplanting wordt door stortgas verstikt, als de lucht rond de wortels wordt verdrongen of wordt weggenomen door oxidatie van CH_4 . De plant wordt belemmerd in zijn vochtopname waardoor uitdroging het gevolg is. Andere soorten beplanting zijn weer gevoelig voor te hoge concentraties van CO_2 of van CH_4 .

Wanneer stortgas zich kan ophopen in een afgesloten ruimte ontstaat gevaar voor explosies, zoals Gendebien [1992] in een aantal cases beschrijft. Ook kan stortgas in enkele gevallen mogelijk een bedreiging vormen voor de gezondheid van werknemers op een stortplaats.

Naast alle lokale problemen draagt stortgas ook bij aan een wereldwijd spelend probleem: het broeikaseffect. Het methaan in het stortgas is namelijk een belangrijk broeikasgas.

Volgens de meest recente inzichten vormen in Nederland stortplaatsen de grootste bron van methaan: ongeveer 35 à 45% van alle geëmitteerde methaan is afkomstig van stortplaatsen [v. Amstel, 1993].

Een gedetailleerde behandeling van de diverse aspecten van het ontstaan van stortgas, de problemen met stortgas en de mogelijkheden voor stortgaswinning en -benutting wordt gegeven in Gendebien [1992].

2.3 Stortgaswinning en -benutting

De problemen, geassocieerd met stortgas, kunnen worden gereduceerd door het gevormde stortgas te winnen. De winningssystemen kunnen worden onderverdeeld in passieve en actieve systemen.

In passieve systemen wordt het gastransport verzorgd door de drukopbouw, veroorzaakt door de vorming van stortgas in het afvalpakket. Doordat de drukopbouw ten gevolge van vorming te klein is om de drukval over leidingen en de voordruk voor de fakkel te overwinnen, worden deze systemen nauwelijks toegepast.

Bij actieve systemen wordt met behulp van een Rootsblower of een ventilator een onderdruk op het winningssysteem aangebracht van enkele tientallen tot honderd mbar. Het stortgas kan vervolgens worden benut door direct gebruik in een oven of ketel, voor elektriciteitsopwekking met behulp van gasmotoren (eventueel met gebruik van de daarbij vrijkomende warmte), of door opwerking tot aardgaskwaliteit. Een beschrijving van een veertiental projecten voor stortgaswinning en -benutting in Nederland wordt gegeven in een uitgave van het Adviescentrum Stortgas: 'Overzicht stortgasprojecten in Nederland 1983-1991' [Oonk, 1993].

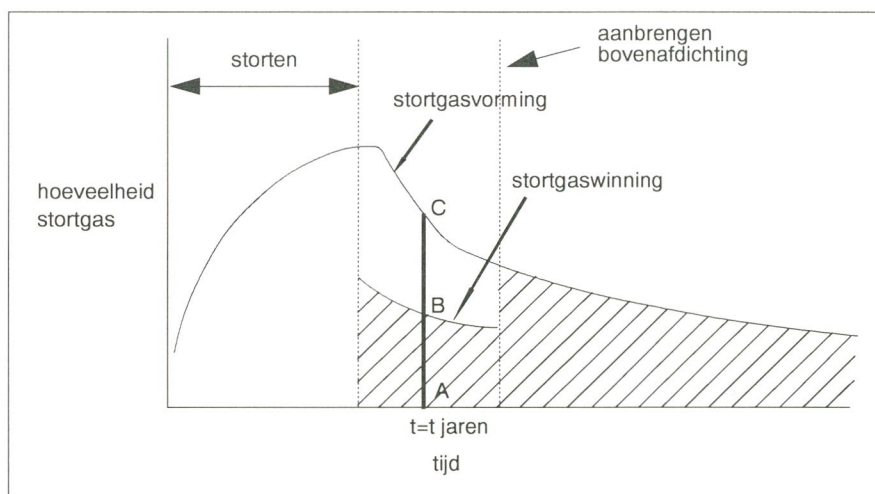
In dit rapport worden de mogelijkheden voor optimaliseren van de stortgaswinning bestudeerd. Dit gebeurt vanuit het oogpunt van zowel de milieu-effecten als de mogelijkheden voor energiewinning. Passieve systemen hebben een verwaarloosbaar milieu-effect en leveren geen mogelijkheden voor benutting van de energie-inhoud van het stortgas. Passieve systemen worden daarom in deze studie niet verder in beschouwing genomen.

3 Rendement van stortgaswinning: begripsbepaling

3.1 Inleiding

Zoals in hoofdstuk 2.1 al is beschreven komt het stortgas niet gelijkmatig over de jaren heen vrij, maar bereikt de stortgasvorming kort na sluiting van de stortplaats een maximum, waarna de vorming geleidelijk aan afneemt.

Het duurt meestal geruime tijd voordat een systeem voor stortgaswinning is aangebracht. Bij de meeste stortgasprojecten wordt hiermee gewacht tot de stortplaats of één of meerdere compartimenten zijn volgestort. Met dit winningssysteem kan vervolgens een zeker gedeelte van het gevormde stortgas worden gewonnen. Dit gedeelte kan in een later stadium worden beïnvloed door een aantal zaken: bijvoorbeeld door het aanbrengen van een vloeistofdichte bovenafwerking, of doordat een andere benuttingsoptie wordt geïnstalleerd en de zuigdruk op de bronnen wordt verlaagd. Figuur 3.1 geeft de stortgasvormingcurve weer, met daarin gearceerd de hoeveelheid stortgas, welke in de loop van de tijd kan worden gewonnen.



Figuur 3.1 Stortgasvorming en -winning

Het rendement van stortgaswinning is de verhouding tussen de gevormde en gewonnen hoeveelheid stortgas. In de discussie rond de economische mogelijkheden en milieu-effecten van stortgaswinning heerst er een zekere spraakverwarring omdat dit rendement op verschillende manieren kan worden gedefinieerd. Om een dergelijke spraakverwarring in deze studie te voorkomen zullen de termen 'momentaan rendement' en 'integraal rendement' worden gehanteerd. Daarnaast kan een milieurendement en een energetisch rendement worden gedefinieerd. In de volgende paragrafen wordt op de definities van momentaan, integraal en energetisch rendement verder ingegaan.

3.2 Momentaan en integraal rendement van stortgaswinning

Het momentaan rendement is het rendement op een bepaald tijdstip. Dus bijvoorbeeld de verhouding van de gewonnen hoeveelheid gas op het tijdstip t en de gevormde hoeveelheid gas op datzelfde tijdstip: de verhouding tussen de lijnen AB en AC in figuur 3.1.

Het integraal rendement is het rendement over de gehele 'levensduur' van de stort. Dus de fractie van het gevormde stortgas dat in totaal gewonnen wordt: de verhouding van het oppervlak van het gearceerde gedeelte en het oppervlak onder de vormingscurve in figuur 3.1.

In de literatuur worden een aantal schattingen gegeven voor het momentaan rendement. Voor zover na te gaan zijn dit allemaal theoretische rendementen. Dat wil zeggen hoeveelheden gewonnen stortgas ten opzichte van de *berekende* stortgasvorming. Indien de gevormde hoeveelheid stortgas afwijkt van de prognose, dan wijkt het theoretisch rendement navenant af.

Volgens Rettenberger [1982] kan 20 tot 70% van het gevormde gas gewonnen worden. Volgens Boll [1988] wordt in de praktijk maximaal 50% gewonnen. Schneider [1989] noemt rendementen tussen 30 en 70%.

Een EPA-studie noemt rendementen tussen 50 en 60% [US-EPA, 1991], terwijl in een andere studie het rendement op 75% wordt gezet [US-EPA, 1993].

Volgens Augenstein [1991] wordt het maximaal toelaatbare rendement bepaald door de benuttingsoptie: maximaal 60% als het gas wordt opgewerkt; maximaal 75% bij benutting in gasmotoren, terwijl als stortgaswinning puur voor emissiereductie wordt ontworpen en geïnstalleerd, rendementen tot 90% haalbaar zijn (zie ook § 5.3).

Bij prognoses van de hoeveelheden winbaar stortgas bij de verschillende stortgasprojecten in Nederland wordt uitgegaan van rendementen tussen de 50 en 80% [Oonk, 1993].

Kortom: de momentane rendementen kunnen variëren tussen 20 en 95%, afhankelijk van verschillende interpretaties van een groot aantal stortplaatsafhankelijke eigenschappen, afhankelijk van de afwerking en afhankelijk van de geïnstalleerde benutting.

De spreiding in de cijfers kan voor een deel worden veroorzaakt door een verschil in methode van schatting van het rendement. In een aantal gevallen worden resultaten van winning vergeleken met theoretisch gevormde hoeveelheden stortgas op basis van **alle** organische koolstof. In andere gevallen gaat men uit van de hoeveelheid **vergasbare** koolstof. De meest faire schatting van het momentaan rendement is de verhouding tussen het geschatte volume van het afvalpakket binnen de invloedssfeer van de bronnen en het volume van het afvalpakket [Adviescentrum Stortgas, 1993].

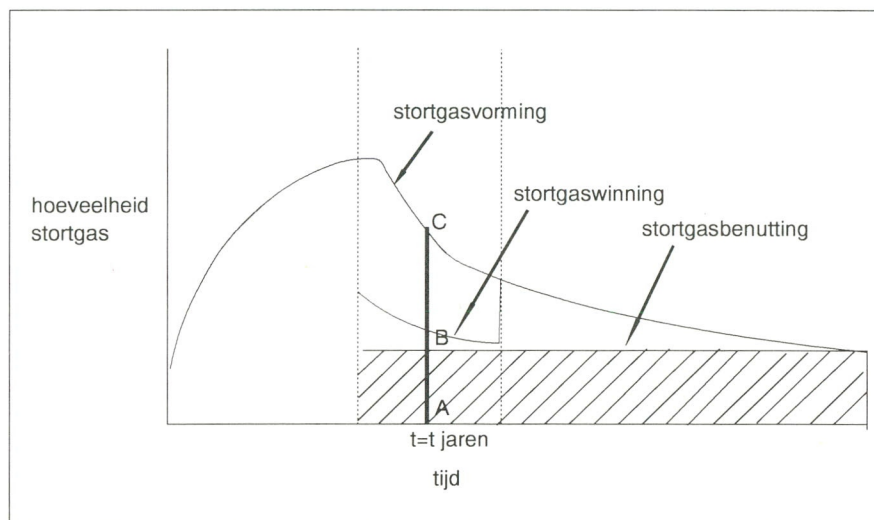
3.3 Energetisch rendement

Zoals in hoofdstuk 2 is beschreven, kan men de energie-inhoud van het stortgas benutten. Voor deze benutting kan men een energetisch rendement van stortgas definiëren, welke gelijk is aan de hoeveelheid benut stortgas ten opzichte van de hoeveelheid stortgas, welke uit het afval gevormd wordt.

De benuttingsinstallatie heeft een zekere capaciteit en een zekere flexibiliteit. Per uur moet minimaal en kan maximaal een zekere hoeveelheid worden benut. De capaciteit van de benuttingsinstallatie bepaalt het maximale benuttingsrendement. Als de capaciteit kleiner is dan de winbare hoeveelheid stortgas, dan moet stortgas worden afgekkeld, hetgeen ten koste gaat van het energetisch rendement.

De keuze van de capaciteit van stortgasbenutting wordt meestal bepaald door de hoeveelheid stortgas, welke 8 tot 10 jaar na start van een project nog kan worden gewonnen. Daarmee hangt de capaciteit van de benutting samen met het verwachte momentane rendement op dat tijdstip. In figuur 3.2 wordt dit geïllustreerd.

Analoog als bij het winningsrendement kan een momentaan en een integraal energetisch rendement worden onderscheiden; het momentaan energetisch rendement is de verhouding tussen lijn AB en lijn AC in figuur 3.2; het integraal energetisch rendement is de verhouding tussen het gearceerde oppervlak en het oppervlak onder de gasvormingscurve.



Figuur 3.2 Benutte, gevormde en winbare hoeveelheden stortgas

3.4 Mogelijkheden voor verbetering van het rendement

In de voorgaande twee paragrafen zijn een viertal rendementen gedefinieerd:

- momentaan winningsrendement;
- integraal winningsrendement;
- momentaan energetisch rendement;
- integraal energetisch rendement.

In dit rapport worden de mogelijkheden beschreven voor optimalisatie van het rendement van stortgaswinning. Hierbij wordt voornamelijk uitgegaan van de mogelijkheden voor verbetering van het integrale rendement van stortgaswinning.

Stortgaswinning met hoog rendement

Wanneer men in figuur 3.1 de stortgasvorming vergelijkt met de stortgaswinning, dan kunnen een drietal maatregelen voor verhoging van het integrale rendement worden herkend:

- sneller overgaan tot stortgaswinning, minder verliezen voor aanvang van het stortgasproject;
- hoger momentaan rendement tijdens de stortgaswinning, minder verliezen tijdens het project;
- zorgdragen voor winning van stortgas na afloop van een project, minder verliezen na het project.

Daarnaast is nog een vierde maatregel mogelijk:

- het beïnvloeden van de gasvorming, bijvoorbeeld: afzwakken van de ‘piek’.

Het tijdstip waarop een systeem voor stortgaswinning kan worden gerealiseerd is afhankelijk van het gekozen systeem en van de combinatie van installatie van de stortgaswinning met de wijze van exploitatie van de stortplaats.

Een aantal winningssystemen en de mogelijkheden voor stortgaswinning tijdens de exploitatie worden besproken in het volgende hoofdstuk.

In hoofdstuk 5 worden de mogelijkheden voor vergroting van het momentane rendement besproken. In hoofdstuk 6 wordt voor een modelstortplaats de consequenties van al deze maatregelen voor het integraal rendement besproken.

Op het derde punt, stortgaswinning na afloop van een project wordt in deze studie niet verder ingegaan. Invloeden op de stortgasvorming en mogelijkheden om deze te sturen worden besproken in hoofdstuk 7.

4 Systemen voor stortgaswinning

4.1 Algemeen

Er zijn een aantal manieren waarop het bronnensysteem voor de stortgaswinning kan worden uitgelegd. In principe zijn een viertal groepen systemen te onderscheiden:

- verticale bronnen;
- horizontale systemen;
- oppervlakte-ontgassing;
- gecombineerde systemen.

Gecombineerde systemen kunnen bestaan uit een combinatie van een verticaal systeem en oppervlakte-ontgassing of uit een combinatie van een horizontaal en een verticaal systeem.

Ook de gasgangen, zoals ze in Wijster zijn geïnstalleerd kunnen worden beschouwd als een gecombineerd systeem, omdat ze naast een horizontale component door hun diepte een duidelijke verticale component hebben. Andere, minder diepe gasgangen kunnen worden beschouwd als een horizontaal systeem.

Binnen een groep systemen zijn weer een aantal varianten te onderscheiden, welke onderling kunnen verschillen in bijvoorbeeld de methode van installatie van de bronnen, de combinatie met de stortmethode, de brondichtheid of de lengte van het filter.

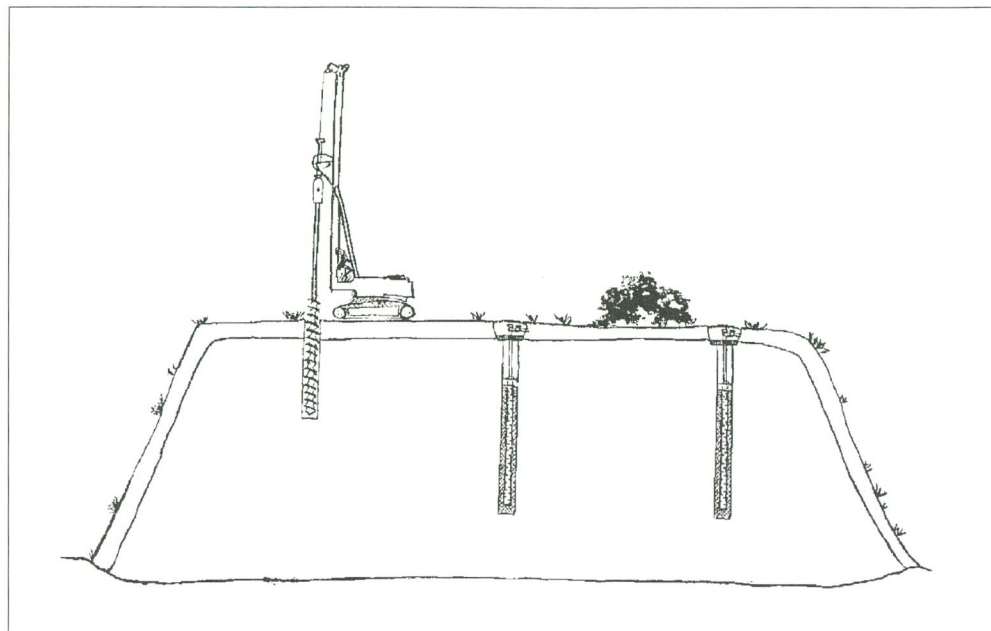
In de paragrafen hierna worden een aantal systemen voor stortgaswinning beschreven. In een afsluitende paragraaf worden de systemen op een aantal onderdelen met elkaar vergeleken. Voor een aantal systemen worden de rendements- en kostenaspecten voor een modelstortplaats in hoofdstuk 6 verder uitgewerkt.

4.2 Verticale onttrekking na beëindiging storten

Het meest bekende systeem voor stortgasonttrekking zijn de verticale bronnen, welke zijn geïnstalleerd nadat de stortplaats gesloten is.

Hiervoor worden putten gegraven of geboord, waarin vervolgens de bron wordt geplaatst. Deze bron bestaat uit een HDPE-buis, waarvan het onderste gedeelte geperforeerd is: het filter. Door dit filter wordt het stortgas aangezogen. Meestal is de HDPE-buis van een telescoopconstructie voorzien om zettingen van het afvalpakket te kunnen opvangen. Aan de bovenzijde is een bronkop gemonteerd, waarin een aansluiting op het leidingensysteem, een monsternamepunt en een regelklep zijn aangebracht. De ruimte rond de HDPE-buis is opgevuld met grof materiaal: bijvoorbeeld grind of gefilterd puin.

Figuur 4.1 toont een weergave van een verticale bron.



Figuur 4.1 Verticale onttrekking na beëindiging storten

Typische maten van een verticale bron zijn weergegeven in tabel 4.1. De brondiepte wordt beperkt door de manier van vervaardigen van de putten: graven maximaal 15 m; boren maximaal 25 m.

Tabel 4.1 Karakteristieke afmetingen van verticale bronnen

Brondiepte	maximaal 15 - 25 m minimaal 10 m
Filterlengte	2 - 15 m
Putdiameter	60 - 80 cm
Brondiameter	16 cm
Afstand tussen de bronnen	50 - 120 m

De kosten voor een verticale bron zijn opgebouwd uit vaste kosten voor de bronkop en aansluiting op het leidingensysteem (ongeveer f 8000,-) en variabele kosten voor het boren van de putten (ongeveer f 350,- per meter brondiepte).

Het momentane rendement van de bronnen is afhankelijk van een aantal factoren, zoals de zuigdruk op de bronnen, de afstand tussen de bronnen, de filterlengte en de dichtheid van het afvalpakket. Daarnaast is het momentane rendement afhankelijk van de boven- en onderafwerking. De tabel hieronder geeft een indicatie van de haalbare momentane rendementen voor verticale bronnen. Haalbaar houdt in, dat een voldoende dichte brondichtheid wordt gehanteerd (ongeveer 70 m afstand tussen

Stortgaswinning met hoog rendement

bronnen) en dat de hoeveelheid stortgas die gewonnen wordt, wordt afgestemd op de mogelijkheden voor winning in plaats van de behoefte voor benutting: regeling van de zuigdruk van de bronnen op de gaskwaliteit in plaats van op de gewonnen hoeveelheid.

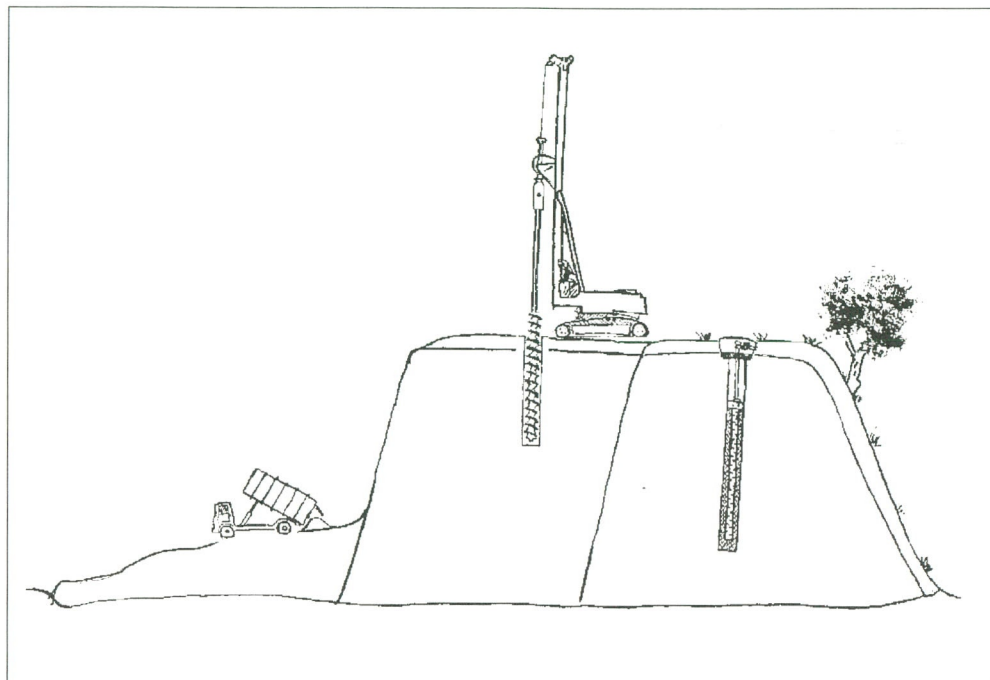
Tabel 4.2 *Momentane rendementen van verticale bronnen*

Bovenafwerking	Onderafwerking	Rendement
geen		30-60%
1 m zand		40-70%
klei	geen	60-70%
	wel	70-80%
folie/bentoniet	geen	60-90%
	wel	90-99%

Verticale bronnen, aangelegd na sluiting van een stortplaats, worden onder andere toegepast op stortplaatsen in Ouwsterhaule, Ambt-Delden, Vasse en Emmen.

4.3 Verticale onttrekking, per compartiment

Het nadeel van installatie van de bronnen na sluiting van de stortplaats is, dat het stortgas, dat tijdens de exploitatie gevormd wordt, niet gewonnen kan worden. Zoals in figuur 3.1 is geïllustreerd, worden grote hoeveelheden stortgas, tijdens de exploitatieperiode niet gewonnen, waardoor een aanzienlijk integraal rendementsverlies wordt geleden. Door een compartimentsgewijze stortmethode te combineren met het installeren van de verticale bronnen, direct na sluiting van het compartiment, kan een deel van dit tijdens de exploitatie gevormde stortgas toch gewonnen worden. In figuur 4.2 wordt de combinatie van stortmethode en installeren van de bronnen schematisch weergegeven. Terwijl in het rechter compartiment al volop gas gewonnen wordt, wordt de stortgaswinning in het – zojuist volgestorte – middelste compartiment gerealiseerd en wordt het linker compartiment volgestort.



Figuur 4.2 Verticale onttrekking, per compartiment

De karakteristieke afmetingen en momentane rendementen van een bron zijn gelijk aan die van de hiervoor beschreven bronnen (zie tabel 4.1 en 4.2). De kosten worden mogelijk iets verhoogd. Voor de boor- of graafmachine kunnen mobilisatiekosten worden berekend. Bij compartimentsgewijs installeren van de bronnen zullen deze mobilisatiekosten vaker in rekening worden gebracht.

Het compartimentsgewijs storten en installeren van de gaswinning kan worden gecombineerd met het compartimentsgewijs aanbrengen van een bovenafdichting. Dit heeft als voordeel, dat het rendement van een individueel compartiment al in een heel vroeg stadium wordt gemaximaliseerd. Uitvoeringstechnisch gezien kleven hier echter enkele nadelen aan: tussen compartimenten moet de bovenafdichting aan elkaar gelast worden. Dit brengt de nodige problemen en kosten met zich mee. Bovendien neemt hierdoor de sterkte van de constructie af en wordt de kans op scheurvorming in de bovenafdichting groter.

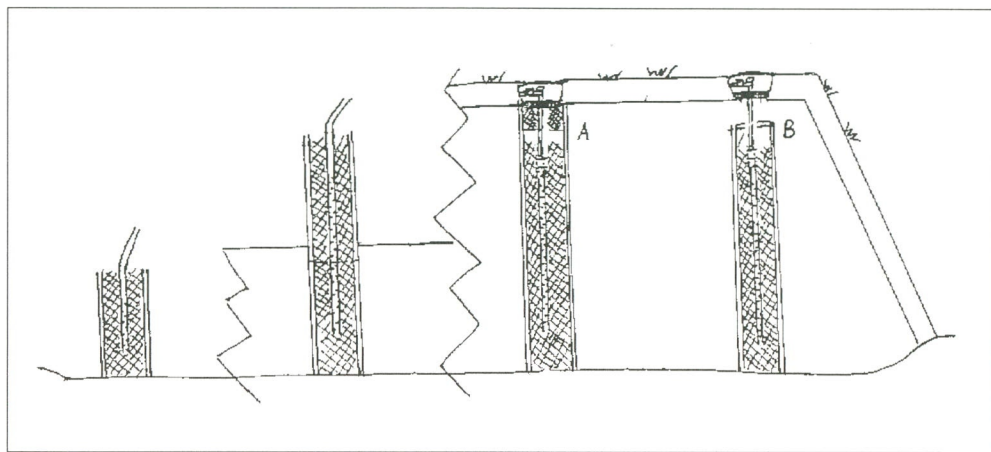
Compartimentsgewijs installeren van verticale bronnen vindt plaats onder andere op stortplaatsen in Bavel en Hengelo.

4.4 Verticale onttrekking, aanleg vooraf

Verticale bronnen kunnen worden aangelegd, door voorafgaand aan de exploitatie betonnen kokers op te richten met daarin de verticale bronnen. In figuur 4.3 wordt dit schematisch weergegeven. Dit vooraf installeren van de verticale bronnen heeft twee voordelen: enerzijds worden de kosten voor het boren van de putten uitge-

spaard; anderzijds kan al tijdens de exploitatie van een compartiment gas worden gewonnen en afgefakkeld.

In deze techniek worden betonnen kokers met een diameter van ongeveer 1 meter en een lengte van 5 meter op de bodem van de stortplaats gezet. Om stortgas te kunnen winnen is de betonnen koker geperforeerd uitgevoerd. In de koker is een HDPE-bron met filter aangebracht, waar bovenop een bronkop gemonteerd kan worden. De ruimte tussen de betonnen koker en de HDPE-bron is gevuld met grof materiaal (grint of grof puin). Nadat deze betonnen kokers zijn opgericht wordt de ruimte eromheen volgestort met afval. De bron wordt vervolgens verlengd door een nieuwe koker te plaatsen en de HDPE-buis te verlengen. Dit proces herhaalt zich tot de eindhoogte wordt bereikt. De betonnen kokers blijven in het afvalpakket achter.



Figuur 4.3 Verticale onttrekking, aanleg vooraf

Er bestaan twee uitvoeringsmogelijkheden om te voorkomen dat aan de bovenzijde van de betonnen ommanteling lucht wordt ingezogen. Eén mogelijkheid is, dat de betonnen ommanteling wordt doorgetrokken tot boven de eindhoogte van het afvalpakket en vervolgens afgedicht aan de bovenzijde (met bijvoorbeeld polyurethaanschuim). Een alternatief is, dat de betonnen ommanteling enkele meters onder de eindhoogte ophoudt, en dat slechts de HDPE-bron tot boven het afvalpakket wordt doorgetrokken.

De karakteristieke afmetingen en de momentane rendementen van dit bronnensysteem zullen van dezelfde orde zijn, als de bronnensystemen hiervoor (zie tabel 4.1 en 4.2). De kosten zullen niet veel lager zijn dan wanneer de putten worden geboord: ongeperforeerde betonnen kokers kosten ongeveer f 250,- per strekkende meter. De vaste kosten zijn waarschijnlijk gelijk aan die van de andere verticale bronnen: ongeveer f 8000,-.

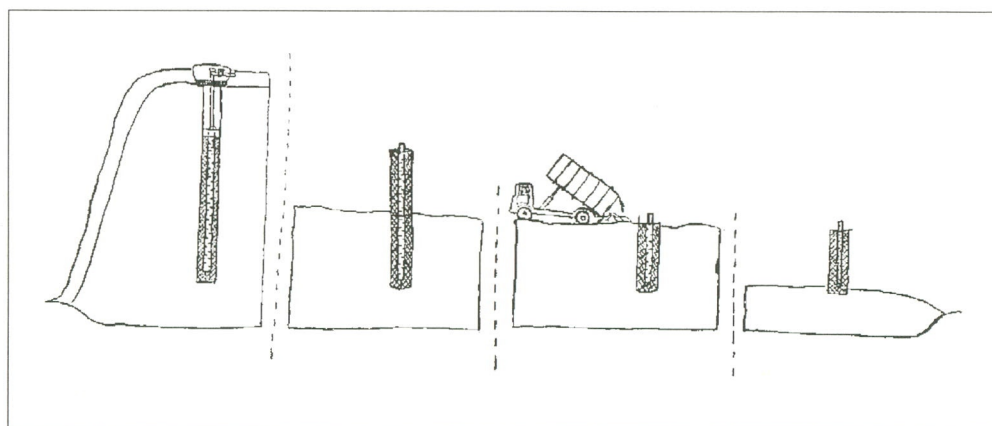
Nadeel van dit systeem voor stortgaswinning is, dat de stortactiviteiten worden belemmerd doordat de betonnen kokers hinderlijk in de weg kunnen staan. Daarnaast zal het compacteren van het afval gehinderd worden, waardoor de kans op luchtinzug in de bronnen groter wordt. De bronnen vormen een puntbron voor stortgas zolang ze nog niet zijn aangesloten op een fakkeld of op een leidingensysteem. In de buurt van zo'n puntbron ontstaat een verhoogde geuroverlast, een verhoogd gevaar voor de gezondheid en een verhoogd gevaar voor explosies. Dit valt te voorkomen door de

bronnen aan de bovenzijde af te sluiten. Een laatste mogelijk nadeel is, dat de kokers de bodemafdichting ernstig kunnen beschadigen.

Aanleg van de bronnen vooraf wordt in Nederland niet toegepast.

4.5 Verticale onttrekking, aanleg tijdens storten

De kosten voor een verticale bron worden voor een belangrijk gedeelte bepaald door de kosten voor het boren of graven van de putten. Deze bedragen ongeveer f 350,- per meter brondiepte. Dit betekent dat voor een bron van 20 meter diep de prijs ongeveer voor de helft wordt bepaald door de kosten van het boren of graven. Deze kosten kunnen worden uitgespaard door tijdens de exploitatie van het compartiment de bron op te trekken. Dit gebeurt zoals schematisch is weergegeven in figuur 4.4: op de bodem van de stortplaats worden metalen kokers opgericht met een doorsnede van ongeveer 80 cm en een lengte van ongeveer vijf meter. In zo'n metalen koker wordt een gedeelte van de HDPE-filterbuis geplaatst, waarna de ruimte tussen de HDPE-buis en de metalen koker wordt opgevuld met grof materiaal. Vervolgens wordt het compartiment volgestort met afval. Als het afvalpakket de bovenkant van de koker nadert wordt de metalen mantel omhoog getrokken, de HDPE-filterbuis van een verlengstuk voorzien en de annulaire ruimte weer opgevuld met puin. Dit proces van optrekken van de koker, verlengen van de HDPE-bronbuis en het ophogen van het afvalpakket wordt herhaald totdat het stortpakket zijn eindhoogte heeft bereikt. Daarna wordt de bron van een bronkop voorzien en aangesloten op het leidingensysteem. In tegenstelling tot het vorige systeem blijven de metalen mantels niet in het afvalpakket achter.



Figuur 4.4 Verticale onttrekking, aanleg tijdens storten

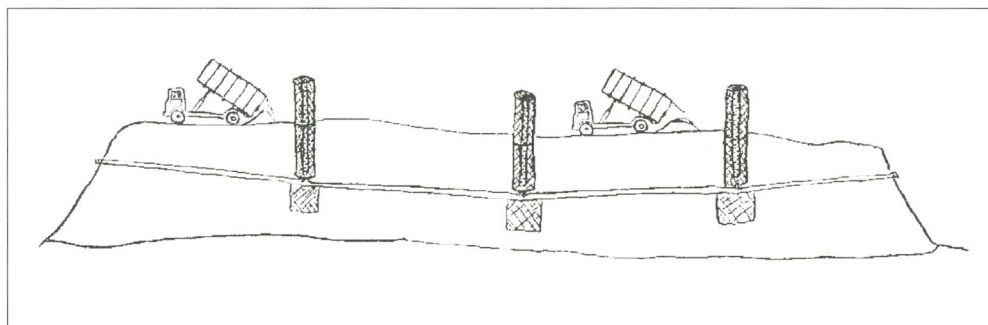
De karakteristieke afmetingen en momentane rendementen zijn gelijk aan die van de verticale systemen, welke hiervoor beschreven zijn (zie tabel 4.1 en 4.2). Met deze techniek kunnen echter grotere brondieptes worden bereikt. De kosten van dit systeem vallen echter flink wat lager uit. Dit komt omdat de variabele kosten per meter bronlengte te verwaarlozen zijn. De vaste kosten zijn gelijk aan die van de andere verticale systemen: ongeveer f 8000,-.

De nadelen, welke bij het vorige systeem beschreven zijn – een puntbron voor gas-emissie, een belemmering van de stortactiviteiten, verhoogde kans op luchtzuiging – gelden ook voor dit bronnensysteem.

Het optrekken van verticale bronnen vindt onder andere plaats op de stortplaatsen in Nuenen, Bergen op Zoom, Geldermalsen, Voorst, Hardenberg en Schijndel.

4.6 Verticale onttrekking, aansluiting aan onderzijde

Het nadeel van achteraf aangebrachte, vooraf geïnstalleerde of opgetrokken bronnensystemen is, dat op zijn vroegst begonnen kan worden met het winnen en verzamelen van het stortgas als de exploitatiefase van een compartiment is afgerond, tenzij de bronnen tijdelijk werden aangesloten op een verzamelstelsel. Door het installeren van een leidingensysteem op de bodem van de stortplaats, is het wellicht mogelijk om al tijdens de exploitatie het onttrokken stortgas te verzamelen en af te fakkelen of wellicht te benutten. Figuur 4.5 is een weergave van een dergelijk systeem.



Figuur 4.5 Verticale onttrekking, aansluiting aan onderzijde

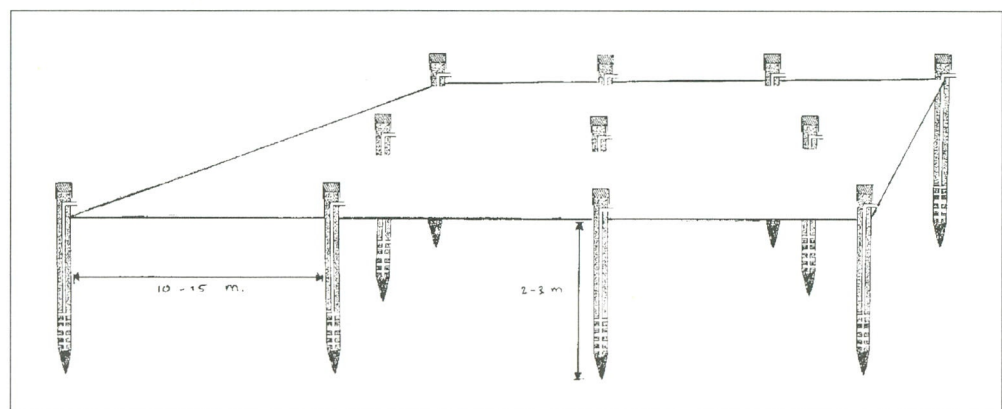
Het leidingensysteem wordt tijdens de voorbereiding van de stortactiviteiten op de bodem van de stortplaats aangelegd. Vervolgens worden verticale bronnen opgetrokken op aansluitpunten in het leidingensysteem. Dit optrekken van de bronnen vindt plaats met metalen mantels op een wijze als beschreven in § 4.5. Indien de metalen mantel aan de bovenzijde wordt afgesloten kan via de onderzijde al tijdens de opbouw van het afvalpakket stortgas gewonnen worden.

De karakteristieke grootheden, de kostenaspecten, de voor- en de nadelen en het momentane rendement na sluiting van een compartiment van dit systeem zijn vergelijkbaar met die van het systeem, beschreven in § 4.5. Een mogelijk probleem bij dit ontwerp is de druk die het afvalpakket en het verdere compacteren met zwaar materiaal op het horizontale buizensysteem uitoefent. Daarnaast kunnen mogelijk problemen ontstaan met percolaatwater in het buizensysteem.

Een dergelijk systeem wordt in Nederland nog niet toegepast.

4.7 Verticale onttrekking, intensieve bronnering

Een alternatief voor enkele verticale bronnen met een relatief grote diameter is de installatie van een groter aantal kleinere bronnen in het afvalpakket. In Denemarken is een systeem voor stortgaswinning operationeel, waar 40 sondes per hectare zijn aangebracht. Het voordeel van een dergelijk systeem is, dat er een zekere uitval van bronnen getolereerd kan worden, terwijl bij traditionele verticale systemen het uitvallen van één bron als een vrij grote tegenslag geldt. Figuur 4.6 geeft zo'n systeem van stortgaswinning weer.



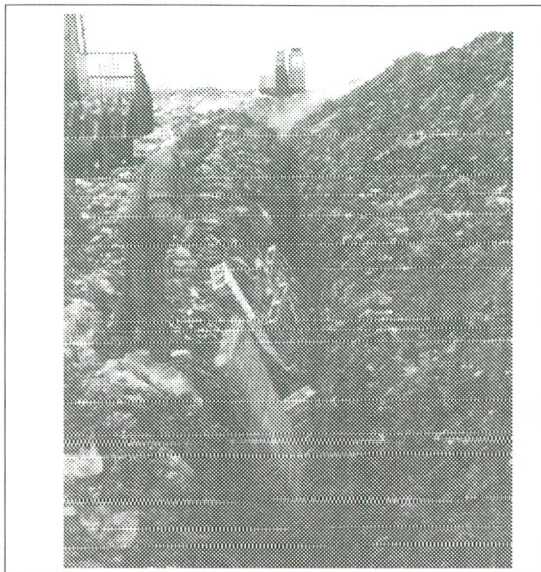
Figuur 4.6 Verticale onttrekking, intensieve bronnering

De karakteristieke kentallen van een dergelijk systeem zijn niet bekend. Wanneer de kosten van het leidingsysteem voor het verzamelen van het stortgas worden meegerekend, zal dit systeem vrij duur blijken te zijn. Het lijkt waarschijnlijk, dat deze sondes niet zo diep kunnen zijn, waardoor ontgassing van dikkere lagen afval minder efficiënt zal zijn.

Een dergelijk systeem wordt in Nederland niet toegepast.

4.8 Onttrekking met gasgangen

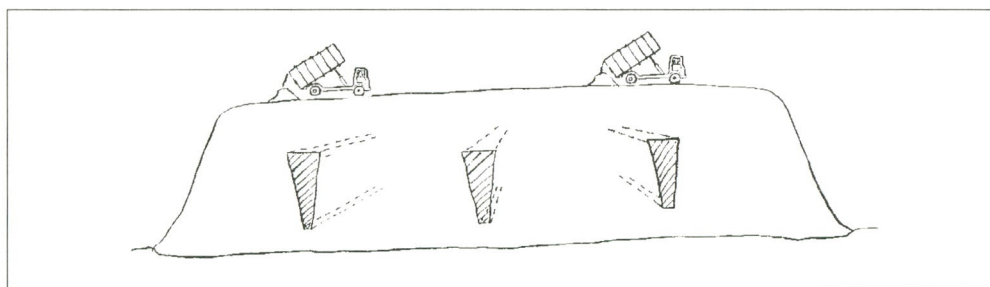
Stortgas kan worden onttrokken met behulp van gasgangen. Dit houdt in, dat sleuven in het afvalpakket worden gegraven, die worden opgevuld met grof materiaal. Hierdoor worden gangen gecreëerd, die permeabel zijn voor stortgas en waarmee stortgas uit het omliggende afvalpakket kan worden verzameld. Op een aantal plaatsen in het gangenstelsel zijn in het systeem verticale bronnen geplaatst, waarmee het stortgas opgevangen wordt. De gasgangen worden simultaan gebruikt voor afvoer van het percolaatwater.

Stortgaswinning met hoog rendement

Figuur 4.7 Het graven van gasgangen in Wijster

Gasgangen kunnen op verschillende manieren worden uitgevoerd:

Bij de VAM in Wijster wordt stortgas gewonnen met behulp van gasgangen. Deze gangen bestaan uit sleuven, die in het afvalpakket worden gegraven (figuur 4.7). Zo'n gang is ongeveer 6 meter diep, heeft aan de top een breedte van 1 à 1,5 meter en aan de basis een breedte van een halve meter. Om instorten van de gangen te voorkomen, worden ze gevuld met afgekeurde pellets. De gangen worden tenslotte afgedekt met 3 meter huisvuil.



Figuur 4.8 Onttrekking met behulp van gasgangen

De gasgangen liggen ongeveer 50 meter uit elkaar. Met één laag gasgangen kan een laag afval van 20 meter dikte worden ontgast. De kosten van het gangensysteem zijn afhankelijk van de op de stortplaats beschikbare materialen, gereedschappen en mankracht. In Wijster bedragen deze kosten ongeveer f 70.000,- per 20 meter dikte van het afvalpakket per ha hetgeen neerkomt op f 350,- per meter gasgang. Kosten voor het verlies aan stortruimte – de gasgangen nemen immers veel plaats in – zijn niet meegenomen in dit bedrag.

Er zijn ook andere uitvoeringsvormen van gasgangen denkbaar: in Voorst zijn bijvoorbeeld gasgangen aangebracht als onderdeel van een wat meer complex onttrekkings-systeem. De gasgangen meten hier 2 bij 2 meter en zijn opgevuld met autobanden.

4.9 Onttrekking met een horizontaal buizensysteem

Een horizontaal systeem voor stortgaswinning is het alternatief voor een verticaal systeem. Zo'n horizontaal systeem bestaat uit een stelsel van geperforeerde HDPE-buizen, omgeven door een bed van grof materiaal. Dit grove materiaal wordt aangebracht om het dichtslibben van de buizen te voorkomen. Om te voorkomen dat door condenswater watersloten in de horizontale buizen ontstaan, worden de buizen onder afschot in het afvalpakket gelegd. Op de laagste punten van het systeem kunnen zinkputten worden aangebracht om overtollig water af te voeren. Een laag van ongeveer 3 à 4 meter afval bovenop het systeem of een gasdichte afdekking is noodzakelijk om stortgas te kunnen onttrekken, dat een zodanige kwaliteit heeft, dat het benut kan worden.

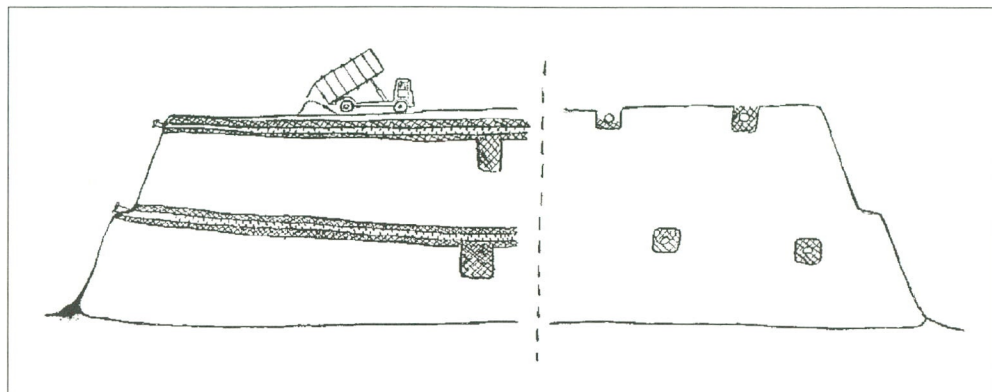
Doordat de buizen een zekere drukval hebben voor de gasdoorstroming, kan niet over een onbeperkte afstand gas aangezogen worden. In de praktijk betekent dit, dat de lengte van een horizontale bron maximaal 100 à 200 meter bedraagt. Verticale aftappunten of aftappunten in de taluds zijn noodzakelijk om het gas uit het afvalpakket te kunnen afzuigen.

Aanleggen na storten

Horizontale systemen kunnen worden aangebracht nadat het afvalpakket op eindhoogte is gebracht. In zo'n geval moeten sleuven van minimaal 4 meter diep worden gegraven, waarin vervolgens het buizenstelsel wordt aangelegd. Tenslotte wordt de sleuf weer volgestort met afval. Het voordeel van deze techniek is, dat het afval zich al heeft kunnen zetten, waardoor de kans op beschadiging van het buizenstelsel minder groot wordt. Nadeel is, dat de kans op luchtinzuging groter wordt doordat het afval in de sleuf niet goed verdicht kan worden. Een tweede nadeel is, dat langer gewacht moet worden met de installatie van het winningssysteem, zodat integraal rendementsverlies wordt geleden.

Aanleg tijdens storten

Een alternatieve manier van installeren is schematisch weergegeven in figuur 4.9. Tijdens de exploitatie worden sleuven van een meter bij een meter gegraven, waarin het horizontale systeem wordt gelegd. Vervolgens wordt bovenop dit systeem weer afval gestort. Dit heeft als voordeel, dat al tijdens de exploitatie gas kan worden onttrokken. Nadeel is, dat de kans op beschadiging van het systeem door ongelijkmatige zettingen groter wordt.



Figuur 4.9 Onttrekking met een horizontaal buizensysteem

Het voordeel van een horizontaal systeem dat tijdens het storten wordt aangelegd is, dat de tijdspanne tussen storten en begin van de stortgasonttrekking zeer kort gehouden kan worden. Het integrale rendement is dus mogelijk zeer hoog.

Er bestaan echter ook nadelen aan een horizontaal systeem: zoals al eerder is genoemd zijn horizontale systemen gevoelig voor onregelmatige zettingen van het afvalpakket. Hierdoor kunnen beschadigingen aan de buis of watersloten ontstaan. Een tweede nadeel is, dat een horizontaal systeem niet goed regelbaar is. Slecht functionerende delen van het systeem kunnen moeilijk worden uitgeschakeld.

De karakteristieke afmetingen van een horizontaal systeem staan weergegeven in tabel 4.3.

Tabel 4.3 Karakteristieke afmetingen van een horizontale systeem

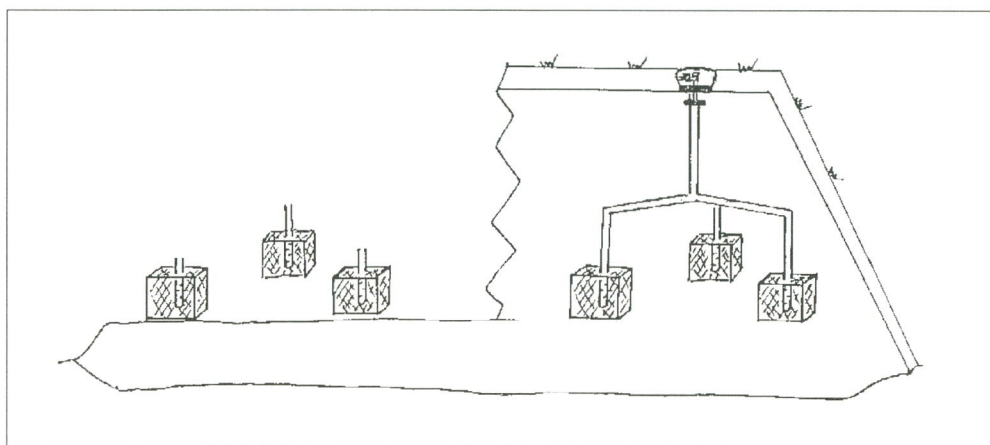
Pijpdiameter	160 mm
Maximale lengte van een bron	100 à 200 m
Horizontale afstand tussen de buizen	25 - 50 m
Verticale afstand tussen de buizen	6 - 10 m
Afschot van de buis	5 cm/m = 5%

De kosten voor een horizontaal systeem bedragen ongeveer f 120,- per meter, hetgeen neerkomt op f 48.000,- per laag per ha.

Een horizontaal systeem is aangebracht in Borssele en Veendam.

4.10 Onttrekking met gabion bronnen

Gabion bronnen zijn kubusvormige pakketten van poreus materiaal, welke zijn ingegraven in het afvalpakket. De zijden van een kubus zijn ongeveer een meter lang. De gabion wordt geïnstalleerd door tijdens de exploitatie van de stortplaats een bekisting met daarin het poreuze materiaal op het afvalpakket te plaatsen om vervolgens rondom de bekisting afval te storten. Het stortgas wordt met behulp van een HDPE-buis, met aan het eind een filter, uit de gabion afgezogen. Meerdere gabions kunnen op één bronkop worden aangesloten.



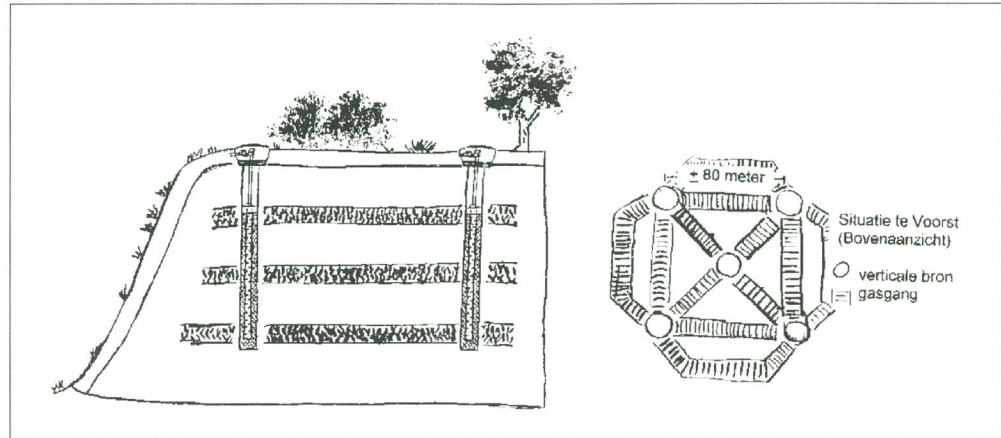
Figuur 4.10 Onttrekking met gabion bronnen

De kosten van zo'n gabion bronnensysteem zijn niet bekend. De invloedssfeer van een gabion bronnensysteem, een eliptische bol, kan worden vergeleken met die van een verticale bron met een filterlengte van slechts één meter. Daarom mag verwacht worden, dat het rendement van zo'n bronnensysteem lager is dan van een horizontaal of verticaal bronnensysteem.

4.11 Combinatie horizontale gasgangen met verticale bronnen

Een hele intensieve bronnering en dus een hoog momentaan rendement kan worden verkregen door een combinatie van een verticaal en een horizontaal systeem.

Een voorbeeld daarvan is aangelegd in Voorst. Daar zijn verticale bronnen opgetrokken op een wijze als beschreven in § 4.5. De verticale bronnen zijn daarbij onderling verbonden met behulp van gasgangen in een patroon, beschreven in figuur 4.11.



Figuur 4.11 Het onttrekkingssysteem als aangelegd in Voorst

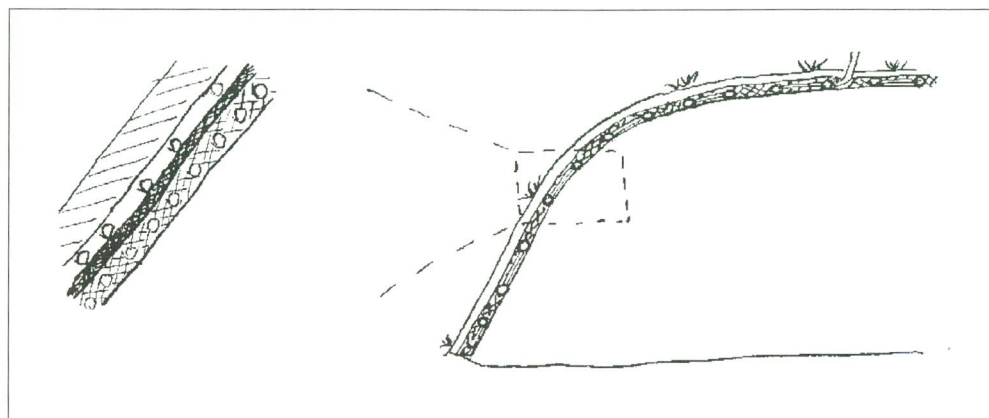
Het hele systeem is uitgelegd op een oppervlak van ongeveer 1 hectare; de afstand tussen de bronnen bedraagt 70 tot 100 meter. De gasgangen meten 2 bij 2 meter en zijn opgevuld met autobanden. De verticale afstand tussen twee gasgangen is 6 meter.

De kosten van een dergelijk systeem zijn opgebouwd uit kosten voor de verticale bronnen en kosten voor de gasgangen. De verticale bronnen kosten ongeveer f 8000,- per stuk; de kosten voor de gasgangen bestaan uit de kosten voor het graven van de gangen en kosten door verloren gegane stortruimte. De autobanden worden tegen storttarief geleverd. Een mogelijk nadeel van dit systeem is dat het moeilijker te regelen is bij luchtinzuging.

4.12 Oppervlakte-ontgassing met gasdrainagebuizen

Wanneer een stortplaats van een vloeistofdichte afwerking wordt voorzien wordt een systeem voor stortgaswinning noodzakelijk. In hoofdstuk 5 is beschreven dat een systeem voor bovenafdicthting een laag bevat, waarin het stortgas wordt opvangen: de gasdrainage.

Eén mogelijkheid voor een gasdrainagesysteem is het aanbrengen van een netwerk van HDPE-buizen onder de afdichtingslaag, als geïllustreerd in figuur 4.12. Op een aantal plaatsen wordt het gas door de afdichting doorgevoerd en vervolgens getransporteerd naar een fakkelinstallatie.



Figuur 4.12 Gasdrainagebuizen onder de vloeistofdichte bovenafdichting

De karakteristieke afmetingen van zo'n systeem staan weergegeven in tabel 4.4. Het momentane rendement is nagenoeg 100%. De kosten van dit systeem bedragen ongeveer f 20.000,- per ha.

Het grote nadeel van dit systeem is dat ze pas gerealiseerd kan worden bij de eindafwerking, dus enkele jaren na sluiting van de stortplaats.

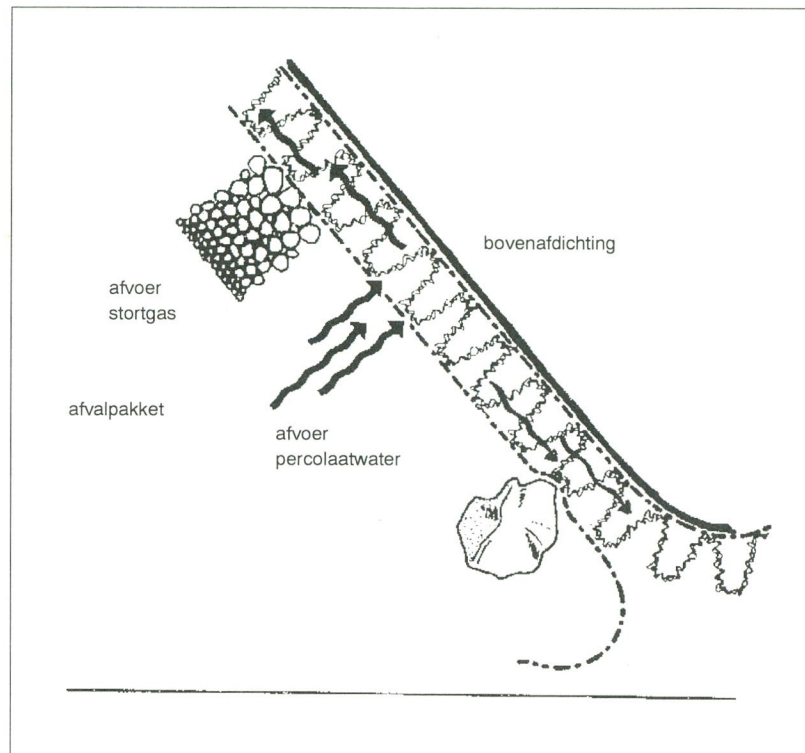
Tabel 4.4 Karakteristieke afmetingen van gasdrainagebuizen

Diameter van de buizen	60-125 mm
Afstand tussen de buizen	10-2 m
Hoeveelheid buis per ha.	1000-2000 m

4.13 Oppervlakte-ontgassing met gasdrainagematten

Een alternatief voor de gasdrainagebuizen is het aanbrengen van een gasdrainagemat. Dit is een kunststof mat, welke over de lengterichting gasdoorlatend is (figuur 4.13). Door zo'n drainagemat wordt het stortgas naar verzamelpunten door de bovenafdichting getransporteerd. Boven de bovenafdichting wordt het gas afgevoerd naar een afzuiginstallatie.

Evenals bij het vorige systeem kan dit systeem pas bij de eindafwerking, enkele jaren na sluiting van de stort, worden gerealiseerd.



Figuur 4.13 De drainagemat

De kosten van een gasdrainagemat bedragen ongeveer f 100.000 per ha.

4.14 Vergelijking van de systemen

De systemen, zoals ze in de vorige paragrafen zijn voorgesteld, hebben allemaal hun specifieke voor- en nadelen. Voor ieder systeem kunnen vragen worden gesteld als: 'Hoe duur is zo'n systeem?'; 'Worden de stortactiviteiten gehinderd bij de installatie van het systeem?'; 'Hoe robuust is het systeem. Is het in de praktijk bewezen?'; 'Wat zijn de mogelijkheden voor benutting van het stortgas?'; 'Wat is het milieurendement?'; 'Wat zijn de mogelijkheden voor stortgaswinning in de exploitatiefase' en 'Hoe gevoelig is het systeem voor water in het afvalpakket?'

In deze paragraaf worden deze aspecten eerst besproken en vervolgens voor de verschillende systemen op een rij gezet in tabel 4.5.

Effectiviteit ontgassing/emissiebeperking

De effectiviteit van de ontgassing is een maat voor het integrale rendement van de stortgaswinning. Bij een aantal systemen is het tijdens al de exploitatieperiode mogelijk om stortgas te winnen, terwijl in andere gevallen het systeem pas na sluiting van de stortplaats kan worden aangelegd. Nadat de stortplaats gesloten is en als de stortplaats is afgedicht kan met ieder systeem (mits goed ontworpen) een goede ontgassing worden bewerkstelligd.

Stortgaswinning met hoog rendement

De effectiviteit van de ontgassing over de totale levensduur van de stort, dus de effectiviteit tijdens de exploitatieperiode en de effectiviteit na sluiting, geeft een indicatie van het milieueffect van de stortgaswinning.

Beheersing van de gaskwaliteit

Het afvalpakket is niet homogeen. Hierdoor zijn ook de stortgasvorming en de doorlatendheid van het afvalpakket inhomogeen. Beheersing van de kwaliteit van het stortgas wordt bepaald door het aantal regelbare afzuigpunten in het systeem en de mogelijkheden voor het inleken van lucht. Problemen met het inleken van lucht kunnen optreden in de nabijheid van taluds en speelt met name een rol wanneer bij het compartimentsgewijs storten en installeren van het winningssysteem. Daarnaast kan bij het optrekken van de bronnen mogelijk luchtinzuijing plaatsvinden omdat het afvalpakket rondom de bron niet goed gecompacteerd kan worden.

Mogelijkheden voor stortgasbenutting

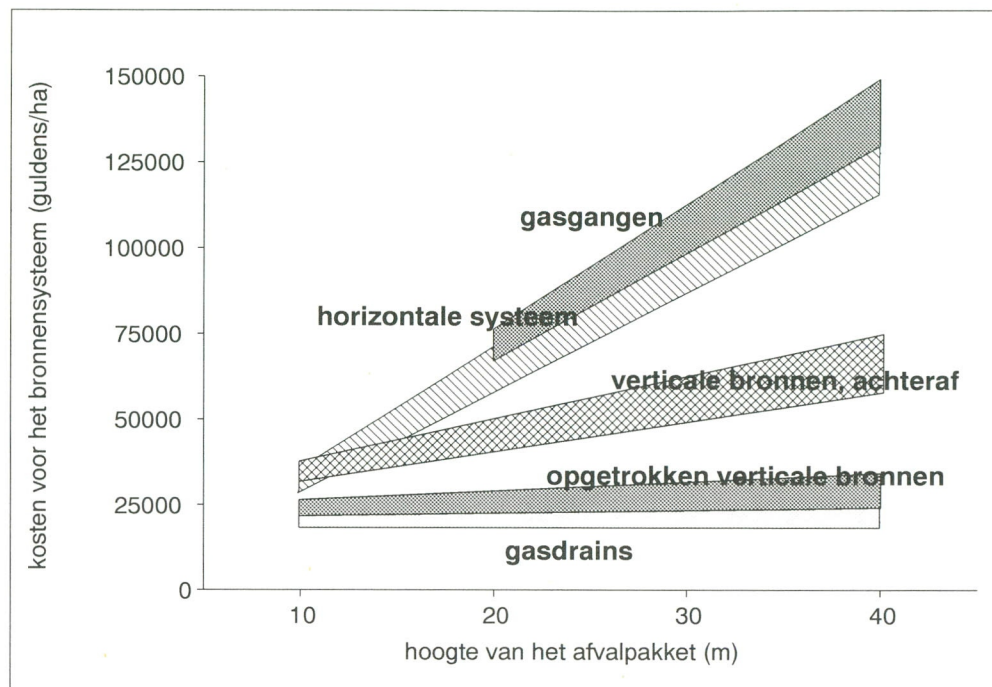
De mogelijkheden voor stortgasbenutting worden bepaald door de mogelijkheid om gas van voldoende kwaliteit te verzamelen. Hiervoor is een leidingensysteem tussen de bronnen noodzakelijk. Voor verticale bronnen is stortgasbenutting tijdens de opbouw van het afvalpakket niet mogelijk, tenzij het leidingensysteem op de onderzijde van de stortplaats wordt aangelegd. Indien het systeem compartimentsgewijs wordt aangebracht, is stortgasbenutting tijdens de exploitatie wel mogelijk, nadat een compartiment de eindhoogte heeft bereikt.

Technische uitvoerbaarheid

Een aantal van de hier beschreven technieken zijn op een aantal stortplaatsen al geruime tijd uitgevoerd en functioneren tot volle tevredenheid. Andere technieken zijn recentelijk geïnstalleerd en hebben tot dusver geen problemen opgeleverd. Een derde groep is opgebouwd uit een aantal elementen, welke in andere projecten al zijn getest, terwijl de technische uitvoerbaarheid van een vierde groep op voorhand nog onzeker is.

Kosten

In de vorige paragrafen staan de kosten voor een systeem vermeld. In figuur 4.14 staan de kosten per hectare voor een aantal systemen samengevat als functie van de pakkethoogte (3 verticale bronnen per ha).



Figuur 4.14 Kosten voor het winningssysteem als functie van de pakkethoogte

Belemmering storten

De primaire bezigheid op een stortplaats is niet het produceren van stortgas maar het bergen van afval. Hiervoor heerst de nodige bedrijvigheid van zware voertuigen op een stortplaats: vrachtwagens voeren afval aan; compactoren rijden rond om het gestorte afval te verdichten.

Het installeren van een systeem voor stortgaswinning tijdens de exploitatie kan worden ervaren als een hindering bij de exploitatie van de stortplaats. **Kan** worden ervaren: waar sommige stortplaatsen aangeven geen hinder te ondervinden, is dit in een aantal gevallen duidelijk wel het geval. De mate waarin de hinder wordt ondervonden zal afhankelijk zijn van de betrokkenheid van de stortplaatsexploitant bij het stortgasproject.

Hinder kan bestaan uit de volgende aspecten:

- De metalen of betonnen mantels voor het vooraf installeren of tijdens de exploitatie optrekken van de bronnen kunnen daarbij hinderlijk in de weg staan. Het afval, gestort rond zo'n mantel, is daarbij moeilijker te verdichten.
- Tijdens de exploitatie vormen de bronnen in wording puntbronnen voor stortgasemissie, waardoor plaatselijk de geuroverlast vergroot wordt.
- Leidingen over het stortoppervlak vormen een andere mogelijke hindering voor de stortactiviteiten. Niet zelden worden leidingen kapotgereden.
- Indien sleuven moeten worden gegraven in het afval kan dit ook als een hindering van de stortactiviteiten worden ervaren.

Stabiliteit stortpakket

Een aantal systemen kunnen de stabiliteit van het stortpakket beïnvloeden. Dit kan op langere termijn weer een nadelige invloed hebben op de stortgaswinning omdat door ongelijkmatige zettingen het bronnensysteem kan worden beschadigd of de kans op luchtinzuging kan worden vergroot. Dit probleem kan met name spelen indien verticale bronnen worden opgetrokken of geboord in een vers afvalpakket.

Waterbeheersing

Een aantal systemen draagt bij aan de waterbeheersing in het afvalpakket: ze werken simultaan als een waterdrain en als een gasdrain. Voor een aantal andere systemen geldt, dat problemen kunnen ontstaan, indien er zich een teveel aan water in het afvalpakket bevindt, eventueel in combinatie met ongelijkmatige zettingen.

Doorvoeringen afdeklaag

Een vloeistofdichte bovenafdichting is gevoelig voor scheurvorming op die plaatsen waar zich lassen in of doorvoeringen door de afdichting bevinden. Veel doorvoeringen door de afdichting ten behoeve van het systeem voor stortgaswinning kan dus op langere termijn problemen opleveren.

4.15 Discussie

Verticale systemen

In de meeste stortgasprojecten worden verticale systemen voor stortgaswinning toegepast. Dit maakt, dat de verticale bronnen de afgelopen jaren een grote ontwikkeling hebben doorgemaakt. Als een stortplaats eenmaal gesloten is, is het rendement van een verticaal systeem waarschijnlijk vergelijkbaar met die van andere systemen. Verticale systemen hebben het grote voordeel, dat de gaswinning uitstekend regelbaar is. Van iedere afzonderlijke bron kan de gassamenstelling worden gemeten en daarop kan brongewijs de zuigdruk worden ingesteld. Dit is van zeer groot belang voor de regeling van de gaskwaliteit en voor het optimaliseren van de hoeveelheid onttrokken stortgas.

Indien het bronnensysteem na sluiting van een stortplaats wordt geïnstalleerd, wordt een aanzienlijk integraal rendementsverlies geleden, doordat hoeveelheden stortgas tijdens de exploitatie niet gewonnen kunnen worden. Dit kan worden beperkt door het afval compartimentsgewijs te storten en vervolgens bronnen te installeren (§ 4.3). Door bronnen tijdens de exploitatie op te trekken kan aanzienlijk op de kosten worden bespaard. Nadelen van deze techniek zijn mogelijk hinder tijdens de exploitatie van de stortwerkzaamheden, het ontstaan van puntemissies van stortgas en een verminderde compactering van het afval rond de bronnen. Het gevolg van dit laatste is een vergrote kans op luchtinzuging. Optrekken van de bronnen tijdens de exploitatie is een bewezen techniek, welke in de praktijk weinig problemen blijkt op te leveren.

Een drietal andere verticale technieken zijn:

- Het vooraf installeren van de bronnen (§ 4.4) lijkt, qua principe op het optrekken van de bronnen tijdens de exploitatie. De laatste techniek is echter bewezen, is goedkoper en zal dus de voorkeur verdienen boven de eerste;
- Het aanbrengen van een groot aantal kleinere bronnen (§ 4.7) is een mogelijk goedkoop alternatief voor enkele grote bronnen. Het is echter twijfelachtig of met dit systeem gas uit grote dieptes kan worden gewonnen;

- Onttrekking van het stortgas aan de onderzijde (§ 4.6) is een nog geheel onbekende techniek, welke goede mogelijkheden biedt voor het onttrekken van stortgas tijdens de exploitatiefase. Voordat een dergelijk systeem met succes operationeel is, zullen echter wel een aantal constructionele problemen moeten worden opgelost.

Kortom: verticale bronnen is een bewezen techniek voor stortgaswinning. Het kan met een hoog integraal rendement worden uitgevoerd door compartimentsgewijs te storten en vervolgens bronnen te installeren. Het kan goedkoop worden uitgevoerd door de bronnen op te trekken tijdens de exploitatie van de stortplaats.

Door verzameling van het stortgas aan de onderzijde kan het integrale rendement verder verhoogd worden. Deze techniek moet echter nog verder worden ontwikkeld.

Gasgangen

Gasgangen blijken een betrouwbare methode voor het ontgassen van een afvalpakket, mits voldoende afgedicht. Met behulp van meerdere lagen gasgangen kunnen relatief hoge stortplaatsen toch effectief worden ontgast. Met twee lagen gasgangen kan een pakket met een dikte van 40 meter worden ontgast. Een verticaal systeem is voor een dergelijk hoog afvalpakket niet eenvoudig te installeren.

Het grote nadeel van de gasgangen is, dat ze een relatief dure methode zijn voor het ontgassen van het afvalpakket.

Horizontaal winningssysteem

Een horizontaal systeem lijkt vooral effectief, wanneer een laagsgewijze (in tegenstelling tot compartimentsgewijze) stortmethode wordt toegepast. In zo'n geval kan het tijdstip van gasonttrekking sterk worden vervroegd. De kosten van een horizontaal winningssysteem lopen sterk op met de hoogte van het afvalpakket. Op minder hoge stortplaatsen of op lagere delen van stortplaatsen (in de taluds) zijn de kosten van een horizontaal systeem concurrerend met de kosten van andere systemen.

Horizontale systemen hebben als nadeel, dat ze vrij kwetsbaar zijn voor zettingen van het afvalpakket. Hierdoor kunnen breuken in het bronnensysteem ontstaan, waardoor hele delen van het winningssysteem onbruikbaar worden. Indien een systeem niet onder voldoende afschot wordt geïnstalleerd, of indien onvoldoende afwateringsmogelijkheden zijn aangebracht, kunnen problemen ontstaan door water in het bronnensysteem. Het gevaar voor watersloten in het winningssysteem is niet ondenkbeeldig.

Gecombineerde systemen

Het systeem in Voorst is nog geen jaar geleden geïnstalleerd. De winning van stortgas verloopt momenteel zonder noemenswaardige problemen. Het is moeilijk om voor dit project aan te geven, in hoeverre de gasgangen bijdragen aan de hoeveelheid gewonnen stortgas. Om die reden kan niet worden gezegd in hoeverre het momentane rendement verhoogd wordt ten opzichte van een systeem, alleen bestaande uit de verticale bronnen. De gasgangen zelf zijn gevuld met autobanden; een materiaal, dat tegen storttarief wordt aangevoerd. De extra kosten ten opzichte van een verticaal systeem, zijn dan ook gering. Ook voor verdere uitbreidingen van de stortgaswinning te Voorst zal worden gekozen voor dit gecombineerde systeem. Immers: 'Baat het niet, schaadt het niet'. Een mogelijk nadeel is, dat door het verbinden van alle bronnen met elkaar de regeling in verband met mogelijke luchtinzuiging moeilijker wordt.

*Stortgaswinning met hoog rendement**Oppervlakte-ontgassing*

Een laag voor de gasdrainage is een noodzakelijk onderdeel van een vloeistofdichte bovenafdichting. Zo'n bovenafdichting wordt vrij laat na sluiting van een stortplaats aangelegd. Een gasdrainagelaag levert nog slechts een geringe bijdrage aan de emissiebeperking naar de atmosfeer. Daarnaast is het meestal niet mogelijk dit gas te benutten, omdat de kwaliteit en de hoeveelheid van het verzamelde stortgas niet gecontroleerd kan worden. Dit laatste wordt wellicht wel mogelijk indien voldoende aftappunten worden gecreëerd.

Tabel 4.5 Beoordeling van de onttrekkingssystemen

	Stortgaswinning tijdens exploitatie			Stortgaswinning na exploitatie			Techniek en economie		Overige aspecten			
	effectiviteit emissie-beperking	beheersing gas-kwaliteit	mogelijkheden gas-benutting	effectiviteit emissie-beperking	beheersing gas-kwaliteit	mogelijkheden gas-benutting	Technische uitvoering	Kosten	belemmering storten	stabiliteit stort-pakket	waterbeheersing	doorvoeringen afdeklaag
Verticale onttrekking na beëindiging storten	-	n.v.t.	-	+	+	+	+	0	+	+	0	-
Verticale onttrekking compartimentsgewijs	+	0	+	+	+	+	+	0	+	0	0	-
Verticale onttrekking oprichting vooraf	+	0	-	+	+	+	0	0	0	0	0	-
Verticale onttrekking optrekken tijdens exploitatie	+	0	-	+	+	+	+	+	-	0	0	-
Verticale onttrekking aansluiting onderzijde	+	?	+	+	+	+	?	?	-	0	+	+
Verticale onttrekking intensieve bronnering	-	n.v.t.	-	+	+	+	+	?	+	+	0	-
Gasgangen	0	0	0	+	0	+	+	+/-	-	+	+	+
Horizontale onttrekking	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	0	+
Gabion bronnen	0	+	0	0	+	0	+	?	-	0	0	-
Combinatie verticale en horizontaal systeem	+	0	-	+	0	+	+	+	-	0	+	-
Gasdrainagebuizen	-	n.v.t.	-	+	0	0	+	+	+	+	+	+
Gasdrainagematten	-	n.v.t.	-	+	0	0	+	-	+	+	+	?

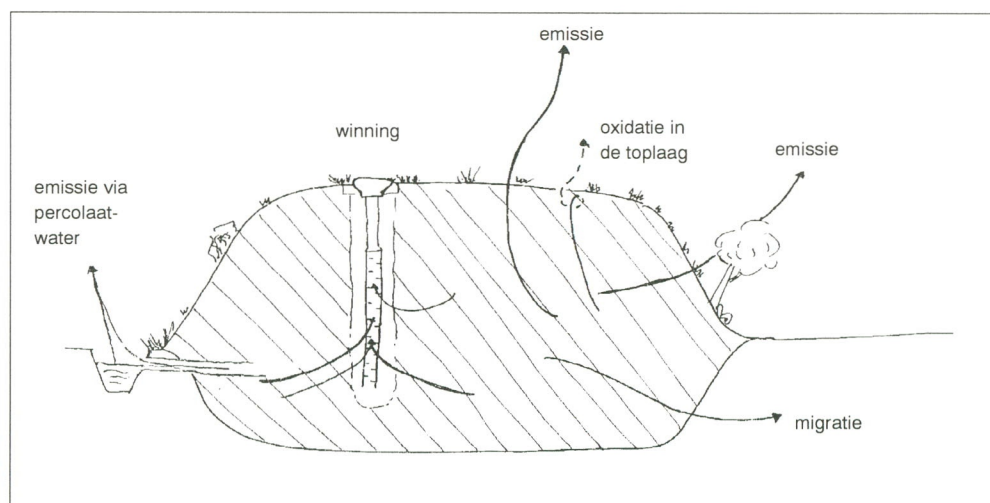
5 Verbetering momentane rendement

5.1 Inleiding

Het in het afvalpakket gevormde stortgas zoekt de weg van de minste weerstand. Kanalen die zich in het stortpakket bevinden met een relatief grote doorlaatbaarheid vormen een belangrijke transportweg voor stortgas. Deze kanalen kunnen toevallig ontstaan zijn door zettingen of door de uitstroom van water of bewust zijn aangebracht ten bate van de percolaatwaterdrainage of de stortgaswinning. In principe kan het stortgas op vier manieren uit het afvalpakket vrijkomen, als geïllustreerd in figuur 5.1:

- het stortgas komt vrij, via de afdeklaag. Omdat de horizontale mobiliteit van het stortgas in het afvalpakket 7 tot 15 keer zo groot is als de verticale mobiliteit zullen de taluds hierbij een belangrijk emissiepunt vormen. In de afdeklaag van de stort kan het methaan uit het stortgas voor een deel worden geoxideerd tot CO_2 ;
- het stortgas komt vrij via het percolaatwatersysteem;
- het stortgas migreert via de bodem naar de omgeving. Dit komt op Nederlandse stortplaatsen nauwelijks voor;
- het stortgas wordt gewonnen met behulp van een onttrekkingsstelsel.

Vergroten van het momentane winningsrendement betekent dat de verhouding van de eerste drie routes ten opzichte van de vierde route moet worden verkleind. Ook ontgassing van het percolaatwatersysteem kan deel uitmaken van het winningssysteem. Dit houdt in dat emissie via de afdeklaag of migratie door de bodem zoveel mogelijk moet worden vermeden of dat het systeem voor stortgaswinning efficiënter moet worden gemaakt.



Figuur 5.1 Emissie van stortgas

5.2 Voorkomen van emissie of migratie

Vermijden van emissie door de toplaag wordt tegengegaan door het afdichten van de bovenzijde van de stortplaats en het afdichten van de onderzijde van de stort. Indien het afvalpakket geheel gasdicht is afgewerkt, kan het gas maar één kant op: naar het systeem voor stortgaswinning met als gevolg een toename van het rendement van stortgaswinning. De volgende vier maatregelen kunnen worden onderscheiden:

Aanbrengen van een niet vloeistofdichte bovenafwerking, al dan niet tijdelijk

Het grootste 'gaslek' wordt gevormd door het stortoppervlak. Door het aanbrengen van een bovenafwerking wordt dit 'lek' gedeeltelijk opgevuld. Een breed scala aan materialen kan worden gebruikt voor de bovenafwerking: zand, klei, leem zijn enkele voorbeelden. Vaak wordt materiaal gebruikt dat in de omgeving voorhanden is: gebiedseigen grond. Daarnaast kunnen waterdichte materialen worden toegepast (zie hierna bij bovenafdichting). Het effect van een bovenafwerking op het momentane rendement van stortgaswinning is afhankelijk van de soort en dikte van de afwerking en van het winningssysteem. Het effect op het momentane rendement is niet goed te kwantificeren, maar ervaringen bij het stortgasproject in Tilburg geven aan, dat de gewonnen hoeveelheden stortgas stijgen na het aanbrengen van een meter zand.

Een tijdelijke bovenafwerking (bijvoorbeeld een meter zand) kan worden aangebracht voor de periode tussen het sluiten van een stortplaats en het aanbrengen van een bovenafdichting.

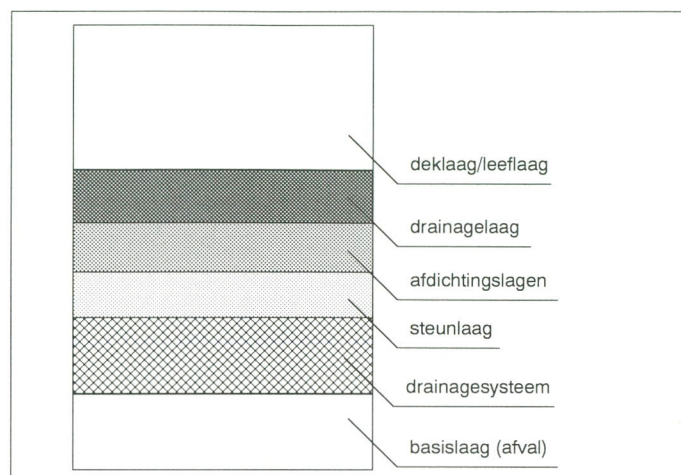
Aanbrengen van een vloeistofdichte bovenafdichting

Verontreiniging van de bodem en het grondwater onder een stortplaats door doorsijpelend percolaatwater wordt als het grootste probleem van een stortplaats beschouwd. Het ontstaan van percolaatwater kan worden vermeden door het aanbrengen van een vloeistofdichte bovenafdichting. Een dergelijke vloeistofdichte bovenafdichting is tegelijkertijd gasdicht.

Er zijn drie typen vloeistofdichte bovenafdichting:

- foliën: bijvoorbeeld HDPE-folie;
- minerale afdichting: bijvoorbeeld zand-bentoniet, klei, bentonietmatten;
- gecombineerde afdichting: een combinatie van een minerale afdichting en een folie.

Omdat een bovenafdichting gasdicht is, wordt een systeem voor stortgaswinning noodzakelijk. Als dit niet wordt aangebracht ontstaat een dusdanige gasdruk in het afvalpakket dat de bovenafdichting beschadigd kan worden. Daarnaast worden nog andere voorzieningen noodzakelijk, bijvoorbeeld voor de afvoer van regenwater.



Figuur 5.2 Opbouw van een vloestofdichte bovenafwerking

Een bovenafdichting is meer dan alleen een folie; het bestaat uit een systeem van meerdere lagen, opgebouwd uit (van boven naar onder, zie figuur 5.2):

- een deklaag van ongeveer een meter grond. Deze doet als leeflaag dienst en biedt tevens bescherming aan de daaronder liggende lagen. Daarnaast vormt deze deklaag de groei- en standplaats voor vegetatie op de stortplaats;
- een drainagelaag, waardoor het neerslagoverschot kan worden afgevoerd;
- de afdichtingslaag, mineraal, folie of een combinatie van beide;
- een drainagesysteem voor afvoer van stortgas en eventueel vrijkomend percolaatwater uit het afval;
- een steunlaag, welke de bovenafdichting beschermt tegen scherp uitstekende delen.

Het aanbrengen van een gecombineerde bovenafdichting is in het kader van het stortbesluit voorgeschreven voor stortplaatsen, welke na 1995 nog in exploitatie zijn. Deze bovenafdichting moet worden aangebracht 'zo spoedig als technisch mogelijk is en niet langer dan 30 jaar na aanbrengen van de onderafdichting'.

De bovenafdichting kan worden beschadigd door zettingen in het afvalpakket, welke vooral in de eerste jaren, direct na het storten optreden. Daarom wordt pas overgegaan tot aanbrengen van een bovenafdichting, wanneer het afvalpakket zich al voldoende heeft kunnen zetten. Zo spoedig als technisch mogelijk is in de praktijk na een periode van 3 tot 5 jaar na sluiting van de stortplaats.

De kosten van een bovenafdichting variëren van ongeveer f 30,- per m^2 voor een HDPE-afdichting tot f 50 à f 100,- per m^2 voor een gecombineerde afdichting. Deze kosten zijn afhankelijk van een reeks factoren, zoals het type bovenafdichting, het soort afval, de gebruikte water- en gasdrains, het aantal doorvoeringen door de bovenafdichting, het aantal 'lassen' tussen afdichtingen. Al met al betekent dit, dat de kosten voor een bovenafdichting van een stortplaats snel in de orde van enkele miljoenen guldens lopen [Haskoning, Grontmij, 1993].

Indien men versneld een bovenafdichting wil aanbrengen dan spelen naast het risico van scheurvorming nog andere aspecten een rol. Eerder aanbrengen betekent op een eerder moment geld investeren, waardoor de inkomsten uit rente afnemen.

Aan de andere kant betekent eerder aanbrengen van een bovenafdichting een afname van de hoeveelheid te behandelen percolaatwater, hetgeen zuiverings- en lozingskosten uitspaart.

Aanbrengen van een vloeistofdichte onderafdichting

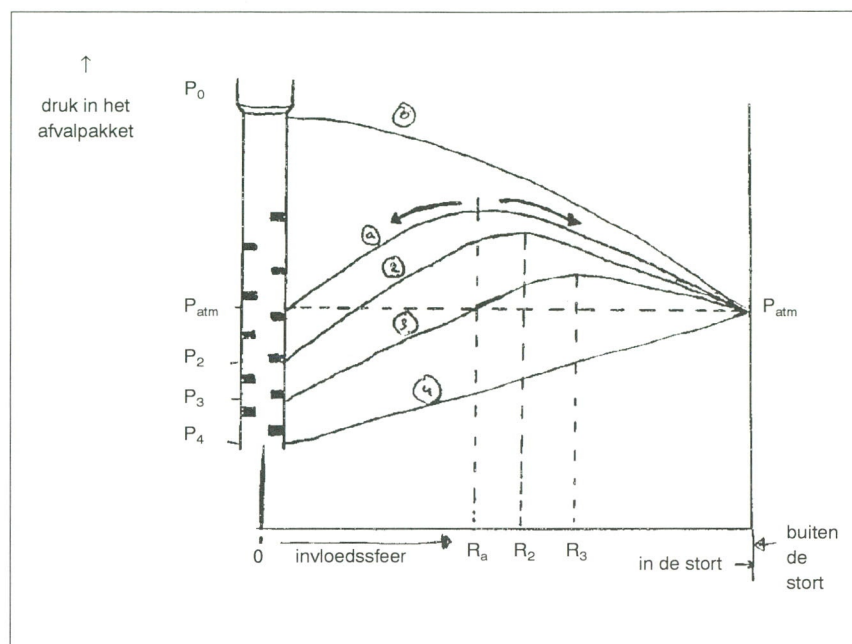
Onderafdichtingen onder het afvalpakket worden aangebracht ter bescherming van bodem en grondwater. Net zoals een bovenafdichting, heeft ook een onderafdichting invloed op de stortgaswinning, zij het niet in die mate als een bovenafdichting. Migratie van stortgas en dus momentaan rendementsverlies is duidelijk van belang op stortplaatsen waar geen onderafdichting is aangebracht, maar welke wel aan de bovenzijde zijn afgedicht [Grontmij, 1993]. Waar bij een bovenafdichting het tijdstip van aanbrengen een mogelijke variabele is, is dit bij een onderafdichting niet mogelijk: hij is aanwezig, of niet.

Ontgassing van het percolaatwatersysteem

Het percolaatwatersysteem vormt een bron van stortgas. Deels komt dit doordat methaan oplost in het water, voor een ander deel wordt dit veroorzaakt door de omzetting in de waterfase van allerlei opgeloste organische componenten tot een soort biogas. Ontgassing van het percolaatwatersysteem kan fungeren als een extra bron voor stortgas. Indien het afvalpakket wordt afgedicht en niet voldoende wordt ontgast, zal de hoeveelheid stortgas zich een uitweg zoeken uit het afvalpakket via het percolaatwatersysteem.

5.3 Een efficiënter systeem voor stortgaswinning

De tweede mogelijkheid voor het verhogen van het momentane rendement is het efficiënter maken van de stortgaswinning. Hiervoor kan men het begrip 'invloedssfeer van de bronnen' gebruiken. Gegeven een zekere zuigdruk op de bron, dan valt een gebied te definiëren, waaruit het gas de bron ingezogen wordt. Door de vorming van stortgas, ontstaan lokaal in het afvalpakket drukgradiënten. Onder invloed hiervan stroomt het stortgas naar een lagere druk. Wanneer bronnen in het afvalpakket worden aangebracht, dan heeft de gasdruk ergens tussen de bron en de buitenzijde van het afvalpakket een maximum (zie figuur 5.3). Rechts van dit maximum wordt het gas naar de atmosfeer geëmmiteerd; links van dit maximum komt het gas in het bronnensysteem terecht. De plaats van dit maximum bepaalt de invloedssfeer van de bron. In een optimaal winningssysteem zijn de bronnen op een zodanige wijze uitgelegd, dat het merendeel van het afvalpakket zich binnen de invloedssfeer van de bronnen bevindt, terwijl nog net geen luchtinzuiging optreedt. Het winningsrendement is ongeveer evenredig met de verhouding van het afvalvolume binnen de invloedssfeer ten opzichte van het totale afvalvolume.



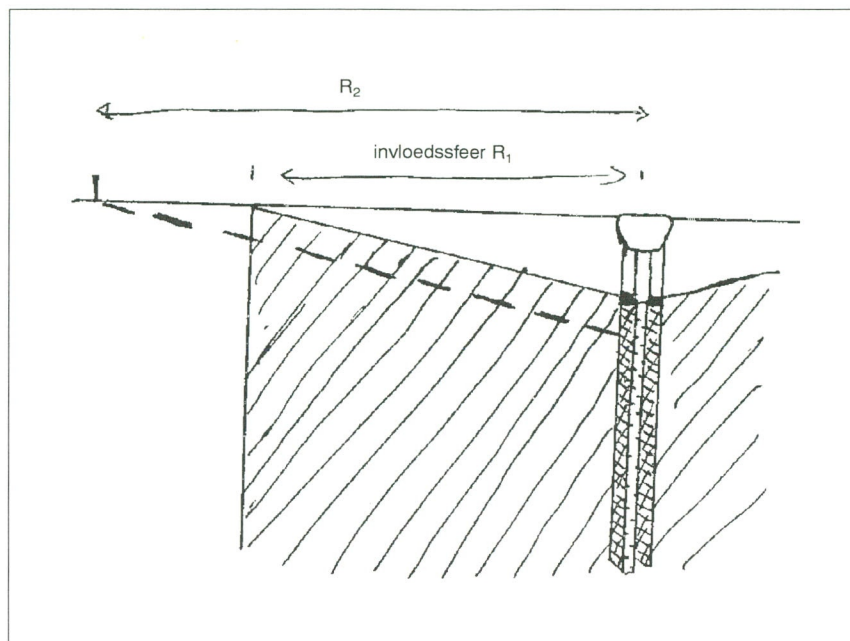
Figuur 5.3 Invloedssfeer van een bron

De grootte van de invloedssfeer is afhankelijk van een reeks stortgebonden factoren zoals de dichtheid van het afvalpakket en de doorlatendheid van de topklaag. Daarnaast wordt de invloedssfeer bepaald door het winningssysteem. De volgende parameters spelen daarbij een rol:

De lengte van het blinde deel van een bron

De lengte van het blinde deel van een verticale bron bepaalt het punt waar lucht wordt ingezogen en dus de invloedssfeer van een bron. Figuur 5.4 toont, sterk schematisch weergegeven, de invloedssfeer van een verticale bron in een langsdoorsnede. In werkelijkheid zal de invloedssfeer een veel grilliger vorm hebben. Deze invloed van de bron is kegelvormig van aard. De lengte van de invloedssfeer, R_1 , wordt bepaald door het punt waar de invloed de bovenzijde van de stort raakt en waar dus lucht ingezogen gaat worden. Door verlenging van het blinde deel van de bron neemt de invloedssfeer toe van R_1 naar R_2 . Een factor welke de invloedssfeer voor een belangrijk deel bepaalt is de verhouding tussen de horizontale en de verticale permeabiliteit. Onder aanname dat de verhouding van de ongeveer 1 op 10 is, betekent verlenging van het blinde deel met een meter een toename van de invloedssfeer met 10 meter. Verlenging van het blinde deel van de bron houdt echter tevens in, dat het afvalpakket rond de bovenzijde van de bron niet meer tot de invloedssfeer behoort. Hier wordt dus weer rendement-verlies geleden. Verlenging van het blinde deel van de bron wordt ook beperkt door water in het afvalpakket. Een te kort filter, te diep in het afvalpakket kan geblokkeerd raken door percolaatwater.

Voor een optimaal ontwerp: zie de handleiding stortgaswinning van het Adviescentrum Stortgas (1994).



Figuur 5.4 Langsdoorsnede van een bron

Het aantal bronnen

Het aantal onttrekkingspunten wordt bepaald door de invloedssfeer van een enkele bron, geometrische aspecten en de permeabiliteit van het afvalpakket. Indien het afvalpakket zeer inhomogeen is, is ontgassing met een groot aantal individueel in te stellen onttrekkingspunten de beste oplossing.

De lay-out van het bronnensysteem

Met een goede lay-out van het bronnensysteem kan tegen een minimum aan kosten een maximum aan ontgassing worden bereikt. In de praktijk betekent dit, het uitleggen van de bronnen in een driehoekige steek, plaatsing van een aantal bronnen met een grote invloedssfeer midden van het afvalpakket (lang blind gedeelte) en aan de taluds een groter aantal bronnen met een relatief kleine invloedssfeer. Ook kunnen taluds worden ontgast met bijvoorbeeld een horizontaal systeem.

De zuigdruk op het onttrekkingssysteem

De invloedssfeer van de bronnen wordt mede bepaald door de zuigdruk op het onttrekkingssysteem; hoe groter de zuigdruk des te groter de invloedssfeer. Dit wordt geïllustreerd in figuur 5.3. Door het verlagen van de zuigdruk op het bronnensysteem van p_2 naar p_3 , wordt de plaats van het maximum in de gasdruk verplaatst en de invloedssfeer van de bron vergroot. Indien de zuigdruk op het systeem te groot wordt, bij p_4 , wordt lucht in het afvalpakket gezogen. Hierdoor wordt het stortgas verdund met stikstof, waardoor de kwaliteit van het gas afneemt. Door de ingezogen zuurstof wordt de anaërobie verstoord, waardoor de stortgasvorming afneemt.

Type van de bronnen

De invloedssfeer van de bronnen wordt voor een deel bepaald door het type bronnensysteem. In het vorige hoofdstuk zijn een aantal systemen voor stortgaswinning beschreven.

5.4 Conclusies

De mogelijkheden voor het vergroten van het momentane rendement zijn van tweeërlei aard:

- het voorkomen van emissie of migratie van stortgas;
- het verhogen van de invloedssfeer van het bronnensysteem.

Onder de eerste categorie maatregelen valt het aanbrengen van een boven- en/of onderafdichting. De investering hiervoor loopt echter in de miljoenen guldens. Ze zal dus nooit omwille van een stortgasproject alleen worden gedaan. Het besef, dat door aanbrengen van een bovenafdichting het rendement voor stortgaswinning wordt beïnvloed, kan wel mede aanleiding vormen om in een wat vroeger stadium de bovenafdichting aan te brengen. Kosten door renteverlies en het gevaar voor beschadiging van de bovenafdichting door zettingen van het afvalpakket zijn factoren, waardoor het aanbrengen van een bovenafdichting vaak wordt uitgesteld. Het renteverlies wordt deels gecompenseerd door afnemende zuiveringslasten voor het percolaatwater. Het gevaar voor ongelijkmatige zettingen kan worden tegengegaan door homogeniseren van het afvalpakket, of door het storten en compacteren van dunnere lagen afval bij een laagsgewijze stortmethode. In dit laatste geval neemt ook het stortoppervlak toe, waardoor ook de hoeveelheid percolaatwater weer toeneemt.

Het aanbrengen van een tijdelijke afdichting voor de periode tussen sluiting van de stortplaats en de afdichting van een stortplaats is een andere maatregel, waardoor het rendement kan worden verhoogd. Ook hier worden de kosten mede gecompenseerd door afnemende zuiveringskosten voor het percolaatwater.

Een optimale invloedssfeer van de bronnen houdt in, dat het bronnensysteem goed ontworpen moet worden. Het optimale ontwerp is afhankelijk van de geometrie van de stortplaats, de permeabiliteit van het afval, de eisen met betrekking tot emissiebeperking. Meer informatie over het ontwerp van een systeem voor stortgaswinning wordt gegeven in de Handleiding Stortgaswinning, uitgegeven door het Adviescentrum Stortgas [1994].

6 Integrale rendementen en kosteneffectiviteit voor een modelstort

6.1 Inleiding

In de twee hoofdstukken hiervoor zijn allereerst een aantal systemen voor stortgaswinning beschreven en daarna een aantal maatregelen om het momentane rendement van het systeem voor stortgaswinning te vergroten.

In dit hoofdstuk wordt het integrale rendement van stortgaswinning voor een aantal modelstortplaatsen berekend. Hierbij worden een aantal aspecten van de stortplaats en van de stortgaswinning gevarieerd, zoals de leeftijdsopbouw en geometrie van de stortplaats, de brondichtheid en de wijze en het tijdstip van bovenafdichting.

Modelstortplaats

Deze berekeningen worden gedaan aan de hand van een aantal modelstortplaatsen. De basisstortplaats is een stort, waar jaarlijks 250.000 ton afval wordt gestort. De stortplaats blijft 10 jaar in exploitatie; de eindhoogte van het afvalpakket is 20 meter; het uiteindelijke oppervlak van het afvalpakket is 10 hectare. Indien compartimentsgewijs wordt gestort wordt jaarlijks een oppervlak van één hectare volgestort. Vijf jaar na sluiting van de stortplaats wordt een bovenafdichting aangebracht.

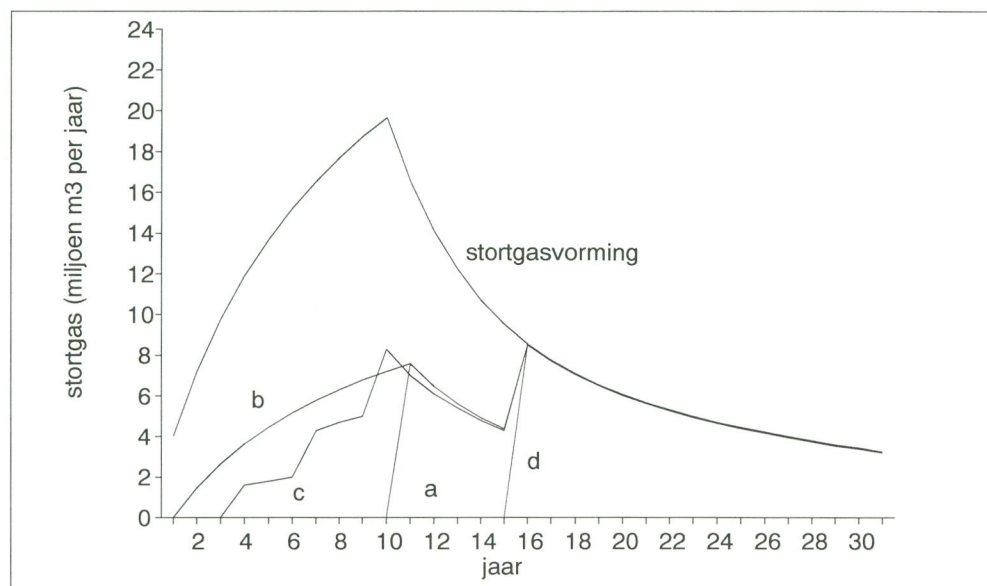
Van de systemen voor stortgaswinning, welke in hoofdstuk 4 beschreven zijn, worden in dit hoofdstuk vier systemen in beschouwing genomen. Hierdoor is gekozen, omdat de mogelijkheden om tijdens de exploitatie stortgas te winnen voor veel systemen overeenkomen, zodat ook de integrale rendementen niet veel van elkaar zullen verschillen. In dit hoofdstuk worden de volgende combinaties van systemen en stortmethode behandeld:

- verticale bronnen, geïnstalleerd na sluiting van de stortplaats,
- verticale opgetrokken bronnen, compartimentsgewijze stortmethode,
- horizontale bronnen, laagsgewijze stortmethode,
- oppervlakte-ontgassing met gasdrainagebuizen.

In bijlage 1 worden deze systemen voor stortgaswinning wat uitgebreider beschreven. Bovendien wordt vermeld welke aannames zijn gedaan bij de berekeningen en op welke wijze de rendementen en de kosten voor het winningssysteem zijn berekend.

Figuur 6.1 geeft voor deze systemen de stortgasvorming en -winningcurven op de bovenbeschreven modelstortplaats weer.

Stortgaswinning met hoog rendement



Figuur 6.1 Stortgasvorming en winning bij de vier basissystemen
 (a: verticale bronnen achteraf,
 b: compartimentsgewijs opgetrokken bronnen,
 c: horizontaal systeem,
 d: oppervlakte-ontgassing)

Het grote verschil tussen deze vier systemen is het tijdstip van aanvang van stortgaswinning. Bij installatie van de bronnen na sluiting is gaswinning tijdens exploitatie uiteraard niet mogelijk. Wanneer men laagsgewijs stort kan men stortgas winnen tijdens de exploitatie door een horizontaal systeem in te graven. Bij compartimentsgewijs storten bestaat de mogelijkheid om de bronnen tijdens de exploitatie op te trekken. Bij oppervlakte-ontgassing met gasdrainagebuizen kan pas vijf jaar na sluiting van de stortplaats worden overgegaan tot stortgaswinning. Het integrale rendement neemt voor deze stortplaats af in de volgorde:

- compartimentsgewijs optrekken van verticale bronnen;
- laagsgewijs ingraven van horizontale bronnen;
- achteraf installeren van de verticale bronnen;
- oppervlakte-ontgassing.

In tabel 6.1 staan de gevormde (G), gewonnen (W) en benutte (N) hoeveelheden stortgas weergegeven en zijn vervolgens het integrale winningsrendement ($\eta_{i,w}$), benuttingsrendement ($\eta_{i,n}$) en het maximale winningsrendement ($\eta_{i,max}$) bepaald. Het integrale winningsrendement wordt mede bepaald door het momentane rendement van stortgaswinning. Dit momentane rendement kan worden verhoogd, zoals in hoofdstuk 5 is beschreven. Het maximale winningsrendement is het integraal winningsrendement bij een momentaanrendement van 100% en is dus het maximaal rendement dat haalbaar is met het systeem op deze stortplaats. Een groot verschil tussen $\eta_{i,w}$ en $\eta_{i,max}$ houdt in, dat een verbetering van het integraal winningsrendement technisch gezien nog mogelijk is. In tabel 6.1 staan bovendien de totale kosten van het bronnensysteem (K) weergegeven en zijn kosten voor het bronnensysteem per kg vermeden methaanemissie (ke_m , onder aanname dat het stortgas 0,43 kg methaan per m^3 bevat en dat al het stortgas afgefakkeld of benut wordt) per m^3 benutbaar gas (ke_n)

Stortgaswinning met hoog rendement

en per ton gestort afval (ke_a) vermeld. Deze kosten hebben uitsluitend betrekking op de bronnen. De overige kosten voor het systeem voor stortgaswinning (leidingensysteem, afzuiginstallatie, fakkelinstallatie) zijn hierbij niet inbegrepen. Op deze kosten wordt ingegaan door Scheepers en Riphagen [1992].

Tabel 6.1 Rendementen en kosten van een winningssysteem

	G (Mm ³)	W (Mm ³)	N (Mm ³)	$\eta_{i,w}$ (%)	$\eta_{i,max}$ (%)	$\eta_{i,n}$ (%)	K (kf)	ke_m (ct/kg)	ke_n (ct/m ³)	ke_a (ct/ton)
verticale bronnen ¹⁾ , achteraf	281	109	62	39	52	22	265	0,56	0,42	11
verticale bronnen ¹⁾ , compart., opgetr.	281	153	85	55	86	30	160	0,25	0,17	6
horizontaal laagsgewijs	281	126	85	45	61	30	480	0,88	0,56	19
oppervlakte-ontgassing	281	85	0 ²⁾	30	30	0 ²⁾	200	0,55	-	8

G	integraal gevormde hoeveelheid stortgas (miljoen m ³)
W	integraal gewonnen hoeveelheid stortgas (miljoen m ³)
N	integraal benutte hoeveelheid stortgas (miljoen m ³)
$\eta_{i,w}$	integraal winningsrendement (%)
$\eta_{i,max}$	maximaal integraal winningsrendement (bij momentaan rendement van 100%)
$\eta_{i,n}$	integraal benuttingsrendement
K	kosten van het bronnensysteem (in kf)
ke_m	kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per kg vermeden methaanemissie)
ke_n	kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per m ³ benut stortgas)
ke_a	kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per ton gestort afval)

¹⁾ 2 bronnen per ha.

²⁾ hier wordt aangenomen, dat het gewonnen niet benut kan worden. Indien voldoende regelbare aanzuigpunten worden geïnstalleerd, is stortgasbenutting ook bij oppervlakteontgassing mogelijk.

Uit tabel 6.1 blijkt, dat het compartimentsgewijs storten en optrekken van de bronnen het te prefereren systeem is. Dit systeem heeft het hoogste integrale winningsrendement tegen de laagste kosten per ton afval. Ook de mogelijkheden voor benutting van het stortgas zijn het best.

Wanneer men gebonden is aan een laagsgewijze stortmethode kan een horizontaal bronnensysteem worden geïnstalleerd. Dit levert een hoog integraal winningsrendement, maar is tegelijkertijd ook veel duurder dan het achteraf installeren van verticale bronnen. Doordat de winningscurve voor zo'n horizontale winningssysteem vlak loopt (figuur 6.1), zijn de benuttingsmogelijkheden voor stortgas hier nagenoeg gelijk aan de benuttingsmogelijkheden bij de compartimentsgewijs opgetrokken bronnen. De benuttingsmogelijkheden bij het achteraf installeren van verticale bronnen zijn relatief slecht, omdat de winningscurve een scherpe piek vertoont, welke niet te benutten is.

Bij oppervlakte-ontgassing kan het gewonnen gas wellicht wel worden benut. In de praktijk gebeurt dit echter niet.

6.2 Invloed van de brondichtheid

De hoeveelheid gewonnen stortgas en de kosten voor stortgaswinning worden sterk beïnvloed door het aantal geïnstalleerde bronnen. Voor de modelstortplaats is het aantal bronnen per hectare gevarieerd en zijn vervolgens de rendementen en de kosten voor het bronnensysteem berekend. De aannames, welke hierbij gedaan zijn en de wijze waarop de berekeningen zijn uitgevoerd staan vermeld in bijlage 1. De resultaten van de berekeningen staan weergegeven in tabel 6.2.

Tabel 6.2 Rendementen en kosteneffectiviteit als functie van de brondichtheid

	$\eta_{i,w}$ (%)	$\eta_{i,n}$ (%)	ke_m (ct/kg)	ke_n (ct/m ³)	ke_a (ct/ton)
<i>verticale bronnen achteraf</i>					
1 bron/ha	33	21	0,32	0,22	5
2 bronnen/ha	39	22	0,56	0,43	11
3 bronnen/ha	46	25	0,71	0,56	16
<i>verticale opgetrokken bronnen, compartimentsgewijs</i>					
1 bron/ha	40	27	0,16	0,11	3
2 bronnen/ha	55	30	0,25	0,17	6
3 bronnen/ha	70	39	0,29	0,22	9

$\eta_{i,w}$ integraal winningsrendement (%)

$\eta_{i,max}$ maximaal integraal winningsrendement (bij momentaan rendement van 100%)

$\eta_{i,n}$ integraal benuttingsrendement

ke_m kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per kg vermeden methaanemissie)

ke_n kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per m³ benut stortgas)

ke_a kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per ton gestort afval)

Zoals te verwachten is stijgt het rendement van stortgaswinning en neemt de stortgasbenutting toe met een toenemende brondichtheid. De kosten van het bronnensysteem nemen evenredig toe met het aantal geïnstalleerde bronnen.

6.3 Invloed van de bovenafdichting

De soort bovenafdichting en het tijdstip van aanbrengen van de bovenafdichting bepaalt het momentane rendement van stortgaswinning en dus het integrale rendement. Een bovenafdichting wordt niet aangebracht omwille van het stortgasproject, maar ter bescherming van bodem en grondwater. De kosten worden meestal verrekend in het storttarief. Het is dan ook niet reëel om de kosten van een bovenafdichting op het conto van het stortgasproject te schrijven en dat is in deze paragraaf dan ook niet gedaan. Het vervroegd aanbrengen van een bovenafdichting wordt wel vaak genoemd als een mogelijkheid om het rendement van stortgaswinning te verhogen. De kosten, die hiermee gepaard gaan (renteverlies, gecompenseerd met

Stortgaswinning met hoog rendement

vermindering van de zuiveringslasten) worden in deze paragraaf wel doorgerekend ten koste van het stortgasproject. In bijlage 1 is de berekening van de kosten voor het eerder aanbrengen van een bovenafdichting verder uitgewerkt. Tabel 6.3 geeft de integrale rendementen en de kosten van stortgaswinning bij verschillende bovenafdichtingen weer.

Tabel 6.3 Rendementen en kosteneffectiviteit bij verschillende bovenafdichting

	$\eta_{i,w}$ (%)	$\eta_{i,n}$ (%)	ke_m (ct/kg)	ke_n (ct/m ³)	ke_a (ct/ton)
<i>verticale bronnen, achteraf</i>					
geen bovenafdichting	24	11	0,91	0,85	11
kleiafdichting na 5 jaar	31	16	0,70	0,58	11
bovenafdishting na 5 jaar	39	22	0,56	0,43	11
bovenafdichting na 2 jaar	45	25	2,11	1,64	46
bovenafdichting comp.gewijs	n.v.t.				
<i>verticale opgetrokken bronnen, compartimentsgewijs</i>					
geen bovenafdichting	39	26	0,33	0,21	6
kleiafdichting na 5 jaar	46	30	0,29	0,18	6
bovenafdichting na 5 jaar	55	32	0,25	0,17	6
bovenafdichting na 2 jaar	60	37	1,42	0,99	41
bovenafdichting comp.gewijs	67	47	1,82	1,11	59
<i>horizontaal winningssysteem, laagsgewijs</i>					
geen bovenafdichting	35	22	1,12	0,76	19
kleiafdichting na 5 jaar	43	27	0,93	0,64	19
bovenafdichting na 5 jaar	45	30	0,88	0,57	19
bovenafdichting na 2 jaar	55	36	2,04	1,34	54
bovenafdichting comp.gewijs	n.v.t.				
<i>oppervlakte-ontgassing</i>					
na 5 jaar	30	-	0,54	-	8
na 2 jaar	41	-	2,17	-	44
compartimentsgewijs	46	-	2,74	-	61

$\eta_{i,w}$ integraal winningsrendement (%)

$\eta_{i,n}$ integraal benuttingsrendement

ke_m kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per kg vermeden methaanemissie)

ke_n kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per m³ benut stortgas)

ke_a kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per ton gestort afval)

Uit bovenstaande tabel blijkt, dat de soort bovenafdichting een grote invloed heeft op de effectiviteit van ontgassing: hoe beter de afdichting, des te beter de ontgassing. De

kosten van het eerder afdichten zijn echter zo hoog, dat dit in de praktijk waarschijnlijk niet zal worden uitgevoerd.

6.4 Invloed van de ouderdomsopbouw van de stortplaats

Het rendement van het systeem voor stortgaswinning wordt beïnvloed door de lengte van de exploitatieperiode. Voor de modelstortplaats zijn de integrale rendementen berekend voor een verdubbeling en halvering van de exploitatieperiode. De resultaten staan vermeld in tabel 6.4.

Tabel 6.4 Rendementen en kosteneffectiviteit bij variërende exploitatieperiode

	$\eta_{i,w}$ (%)	$\eta_{i,n}$ (%)	ke_m (ct/kg)	ke_n (ct/m ³)	ke_a (ct/ton)
<i>verticale bronnen, achteraf</i>					
5 jaar	48	26	0,53	0,34	11
10 jaar	39	22	0,56	0,42	11
20 jaar	29	17	0,68	0,50	11
<i>verticale opgetrokken bronnen, compartimentsgewijs</i>					
5 jaar	57	33	0,23	0,16	6
10 jaar	55	32	0,24	0,17	6
20 jaar	51	31	0,25	0,18	6
<i>horizontaal winningssysteem, laagsgewijs</i>					
5 jaar	50	32	0,80	0,54	19
10 jaar	45	30	0,88	0,57	19
20 jaar	39	29	1,02	0,59	19
<i>oppervlakte-ontgassing</i>					
5 jaar	34	-	0,48	-	8
10 jaar	30	-	0,55	-	8
20 jaar	22	-	0,75	-	8

$\eta_{i,w}$ integraal winningsrendement (%)

$\eta_{i,n}$ integraal benuttingsrendement

ke_m kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per kg vermeden methaanemissie)

ke_n kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per m³ benut stortgas)

ke_a kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per ton gestort afval)

Voor alle systemen geldt dat hoe langer de exploitatieperiode van de stortplaats is, des te lager het integrale rendement wordt. Simultaan nemen ook de mogelijkheden voor stortgasbenutting af. Omdat de kosten voor het bronnensysteem niet beïnvloed wor-

den neemt ook de kosteneffectiviteit af.

De afname van het integrale rendement is het meest duidelijk voor die systemen, waar pas na de exploitatieperiode stortgas gewonnen kan worden. Wanneer men compartimentsgewijs stort en de bronnen aanlegt, is het integrale rendement relatief ongevoelig voor de duur van de exploitatieperiode.

6.5 Invloed van de geometrie van de stortplaats

De invloed van de dikte van het afvalpakket op het rendement en de kosteneffectiviteit van ontgassing staat weergegeven in tabel 6.5.

Tabel 6.5 De invloed van de dikte van het afvalpakket op het rendement en de kosteneffectiviteit van ontgassing

	$\eta_{i,w}$ (%)	$\eta_{i,n}$ (%)	ke_m (ct/kg)	ke_n (ct/m ³)	ke_a (ct/ton)
<i>verticale bronnen, achteraf</i>					
10 meter	39	22	0,90	0,67	18
20 meter	39	22	0,56	0,42	11
30 meter	39	22	0,45	0,33	9
<i>verticale opgetrokken bronnen, compartimentsgewijs</i>					
10 meter	55	32	0,50	0,34	12
20 meter	55	32	0,25	0,17	6
30 meter	55	32	0,17	0,11	4
<i>horizontaal winningssysteem, laagsgewijs</i>					
10 meter	41	23	0,97	0,73	19
20 meter	45	30	0,88	0,56	19
30 meter	50	31	0,79	0,54	19
<i>oppervlakte-ontgassing</i>					
10 meter	30	-	1,02	-	16
20 meter	30	-	0,51	-	8
30 meter	30	-	0,29	-	5

$\eta_{i,w}$ integraal winningsrendement (%)

$\eta_{i,n}$ integraal benuttingsrendement

ke_m kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per kg vermeden methaanemissie)

ke_n kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per m³ benut stortgas)

ke_a kosten van het bronnensysteem (kosten in cent per ton gestort afval)

De kosten van opgetrokken verticale bronnen en van oppervlakte-ontgassing zijn onafhankelijk van de dikte van het afvalpakket. De kosten van deze systemen per ton afval en dus per kg gewonnen methaan of per m^3 benut stortgas nemen evenredig af met een toenemende dikte van het afvalpakket.

De kosten van geboorde verticale bronnen zijn voor een deel afhankelijk van de dikte van het afvalpakket, met als gevolg een minder dan evenredig verband met de dikte van het afvalpakket.

De kosten van een horizontaal systeem zijn evenredig met de dikte van het afvalpakket. Als het afvalpakket dikker wordt, zijn meer lagen van het horizontale systeem nodig om het afvalpakket te ontgassen. Daardoor blijven de kosten van een horizontaal systeem per m^3 gestort afval constant. Omdat voor onttrekking van benutbaar stortgas een laag van ongeveer vier meter afval op het horizontale winningssysteem moet liggen, nemen de mogelijkheden voor stortgaswinning tijdens de exploitatie af. Als bijvoorbeeld de eindhoogte 10 meter is, en het leidingensysteem op zes meter wordt aangelegd, kan pas gas van voldoende kwaliteit onttrokken worden als de eindhoogte is bereikt. Omgekeerd nemen de mogelijkheden voor stortgaswinning tijdens de exploitatie relatief toe bij een dikker afvalpakket.

6.6 Discussie en conclusies

In de voorgaande paragrafen zijn de rendementen en de kosten van een aantal systemen voor stortgaswinning besproken aan de hand van berekeningen aan een modelstortplaats. Voor deze berekeningen zijn een aantal aannames gedaan. Het is daarom niet aan te raden om deze gegevens te letterlijk te nemen. De uitgevoerde berekeningen zijn echter alleen uitgevoerd om de invloed van een aantal factoren en maatregelen op milieu-, energetische en kosteneffectiviteit van stortgasonttrekking te illustreren.

Achteraf installeren van het systeem voor stortgaswinning blijkt zeer ongunstig te zijn. Zowel het integraal rendement van winning, als de mogelijkheden voor stortgasbenutting zijn relatief laag, terwijl de systemen vrij kostbaar zijn.

Compartimentsgewijs storten en optrekken van verticale bronnen lijkt de beste techniek voor stortgaswinning. Dit systeem brengt relatief geringe kosten met zich mee, terwijl het rendement hoog is door de mogelijkheid van stortgaswinning tijdens de exploitatieperiode. De mogelijkheden voor benutting van het stortgas zijn zeer goed. Dit komt deels omdat veel stortgas gewonnen kan worden. Voor een ander deel komt dit doordat de 'piek' in de winningscurve verbreed wordt.

Indien laagsgewijs gestort wordt, kan men overgaan tot het ingraven van een horizontaal systeem. Tegenover een hoog winningsrendement en goede mogelijkheden voor stortgasbenutting staan hier relatief hoge kosten voor het systeem.

Voor verticale bronnen kan het rendement worden vergroot door:

- een hogere brondichtheid;
- beter of eerder afdichten.

Beide opties hebben effect op zowel op het integrale rendement van stortgaswinning als op de mogelijkheden voor benutting. Een bovenafdichting is zo duur (de investeringen bedragen vaak vele miljoenen guldens), dat in geen enkel geval een betere afdichting zal worden aangebracht omwille van het stortgasproject. Ook het eerder aanbrengen van zo'n bovenafdichting blijkt heel erg duur te zijn, als renteverlies door

het eerder doen van de investering voor de bovenafdichting ten laste van het stortgas-project wordt gerekend.

Het vergroten van de brondichtheid blijkt een veel goedkopere mogelijkheid te zijn voor het verbeteren van het integrale winningsrendement. De invloed van de brondichtheid op het winningsrendement blijkt groter te zijn indien de bronnen zich langer in een niet afgedicht afvalpakket bevinden. Dicht bebronneerde systemen zijn dus met name effectief indien de stortgaswinning al tijdens de exploitatie wordt aangebracht.

Achteraf geïnstalleerde systemen worden minder effectief als de duur van de exploitatie van de stortplaats langer wordt. Dit komt omdat dan uit relatief ouder afval gas gewonnen wordt. Het integrale rendement van systemen, welke tijdens de exploitatie wordt geïnstalleerd is minder gevoelig voor de duur van de exploitatieperiode.

De kosten van opgetrokken verticale bronnen en van oppervlakte-ontgassing blijken omgekeerd evenredig te zijn met de dikte van het afvalpakket. Deze systemen worden meer kosteneffectief indien het afvalpakket dikker wordt. De kosten van gegraven of geboorde verticale bronnen zijn deels afhankelijk van de dikte van het afvalpakket, terwijl de kosten voor een horizontaal systeem per ton afval constant blijven. Horizontale systemen worden dus concurrerend bij een ondiep afvalpakket of bij het ontgassing van ondiepe gedeelten van een afvalpakket (taluds).

De kosten van het bronnensysteem (niet van het winningssysteem) zijn voor alle systemen minder dan $f\ 0,01$ per m^3 stortgas. De marktwaarde van het stortgas bedraagt zo'n $f\ 0,02$ à $f\ 0,03$ per m^3 . De kosten per ton afval bedragen minder dan $f\ 0,50$ terwijl de totale kosten voor afvalverwerking enkele tientallen tot honderden guldens bedragen.

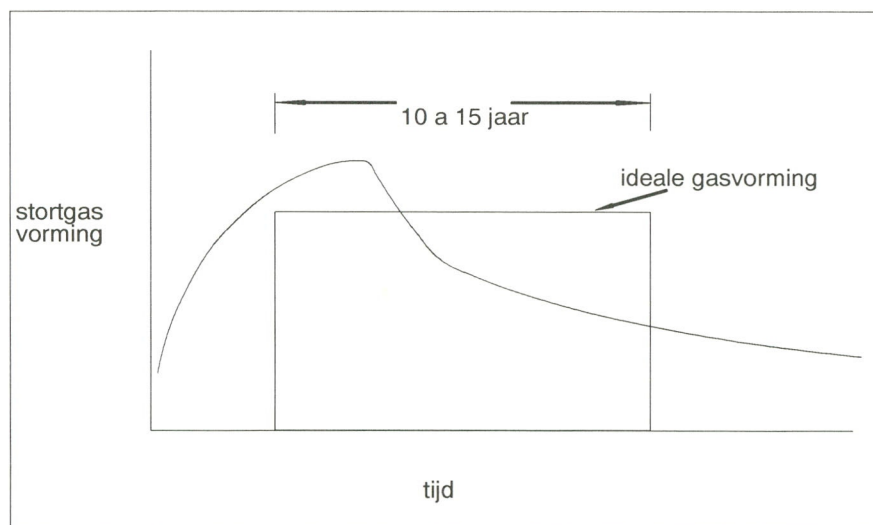
Zowel afgezet tegen de marktprijs van stortgas, als tegen de kostprijs van het storten als tegen gangbare kosten voor bestrijding van het broeikaseffect zijn de kosten voor een efficiënt bronnensysteem marginaal.

7 Beïnvloeden van de gasvorming

7.1 Inleiding

In de vorige hoofdstukken zijn een aantal aspecten van stortgaswinning en stortgaswinningssystemen aan de orde geweest. Hierbij is de stortgasvorming als een gegeven beschouwd. In de praktijk wordt de stortgasvorming beïnvloed door het afval, de wijze van storten en de bijkomende behandeling en door voorzieningen op de stortplaats. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op deze invloeden op de stortgasvorming. Enerzijds met als doel te kunnen voorspellen wat voor invloeden de praktijk van het storten heeft op de stortgasvorming, anderzijds wordt kort ingegaan op mogelijkheden om de stortgasvorming naar wens te sturen.

In hoofdstuk 2 werd de vorming van stortgas beschreven. De stortgasvorming neemt gedurende de exploitatieperiode, bereikt een maximum na sluiting van de stortplaats, waarna de stortgasvorming langzamerhand weer afneemt. Vanuit het oogpunt van stortgaswinning en benutting is dit niet de meest ideale vormingscurve. Voor deze toepassingen is het ideaal een curve waarbij al het stortgas in een relatief korte periode (ongeveer 15 jaar lang) op constante wijze gevormd wordt. In figuur 7.1 wordt het verschil in werkelijke en (nooit realiseerbare) ideale vorming weergegeven.



Figuur 7.1 Werkelijke en ideale stortgasvorming

De stortgasvorming wordt bepaald door een groot aantal kernfactoren, welke in de meeste gevallen niet direct te manipuleren zijn. De kernfactoren worden op hun beurt weer beïnvloed door een aantal invloedsparameters, welke wel van buitenaf beïnvloed kunnen worden. Zo wordt de stortgasvorming mede bepaald door de vochtgehalte van het afvalpakket (een kernfactor), welke op zijn beurt weer beïnvloed wordt door een reeks van invloedsparameters als de afvalsamenstelling, de aanwezigheid van een bovenafdichting, de stortmethode en de neerslag.

In dit hoofdstuk worden eerst een aantal kernfactoren besproken, waarna wordt ingegaan op het effect van een wijziging van zo'n kernfactor op de stortgasvorming en op de manier waarop een kernfactor weer wordt bepaald door een aantal invloedsparameters.

7.2 De kernfactoren

Van een groot aantal factoren is bekend, dat ze invloed hebben op de stortgasvorming:

- *De hoeveelheid organisch afval*; de verschillende fracties van het afval bevatten meer of minder biodegradeerbaar organisch materiaal. Zo bevat bijvoorbeeld bouw- en sloopafval nagenoeg geen organisch materiaal. Agrarisch afval of afval van veilingen kan weer een andere hoeveelheid BOC bevatten dan de restfractie na gescheiden GFT-inzameling. Tabel 7.1 geeft enkele kentallen van een aantal fracties uit het afval.

Tabel 7.1 Gehalte aan biodegradeerbare organische componenten- (BOC-) van de verschillende afvalfracties [Bingemer, 1987]

Soort materiaal	% BOC in het materiaal	% in fractie in het afval	Bijdrage aan BOC-hoeveelheid
Papier en karton	40	18-42	7-17%
Textiel	40	2%	1%
Hout en stro	30	2-5%	1-2%
Tuinafval	17	12-18%	2-3%
Voedselafval	15	20-50%	3-8%
Totaal BOC in afval			14-31% BOC

- *De afbreekbaarheid*; de snelheid waarmee het afval wordt afgebroken is afhankelijk van onder meer het cellulose en vochtgehalte van het afval en de mate waarin het afval al is afgebroken (tengevolge van aërobe afbraak, of bijvoorbeeld 'gekookte' groente-afval). Onderscheid kan worden gemaakt tussen snel afbreekbaar, matig afbreekbaar en langzaam afbreekbaar afval. De snelheid van afbraak wordt gekarakteriseerd door de halfwaardetijd: de tijd, waarin de helft van het afval is omgezet. Snel afbreekbaar afval – het afval uit het groente en fruit afval – heeft een halfwaardetijd van ongeveer één tot drie jaar. Matig afbreekbaar afval – bijvoorbeeld tuinafval – heeft een halfwaardetijd van ongeveer 5 tot 10 jaar. Langzaam afbreekbaar afval – papier, textiel of hout – heeft een halfwaardetijd van ongeveer 15 tot 20 jaar [Hoeks, 1983].

Stortgaswinning met hoog rendement

- *Aanwezigheid van nutriënten*; de bacteriën, verantwoordelijk voor de stortgasvorming, leven bij de gratie van de aanwezigheid van een reeks aan elementen. Voor een gezonde bacteriekweek zijn onder andere koolstof, waterstof, stikstof, fosfor, kalium, natrium, magnesium, calcium en zwavel nodig. Over het algemeen zijn deze componenten in voldoende mate aanwezig in het huishoudelijk afval [Japan Environment Agency, 1990].
- *Aanwezigheid van inhibitoren*; zware metalen of andere toxische substanties kunnen de bacteriegroei remmen, en daarmee het ontstaan van stortgas vertragen [Pacey, 1986].
- *Temperatuur in het afvalpakket*; methaanvorming kan plaatsvinden door twee typen bacteriën. Thermofiele bacteriën werken bij temperaturen tussen 50 en 65 °C, mesofiele methanogene bacteriën werken optimaal bij temperaturen tussen de 30 en 37 °C en worden inactief als de temperatuur beneden de 15 °C daalt [Ehrig, 1987]. Door bacteriologische activiteit kan de temperatuur in het afvalpakket kort na het storten tot 50 °C worden verhoogd. Tijdens de methanogene fase zakt de temperatuur in enkele tientallen jaren tot een niveau van 25-30 °C.
- *De pH van het afvalpakket*; de methaanvorming verloopt optimaal in een neutraal milieu: bij pH-waarden tussen 6,8 en 8,5. Bij hogere en lagere zuurgraden neemt de bacteriologische activiteit snel af [Ehrig, 1986, Kinman, 1989]. Daling van de pH vindt plaats tijdens de verzuringsfase. Een hoge pH is zeer zeldzaam en kan worden veroorzaakt wanneer grote hoeveelheden basisch materiaal worden gestort.
- *De buffercapaciteit*; Naast de pH is ook de buffercapaciteit van het afval en percolaatwater van belang. Door bijvoorbeeld bicarbonaten wordt de pH in mindere mate beïnvloed door de vorming van zuren, hetgeen versnellend werkt op de stortgasvorming.
- *Het vochtgehalte van het afval*; vocht in het afvalpakket is een absolute voorwaarde voor het kunnen optreden van de methaanvorming. Bekend is dat gasemissies uit stortplaatsen in een droge regio 2 à 3 keer zo klein zijn als stortgasemissies in natte regio's [Thorneloe, 1990]. Water vormt het transportmedium waarin de methanogene bacteriën leven en waardoor voedingsstoffen en hydrolyseprodukten worden aangevoerd en afgevoerd. Vochtgehalten van meer dan 50% worden genoemd als een voorwaarde voor methaanvorming [Gendebien, 1992]. Echter als voldoende vocht aanwezig is, dan mag worden betwijfeld of toevoeging van nog meer water de stortgasvorming verder bevordert [Grontmij, 1993].
- *De waterdoorstroming*; Het rondstromen van water zorgt ervoor, dat bacteriën en nutriënten versneld door het afvalpakket worden gedistribueerd. Hierbij worden ook de droge delen van het afvalpakket bevochtigd, waardoor het organisch afval sneller en vollediger wordt afgebroken [Klink, 1982].
- *Dichtheid van het afvalpakket*; de stortgasvorming kan worden belemmerd indien het afval niet voldoende is gecompacteerd. In zo'n geval kan de omgevingslucht in het afvalpakket binnendringen, waardoor het anaërobe milieu wordt verstoord [Gendebien, 1992].

- *Deeltjesgrootte van het afval*; Door verkleining van de deeltjes wordt het oppervlak van het afval dat voor gasvorming beschikbaar is relatief groter. Daarnaast wordt de waterdoorstroming eenvoudiger en wordt de ontsluiting van het afval verbeterd. Het gevolg hiervan is, dat de stortgasvorming wordt versneld en de methanogene fase sneller wordt bereikt [Thorneloe, 1990, Gendebien, 1992, blz. 130].
- *De ontsluiting van het afval*; een belangrijk deel van het afval is onbereikbaar voor bacteriën uit andere delen van het afvalpakket. Dit komt bijvoorbeeld, doordat het afval is gestort in zakken. De ontsluiting van het afvalpakket is omgekeerd evenredig met de mate waarin migratie van bacteriën en nutriënten belemmerd wordt.
- *Homogeniteit van het afvalpakket*; de aanwezigheid van micro-organismen is essentieel voor de vorming van stortgas. De mobiliteit van de bacteriën en nutriënten is echter beperkt, zodat grote delen van het afvalpakket voor langere tijd buiten hun bereik kunnen blijven. Een goed homogeen afvalpakket heeft een homogene verdeling van bacteriën en voedingsstoffen tot gevolg.
- *Anaëroob milieu*; De methanogene bacteriën gedijen alleen onder anaërobe omstandigheden. Als een teveel aan zuurstof aanwezig is, dan sterven deze bacteriën af.

7.3 Opbouw van de gasvormingcurve

De hoeveelheid biodegradeerbare componenten in het afval bepaalt de hoeveelheid stortgas, welke potentieel gevormd kan worden. Andere factoren hebben weer invloed op de beschikbaarheid of bereikbaarheid van deze organische componenten voor de bacteriekweek en dus op de fractie BOC die uiteindelijk omgezet wordt. Weer andere factoren hebben invloed op de activiteit of op de homogeniteit van de bacteriekweek.

Een beïnvloeding van de stortgasvorming is niet éénduidig te definiëren. Vier verschillende aspecten moeten worden onderscheiden:

- beïnvloeding van de hoeveelheid grondstof voor stortgas, de fractie biodegradeerbare componenten in het materiaal. Dit wordt geheel bepaald door de afvalsamenstelling;
- beïnvloeding van de vormingsfactor; de fractie van het BOC die in de loop van de tijd wordt omgezet;
- beïnvloeding van de snelheid waarmee het stortgas wordt gevormd: de schaalverdeling op de x-as van figuur 2.2. Dit wordt bepaald door de activiteit van de bacteriekweek;
- beïnvloeding van de toe- en afname van de vormingssnelheid. Dit wordt bepaald door het soort organisch materiaal en door de homogeniteit van de bacteriekweek.

De *vormingsfactor* en de *hoeveelheid BOC* in het afval bepalen samen de absolute hoeveelheid gevormd stortgas. Wanneer deze toeneemt, zal ook de hoeveelheid winbaar stortgas toenemen en daarmee ook de hoeveelheid gewonnen stortgas. De hoeveelheid stortgas die niet gewonnen wordt – dus de emissies van stortgas – zal daarbij ook toenemen. Toename van de gevormde hoeveelheden stortgas heeft dus naast een verruiming van de winnings- en benuttingsmogelijkheden ook een grotere milieubelasting tot gevolg.

Stortgaswinning met hoog rendement

De *toe- en afname van de vormingssnelheid* bepaalt voor een belangrijk deel de mogelijkheden voor winning en benutting. De stortgasbenutting en in mindere mate de stortgaswinning hebben een min of meer vaststaande capaciteit. De gelijkmatigheid waarmee het stortgas vrijkomt is mede bepalend voor de mogelijkheden voor stortgaswinning en benutting.

De *snelheid waarmee het stortgas vrijkomt* is de vierde factor van belang. De stortgaswinning en -benutting zal op zijn vroegst ongeveer één jaar na het storten van het afval worden gerealiseerd. De hoeveelheden gas tijdens die periode kunnen niet gewonnen worden. Als de gasvorming snel verloopt gaan tijdens dat eerste jaar aanzienlijke hoeveelheden stortgas verloren, wat het integraal rendement niet ten goede komt. Als de vorming te langzaam is, dan zijn de mogelijkheden voor winning en benutting op de langere termijn niet optimaal.

In tabel 7.2 staat weergegeven welke effecten de hiervoor beschreven invloedsparameters kunnen hebben.

De hoeveelheid stortgas die niet gewonnen wordt – dus de emissie van stortgas – zal daarbij ook toenemen. Verwacht kan worden dat deze emissie sterker toeneemt dan de winning, zodat het winningsrendement (de verhouding winning - vorming) afneemt.

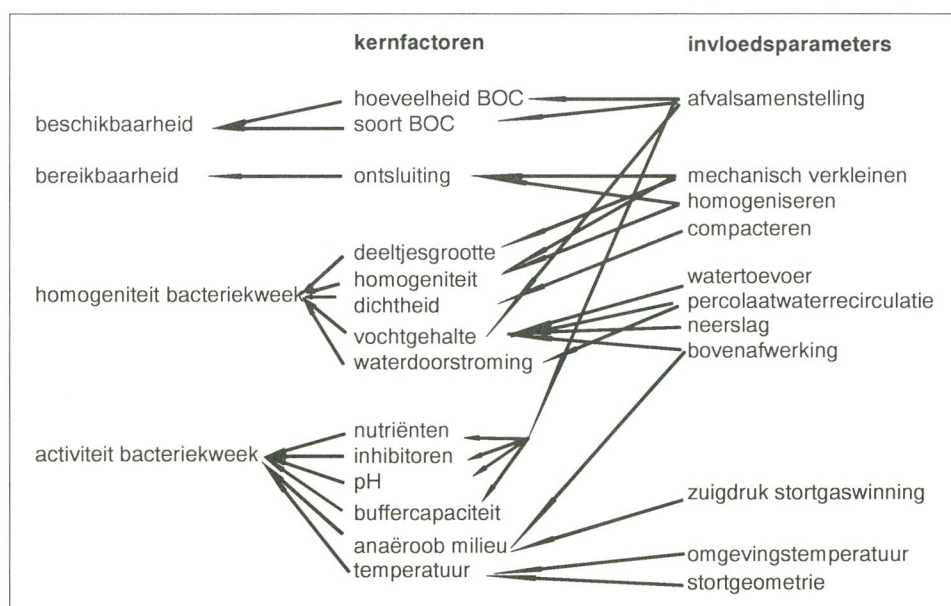
Tabel 7.2 Invloedsfactoren op de stortgasvorming

Parameter	Absolute hoeveelheid stortgas	Vormingsfactor	Vorm van de curve	Snelheid van vorming
BOC-gehalte	0			
Soort BOC			0	0
Nutriënten				0
Inhibitoren				0
Temperatuur				0
pH				0
Buffercapaciteit				0
Vochtgehalte		0		0
Waterdoorstroming			0	0
Dichtheid afvalpakket		0		0
Deeltjesgrootte		0		0
Mate van ontsluiting		0		
Geometrie stort		0		0
Anaëroob milieu		0		

7.4 Invloedsparameters op de stortgasvorming

De meeste van de bovenbeschreven kernfactoren zijn niet direct te manipuleren, maar worden op hun beurt weer bepaald door een aantal andere invloedsparameters. Deze invloedsparameters zijn mogelijk wel te manipuleren tijdens de exploitatie van de stortplaats. Dit kan in een aantal gevallen worden gedaan met het oog op de stortgasvorming, maar zal vaker om andere redenen plaatsvinden. Zo wordt er gecompacteerd om een grotere hoeveelheid afval te kunnen bergen en wordt een bovenafdichting aangebracht om verontreiniging van bodem en grondwater door percolaat te voorkomen. Daarnaast bestaan nog een aantal invloedsparameters, waarop een stortplaatsexploitant zelf weinig of geen invloed kan uitoefenen, zoals de hoeveelheid neerslag, de omgevingstemperatuur en de samenstelling van het aangeboden afval.

Figuur 7.2 geeft weer op welke wijze de invloedsparameters via de kernfactoren de hoeveelheid en beschikbaarheid van het BOC en de homogeniteit en kwaliteit van de bacteriekweek bepalen.



Figuur 7.2 Invloedsparameters en invloedsfactoren op de stortgasvorming

De afvalsamenstelling bepaalt de hoeveelheid en de soort van de organische componenten in het afvalpakket. Daarnaast is het afvalpakket de bron van nutriënten, inhibitoren en bepaalt ze mede de pH en het vochtgehalte in het afvalpakket. Daarmee is samenstelling van het afval een allesoverheersende parameter voor de stortgasvorming. Voor een individuele stortplaats is de afvalsamenstelling en de ontwikkeling van de afvalsamenstelling in de toekomst veelal een gegeven, waar niet veel invloed op uit te oefenen valt.

Mechanisch verkleinen van het afval heeft invloed op de homogeniteit en de deeltjesgrootte en de ontsluiting van het afval. Mechanisch verkleinen heeft een versnelling

Stortgaswinning met hoog rendement

van de stortgasvorming tot gevolg met daarnaast een toename van de absolute hoeveelheid gevormd stortgas.

Homogeniseren van het afval zorgt voor een betere verdeling van de bacteriekweek en versnelt dus de vorming van stortgas. Homogeniseren heeft nog een tweede voordeel: zettingen van het afvalpakket zullen wat meer gelijkmatig optreden.

Compacteren van het afval heeft invloed op de dichtheid van het afval en daarmee op de homogeniteit van de bacteriekweek.

Een nieuwe storttechniek betreft het persen van het afval in balen, welke vervolgens worden gestapeld. Door deze storttechniek ontstaan voorkeursstromen in het afvalpakket voor zowel het percolaatwater als het stortgas. Binnen in zo'n baal zal het afval relatief droog blijven en is het organisch materiaal niet meer goed bereikbaar voor methaanvormende bacteriën. Deze baalsgewijze stortmethode zal waarschijnlijk een afname van de snelheid en mogelijk een afname van de absolute hoeveelheid gevormd stortgas tot gevolg hebben.

Door *toevoer van water (of percolaat)* aan het afvalpakket neemt het vochtgehalte van het afval toe. Dit heeft zeker effect, indien het afval vrij droog is. Indien het afval al voldoende vocht bevat wordt het effect wat minder, alhoewel een vergrote doorstroming nog steeds versnellend kan werken. Water kan worden toegevoegd voor het storten – initieel bevochtigen van het afval – of na het storten. Voor dit laatste is een wijd vertakt leidingstelsel nodig, wat vrij duur kan uitvallen. Het toevoegen van water is vanuit het oogpunt van de waterhuishouding niet wenstelijk. Toevoer van water aan het afvalpakket betekent uiteindelijk meer percolaatwater, dus ook hogere reinigingskosten. Water in het afvalpakket kan de stortgaswinning ernstig belemmeren.

Door *percolaatwaterrecirculatie* wordt, behalve het methanogene water, ook de methanogene bacteriën in het afvalpakket verspreid. Bovendien wordt op deze wijze pH buffering bereikt. Door deze effecten kan de stortgasvorming sneller op gang komen. Van percolaatwaterrecirculatie kan een groter versnellend effect worden verwacht dan van het toevoeren van water. Door percolaatwaterrecirculatie kunnen bovendien zuiveringskosten worden uitgespaard. Nadelen van percolaatwaterrecirculatie is de vorming van voorkeurskanalen voor water en gas en de mogelijke hindering van de stortgaswinning.

Neerslag betekent toevoer van water op een zeer homogene wijze. Het effect op stortgaswinning is duidelijk beschreven. Zo wordt in de Verenigde Staten geconstateerd dat in droge regio's minder stortgas wordt gevormd dan in natte regio's. De bijdrage van de neerslag aan de totale vochtthuishouding is beperkt. Het jaarlijks neerslagoverschot is ongeveer gelijk aan een tiende van de hoeveelheid vocht, die initieel in het afval zit.

De *bovenafwerking* bepaalt, samen met de neerslag, de spontane infiltratie van water. Door de bovenafdichting verliest het afvalpakket langzamerhand zijn vocht. Bovendien zal de waterdoorstroming afnemen. Hierdoor kan de snelheid van de stortgasvorming afnemen. De bovenafdichting bepaalt ook hoeveel lucht bij stortgaswinning het afvalpakket wordt ingezogen. Een bovenafdichting draagt bij tot het in stand houden van het anaërobe milieu. De invloed van de bovenafdichting op het momentane rendement van stortgaswinning wordt in hoofdstuk 5 beschreven.

Door toename van de *zuigdruk van de stortgaswinning* wordt meer lucht in het afvalpakket gezogen, waardoor het anaërobe methanogene proces verstoord kan worden en de stortgasvorming in delen van het afvalpakket kan afnemen.

De *omgevingstemperatuur* bepaalt voor een beperkt deel de temperatuur in het afvalpakket. De bacteriologische processen in het afvalpakket vormen echter ook een warmtebron. Zeker in een jong afvalpakket kunnen hierdoor temperaturen ontstaan van ruim 50 °C. Na enkele jaren loopt de bacteriologische activiteit terug en daarmee ook de temperatuur in het afvalpakket. Deze afkoeling vindt weliswaar langzaam plaats, maar zet vrij snel in. In dit stadium wordt de omgevingstemperatuur belangrijker en kan ze invloed gaan uitoefenen op de stortgasvorming.

De *geometrie van de stortplaats* of de verhouding tussen oppervlak en volume van het afvalpakket bepalen de mate waarin de omgevingstemperatuur en de luchtinzuiging van invloed kunnen zijn op de vorming van stortgas.

De hierboven beschreven invloedsparameters bepalen via de kernfactoren de stortgasvorming, zoals hiervoor al schematisch is weergegeven in figuur 7.1. In tabel 7.3 staan de effecten van de invloedsparameters weergegeven.

Tabel 7.3 Invloedsparameters op de stortgasvorming

Parameter	Absolute hoeveelheid stortgas	Vormingsfactor	Vorm van de curve	Snelheid van vorming
Afvalsamenstelling	0		0	0
Mechanisch verkleinen		0	0	0
Homogeniseren			0	0
Compacteren		0	0	0
Watertoevoer			0	0
Percolaatwaterrecirculatie			0	0
Neerslag			0	0
Bovenafdichting			0	0
Bovenafwerking			0	0
Zuigdruk stortgaswinning				0
Omgevingstemperatuur				0
Stortgeometrie				0

7.5 Discussie

In de voorgaande paragrafen is besproken, op welke wijze de stortgasvorming wordt beïnvloed. In deze paragraaf wordt nagegaan hoe wenselijk de beïnvloeding is, zowel vanuit energetische als vanuit milieuoverwegingen en in hoeverre de stortgasvorming te sturen is.

De aandacht die de versnelling van de bacteriologische processen krijgt, is niet los te zien van de discussie omtrent de strategie van storten en de beperking van percolaat-

Stortgaswinning met hoog rendement

wateremissies op de middellange en lange termijn. Kan men het beste de processen in de stortplaats zoveel mogelijk stilleggen om daarmee de hoeveelheid en verontreinigingsgraad van het percolaatwater te minimaliseren, met het gevaar dat deze emissies op de langere termijn toch vrijkomen (conserveren). Of is het beter om de bacteriologische processen zoveel mogelijk te versnellen, zodat alle potentiële verontreinigingen zijn vrijgekomen in een tijdsbestek, welke te overzien is (stabiliseren) [Fred Lee, 1993]. In dit hoofdstuk is echter alleen ingegaan op de consequenties voor de gasvorming.

Bij de beïnvloeding van de stortgasvorming zijn een viertal deeleffecten te onderscheiden (hierna geformuleerd in de termen *meer* en *sneller*):

- toename van de hoeveelheid BOC in het afval;
- toename van de vormingsfactor;
- versnelling van de stortgasvorming;
- verandering van het verloop van de snelheid van stortgasvorming.

Wenselijkheid van beïnvloeding van de stortgasvorming

Een toename van de hoeveelheid BOC en een toename van de vormingsfactor veroorzaakt een toename van de hoeveelheid geproduceerd stortgas. Hiermee worden de mogelijkheden voor stortgaswinning en -benutting natuurlijk vergroot. Indien het rendement van stortgaswinning gelijk blijft (verhouding gewonnen/geproduceerd) betekent dit dat ook de emissie van stortgas toeneemt. Wanneer voor maatregelen wordt gekozen, welke de hoeveelheid gevormd stortgas vergroten, moeten de voordelen voor de stortgaswinning worden afgewogen tegen de nadelige effecten op het milieu.

Versnelling van de stortgasvorming, betekent, dat gedurende een eerste periode na het storten meer, terwijl na langere tijd minder stortgas gevormd wordt. Dit kan positieve en negatieve gevolgen hebben. Aan de ene kant neemt de hoeveelheid gevormd stortgas over een zekere periode toe, waardoor ook de mogelijkheden voor winning toenemen. Anderzijds is het technisch niet altijd mogelijk, om korte tijd na het storten van het afval al stortgas te winnen. Bovendien wordt de piek in de stortgasvorming verscherpt, hetgeen de benutting van het stortgas niet ten goede komt.

Verandering van het verloop van de snelheid van stortgasvorming is met name gunstig voor het stortgasproject, wanneer hierdoor de piek in produktie wordt afgezwakt, zonder dat de snelheid, waarmee het stortgas wordt gevormd teveel afneemt.

Mogelijkheden voor beïnvloeding van de stortgasvorming

In de paragrafen hiervoor staan een aantal invloedsparameters beschreven, welke de vorming van stortgas beïnvloeden. Nog afgezien van de vraag of deze maatregelen wenselijk zijn, zullen de meeste maatregelen nooit omwille van het stortgasproject worden doorgevoerd. De stortgasvorming, -emissie, -winning en -benutting speelt een veel minder grote rol in het beheer van een stortplaats dan bijvoorbeeld de percolaatwateremissie, de bodemverontreiniging, de mogelijkheden om zoveel mogelijk afval te kunnen bergen. De afvalsamenstelling, de allesoverheersende factor, is een autonoom gegeven. Eventueel is door huisvuilscheiding, compactering of verkleining van het afval een versnelling van gasvorming te realiseren, maar dit soort maatregelen worden vooral genomen om het stortvolume te verkleinen en dus meer afval op een stortplaats te kunnen bergen. Regulering van de waterhuishouding door het aanbrenge van een bovenafdichting of door keuze van een bepaalde stortmethode gebeurt om de percolaatwateremissie te reduceren. De hoogte van het afvalpakket wordt opgelegd door vergunningen; esthetische overwegingen zijn hierbij bepalend.

Stortgaswinning met hoog rendement

Alleen percolaatwaterrecirculatie en het vooraf bevochtigen van het afval kunnen worden beschouwd als maatregelen, specifiek gericht op het versnellen van de bacteriologische activiteit. Deze maatregelen moeten echter niet alleen beschouwd worden vanuit het oogpunt van stortgasvorming. Met name de percolaatwateremissies en het vraagstuk conserveren of stabiliseren horen een rol te spelen in de discussie rond deze maatregelen.

Concluderend

Er zijn een aantal zaken van invloed op de stortgasproductie. Hun exacte invloed is niet nauwkeurig bekend, maar kan alleen in kwalitatieve bewoordingen besproken worden. Daarbij is het niet duidelijk of de beïnvloeding wel wenselijk is. Naast vergroting van de mogelijkheden voor stortgaswinning is ook een toename van de stortgasemissies te verwachten. De meeste invloeden zijn autonoom: een stortplaatsbeheerder heeft er weinig invloed op, of de maatregelen worden genomen om andere redenen dan om het versnellen van de bacteriologische processen. De maatregelen, welke wel specifiek gericht zijn op het versnellen van die processen, hebben betrekking op de beheersing van de **vochthuishouding** in het afvalpakket. Toepassing van dit soort maatregelen moet worden overwogen vanuit het oogpunt van de algemene strategie van het storten: 'conserveren of stabiliseren'.

8 Discussie en conclusies

In dit rapport is beschreven, welke aspecten van invloed zijn op het rendement van stortgaswinning, hoe het rendement afhangt van het winningssysteem en op welke wijze het rendement kan worden vergroot.

Het rendementen van stortgaswinning kan op twee manieren worden gedefinieerd:

- het momentane rendement van stortgaswinning is het rendement op een bepaald tijdstip;
- het integrale rendement van stortgaswinning is het rendement betrokken over de levensduur van de stortplaats.

Voor het realiseren van een hoog integraal rendement is het noodzakelijk om al tijdens de exploitatieperiode van de stortplaats stortgas te kunnen onttrekken. De mogelijkheden hiervoor worden bepaald door het gekozen winningssysteem. Er bestaan 4 soorten winningssystemen:

- verticale systemen;
- horizontale systemen;
- gecombineerde systemen;
- oppervlakte-ontgassing.

Binnen een groep systemen zijn weer een aantal varianten te bedenken, welke zich onderscheiden in brondichtheid, tijdstip van installeren, methode van installeren etc.

Achteraf geïnstalleerde verticale bronnen en oppervlakte-ontgassing kunnen pas na sluiting van de stortplaats worden gerealiseerd. Deze systemen blijken dus een laag integraal rendement op te leveren. Bovendien zijn de mogelijkheden voor energiebenutting relatief slecht en zijn de systemen vrij duur.

Veel aantrekkelijker is het als tijdens de oprichting van de stortplaats al rekening wordt gehouden met de stortgaswinning. In zo'n geval kan men een compartimentsgewijze stortmethode combineren met het compartimentsgewijs installeren van verticale bronnen. Als deze bronnen worden opgetrokken tijdens de exploitatie van de stortplaats, wordt aanzienlijk op de kosten van het winningssysteem bespaard.

Indien men door vergunningen of stortgeometrie gebonden is aan een laagsgewijze stortmethode, dan bestaat door middel van een horizontaal winningssysteem de mogelijkheid om al tijdens de exploitatie van de stortplaats stortgas te onttrekken.

Horizontale systemen worden relatief goedkoper, wanneer ze worden toegepast bij lage pakkethoogten. Ook in de taluds kan met behulp van een horizontaal systeem op een efficiënte manier het stortgas onttrokken worden.

Gecombineerde systemen zijn gelijkwaardig aan verticale bronnen. Omdat bij gecombineerde systemen echter gebruik kan worden gemaakt van materialen, apparatuur en mankracht op de stortplaats aanwezig kan hiermee een verdere kostenbesparing worden gerealiseerd.

Wanneer het stortgas al tijdens de exploitatie van de stortplaats wordt gewonnen wordt de piek in de gaswinning verbreed. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om ook dit gas te benutten. Voor dit soort systemen loopt het energetisch rendement parallel

met het integraal rendement; voor 60-70% van het winbare gas kan een benuttings-optie worden gedefinieerd.

Wordt het systeem voor stortgaswinning pas na sluiting van de stortplaats geïnstalleerd, dan wordt het energetisch rendement dubbel beperkt: allereerst is het integrale rendement beperkt, waardoor de winbare hoeveelheden gas achterblijven. Ten tweede is de piek in de stortgaswinningscurve dermate scherp, dat hiervoor geen benuttings-optie kan worden gedefinieerd.

Een tweede mogelijkheid voor het vergroten van het integrale rendement is vergroten van het momentane rendement van stortgaswinning. Mogelijkheden hiervoor zijn:

- het voorkomen van migratie of emissie van stortgas;
- het vergroten van de invloedssfeer van het bronnensysteem.

Migratie of emissie van stortgas wordt voorkomen door het eerder aanbrengen van een bovenafdichting of het aanbrengen van een tijdelijke tussenafdichting. Doordat hierbij de investeringen op een eerder tijdstip moeten worden gedaan, verliest men rente-inkomsten. Eerder afdichten of het aanbrengen van een tussenafdichting blijkt een dure manier te zijn voor het verhogen van het rendement van stortgaswinning.

Het vergroten van de brondichtheid blijkt een veel kosteneffectievere methode te zijn om het rendement van stortgaswinning te vergroten. Deze maatregel is effectiever naarmate het afvalpakket minder goed wordt afgedicht of naarmate gedurende langere tijd zonder afdichting gas wordt onttrokken. Een grote brondichtheid is dus vooral van belang wanneer tijdens de exploitatie gas wordt onttrokken.

Indien het afvalpakket inhomogeen is, is het raadzaam te werken met meerdere kleinere bronnen.

De kosten van het winningssysteem per eenheid benutbaar stortgas zijn voor de meeste systemen van stortgaswinning lager dan de marktwaarde van stortgas; de kosten van het winningssysteem per vermeden eenheid broeikasgasemissies zijn gering ten opzichte van wat als acceptabel wordt gezien voor de bestrijding van broeikasgasemissies; de kosten voor het winningssysteem per eenheid gestort afval zijn bijna te verwaarlozen ten opzichte van de totale verwerkingskosten van het afval. Er lijken dus geen financiële noch technologische barrières te bestaan voor de installatie van een efficiënt systeem voor stortgaswinning.

Er kunnen een aantal factoren worden geïdentificeerd, welke van invloed zijn op de stortgasproductie. Enkele voorbeelden hiervan zijn de afvalsamenstelling, het vochtgehalte, de afvalbehandeling, de geometrie van de stortplaats en voorzieningen als een bovenafdichting. Het is echter niet goed duidelijk of deze beïnvloeding vanuit de praktijk van de stortgaswinning wel wenselijk is. Naast vergroting van de mogelijkheden voor stortgaswinning is in de meeste gevallen ook een toename van de stortgasemissies te verwachten. De meeste invloeden zijn autonoom: een stortplaatsbeheerder heeft er weinig invloed op, of de maatregelen worden genomen om andere redenen, dan om het versnellen van de bacteriologische processen.

De maatregelen, welke wel specifiek gericht zijn op het versnellen van die processen - zoals percolaatwaterrecirculatie - hebben betrekking op de beheersing van de vocht-huishouding in het afvalpakket. Die maatregelen zullen in de praktijk besproken worden vanuit de algemene strategie van het storten: 'conserveren of stabiliseren'.

9 Literatuur

Adviescentrum Stortgas,
persoonlijke mededeling, **1993a**.

Adviescentrum Stortgas,
Jaarverslag 1992, **1993**.

Adviescentrum Stortgas
Handleiding Stortgaswinning, **1994**

Amstel A. R., v., Swart R.J., Krol M.S., Beck J.P., Bouwman A.F. Hoek, K.W. v.d.,
Methane, The other greenhouse gas,
RIVM-Rapport, no: 481507001, **1993**.

Augenstein D., Pacey J.,
Modelling landfill methane production
3rd Int. Landfill Symposium, Sardinia, 14-18 oktober **1991**, blz. 115-148.

Bingemer H.G., Crutzen P.J.,
The production of methane from solid wastes,
J. of Geophysical Res., 92, **1987**, blz. 2181-2187.

Boll F.W., Doedens H., Hebbelmann H., Schlütter U., Weber B.,
Auswirkung der ativen Entgasung auf die Möglichkeiten der Rekultivierung von
Hochdeponien.
Müll und Abfall, **1988**(3), blz. 112-122.

Ehrig H.J.,
Untersuchungen zur Gasproduction aus Hausmüll,
Müll und Abfall, 5, **1986**, blz. 173-183.

Gendebien A., Pauwels M., Constant M., Ledrut-Damanet M.J., Nyns E.J.,
Willumsen H.C., Butson J., Fabry R., Ferrero G.L.,
Landfill gas, From environment to energy,
ISBN 92-826-3672-0, **1992**.

Grontmij,
persoonlijke mededeling, **1993**.

Haskoning,
persoonlijke mededeling, **1993**.

Hoeks J.,
Significance of biogas reduction in waste tips,
Waste Management and Research, 1, **1983**, blz. 323-325.

Japan Environment Agency,
Methane emissions and Opportunities for Control,
US-EPA September 1990, Chapter C.1.

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.

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.

Mot E., De Baar H.J.W., Bartelds H., Esser P.M., Huurdeman A.J.M., Laak P.J.A.
v.d., Michon S.G.L., Nielen R.,
Confining and abating CO₂ from fossil fuel burning - a feasible option?
TNO-Report 91-250, 1992.

Oonk J., Scheepers M.J.J., Takke J.W.,
Overzicht stortgasprojecten in Nederland, 1983-1991,
te verkrijgen bij het Adviescentrum Stortgas, 1993

Rettenberger G.,
*Untersuchung zur Entstehung, Ausbreitung und Ableitung von Zersetzungsgasen in
Abfallablagerungen.*
Forschungsbericht 103 02 207, UBA-FB 81-060, TExte des Umweltbundesamtes,
Berlin, 1982.

Scheepers M.J.J., Riphagen G.J.,
*Stortgaswinning en -benutting, Haalbaarheidsonderzoek kleine en middelgrote
vuilstortplaatsen*,
GASTEC, 1992.

Thorneloe S.A., Rebecca L.P.,
Landfill gas and the greenhouse effect,
EPA-Report 600/D-90/219, 1990.

US-EPA,
*Air emissions from municipal solid waste landfills, Background information for proposed
standards and guidelines*,
Rapport no: EPA 450/3-90-011a, March 1991.

US-EPA
Anthropogenic methane emissions in the United States
US-EPA report to congress, 1993.

10 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever
NOVEM B.V.
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Namen en functies van de medewerkers
Ir. J. Oonk

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
januari 1993 - september 1993

Ondertekening



Ir. J. Oonk
onderzoekleider

Goedgekeurd door



Ir. J.I. Walpot
werkgroep leider

Bijlage 1 Rendements- en kostenberekeningen voor een modelstortplaats

B1.1 Beschrijving van de modelstortplaats

Op de modelstortplaats wordt jaarlijks 250.000 ton aan afval gestort. De stortplaats blijft 10 jaar in exploitatie. De uiteindelijke pakkethoogte is 20 meter; het uiteindelijk oppervlak bedraagt 10 ha. Bij een compartimentsgewijze stortmethode zal jaarlijks 1.0 hectare worden volgestort.

B1.2 Aannames en berekeningsmethoden

— Berekening van de gasproductie

De gasproductie, E_t , na t jaren uit een zekere hoeveelheid afval, W , wordt beschreven door de volgende relatie:

$$E_t = W \cdot \sum_i \phi_i A_{0,i} k_{1,i} e^{-k_{1,i} t} \quad (\text{B.1})$$

waarvoor de parameters fractie (ϕ), het stortgaspotentieel (A_0) en de snelheidsconstante k_1 voor de verschillende fracties i in het afval zijn weergegeven in tabel B1.1.

Tabel B1.1 Aannames voor berekening van de stortgasproductie

	ϕ (kg/kg)	A_0 (m ³ /ton)	k_1 (1/jr)
snel afbreekbaar afval	0,3	140	0,3
matig afbreekbaar afval	0,4	160	0,08
langzaam afbreekbaar afval	0,3	200	0,03

— Momentaan rendement van verticale bronnen

Het rendement van een verticale bron is afhankelijk van een reeks van factoren, zoals: de zuigdruk op de bron, de diepte van een bron, de afstand tussen de bronnen, het afvalpakket ter plaatse, de bovenafwerking etc. Er is dan ook geen eenduidige uitspraak te doen over wat het rendement zal zijn van een verticale bron. In deze modelberekening wordt daarom het volgende aangenomen: de zuigdruk wordt zodanig ingesteld dat maximaal stortgas wordt onttrokken van voldoende kwaliteit. Als verband tussen brondichtheid en momentaan rendement wordt tabel B1.2, afgeleid uit [Doedens, 1988] aangehouden. Verder wordt aangenomen dat de bronnen in een driekante steek worden geïnstalleerd.

Tabel B1.2 Momentane rendementen voor verticale bronnen

Bronnendichtheid (bron/ha)	Actieradius (meter)	Rendement geen afwerking (%)	Rendement klei-afwerking (%)	Rendement afgedicht (%)
1	55	21	38	95
1,5	37	31	53	96
2	28	46	69	97
2,5	22	60	80	98
3	18	73	87	99

Het rendement van een stortplaats, voorzien van een tussenafwerking bevindt zich tussen het rendement geen afwerking en het rendement bij een klei-afwerking. In de berekeningen is een gemiddelde waarde aangenomen.

— *Integrale rendementen van verticale systemen*

Wanneer de momentane rendementen bekend zijn, kan het integrale rendement worden berekend, door de hoeveelheid gewonnen stortgas over de jaren heen te sommeren en te delen door de gevormde hoeveelheid stortgas. Aangenomen wordt, dat een half jaar, nadat de stortplaats op eindhoogte is gekomen, een verticaal systeem kan worden aangebracht. Dit betekent, dat het afval dan een gemiddelde ouderdom heeft van één jaar. Deze rendementsberekening is gebaseerd op de stortgasproductie en winning tot twintig jaar na sluiting van de stortplaats.

— *Momentsaan rendement van een horizontale winningssysteem*

Het rendement van een horizontaal winningssysteem wordt bepaald door de afstand tussen de lagen van het winningssysteem, de dikte van het afvalpakket bovenop het winningssysteem en door een eventuele afdichting.

De volgende waarden worden voor het momentane rendement:

Tabel B1.3 Momentane rendementen van een horizontaal systeem

Dikte afvalpakket	Rendement geen afwerking (%)	Rendement klei-afwerking (%)	Rendement afgedicht (%)
4	20	35	95
8	40	60	96
12	60	75	98
16	80	90	100

— *Integraal rendement van een horizontaal winningssysteem*

Wanneer een horizontaal winningssysteem wordt aangebracht in drie lagen, dan wordt aangenomen, dat de lagen worden geïnstalleerd op 4 meter, 10 meter en 16 meter hoogte. Nadat 4 meter afval op een laag horizontale buizen is gelegd, kan stortgas van voldoende kwaliteit worden onttrokken. De invloedssfeer in verticale richting is maximaal 4 meter.

Voor een laagsgewijze stortmethode betekent dit, dat na 4 jaar (het pakket is dan acht meter hoog) gas onttrokken kan worden uit het gehele pakket. In de jaren daarna, stijgt het momentane rendement van deze eerste laag langzaam maar zeker. Het deel van het afvalpakket, dat ontgast wordt blijft echter beperkt tot de onderste acht meter. Na 5 jaar wordt een tweede laag buizen geïnstalleerd, welke na 7 jaar afval kan ontgassen. Een derde laag horizontale buizen wordt geïnstalleerd na 8 jaar.

Voor een compartimentsgewijze stortmethode betekent dit, dat al vroeg in het jaar (na $4\frac{1}{2}$ maand) gas kan worden gewonnen uit de eerste laag afval, na 8 maanden uit de tweede laag en na 12 maanden uit de derde laag afval. Vergeleken met de compartimentsgewijze installatie van verticale bronnen wordt de stortgaswinning met ongeveer 10 maand vervroegd. Het leidingensysteem wordt afgedekt door een laag afval met een gemiddelde dikte van 10 meter. Voor het rendementen van het totale systeem worden gegevens voor een laag afval van 10 meter afgeleid uit tabel B1.3.

— *Energetische rendementen*

In hoofdstuk 3 is een definitie gegeven van het energetisch rendement: de hoeveelheid benut stortgas gedeeld door het stortgaspotentieel van het afval. Neemt men aan, dat alle biodegradeerbare organische componenten over de levensduur van de stortplaats gevormd worden, dan is het energetisch rendement gelijk aan de fractie benut stortgas ten opzichte van de fractie gevormd stortgas. In de praktijk wordt de stortgasbenutting gelimiteerd door:

- of de hoeveelheid winbaar stortgas,
- of capaciteit van de benuttingsinstallatie.

Economisch gezien is de eerste limitatie minder wenselijk; de benuttingsinstallatie draait dan sub-optimaal. In de praktijk wordt de capaciteit van de benuttingsinstallatie zodanig gekozen, dat men verzekerd is van voldoende stortgas over voldoende lange tijd. Voor het dimensioneren van de benuttingsinstallatie maakt men een prognose van de hoeveelheden winbaar stortgas in de tijd en kiest men de benuttingscapaciteit op basis van de verwachte hoeveelheid winbaar stortgas ongeveer 10 jaar na begin van het stortgasproject. (Vaak wordt nog een onzekerheidsmarge ingebouwd, deze marge wordt in deze paragraaf verder buiten beschouwing gelaten.)

In deze studie is voor iedere winningscurve een stortgasbenutting gedimensioneerd. Uitgegaan is van een parallelschakeling van gasmotoren, met een capaciteit van 2 miljoen m³ per jaar. De levensduur van een gasmotor is maximaal 15 jaar. Voor plaatsing van een gasmotor geldt, dat de motor minimaal 10 jaar voldoende gas aanwezig is.

— *Kosten voor onttrekkingssystemen*

In hoofdstuk 4 worden voor de verschillende systemen kosten gegeven voor de systemen. De kosten aangenomen in de modelberekening voor een stortplaats van 20 meter hoog zijn de volgende:

Tabel B1.4 Kosten van de winningssystemen

Verticale bronnen achteraf	vaste kosten	f 8.000,-	per bron
	variabele kosten	f 350,-	per bron per meter
Opgetrokken verticale bronnen,	vaste kosten	f 8.000,-	per bron
Horizontale systeem per laag		f	per ha.
Gasdrainage onder de bovenafdichting		f 20.000,-	per ha.

De diepte van de verticale bronnen bedraagt driekwart van de dikte van het afvalpakket.

— *Kosten voor het vervroegd aanbrengen van een bovenafdichting*

Een systeem voor bovenafdichting kost ongeveer f 100 per m². Uitgaande van een rentestand van 8%, kost het vervroegen van het aanbrengen van een systeem van bovenafdichting per ha ongeveer f 80.000,- aan renteverlies. Deze kosten worden voor een deel gecompenseerd door verminderde zuiveringslasten. Uitgaande van een neerslagoverschot van 300 mm jr⁻¹ en zuiveringslasten voor percolaatwater van f 15,- per m³ percolatiewater is deze besparing ongeveer f 50.000,-. De netto kosten van het vervroegd aanbrengen van een bovenafdichting zijn dan ongeveer f 30.000,- per hectare per jaar.