

Methaanreductie bij PDS locaties

Fase 2 potentiële aanvullende reductiemaatregelen

Stichting Duurzaam Storten

28 maart 2014
Definitief rapport
9Y3361



Barbarossastraat 35
Postbus 151
6500 AD Nijmegen
+31 24 328 42 84 Telefoon
info@rhdhvn.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoningdhv.com Internet
Amersfoort 56515154 KvK

Documenttitel Methaanreductie bij PDS locaties
Fase 2 potentiële aanvullende
reductiemaatregelen
Verkorte documenttitel Fase 2
Status Definitief rapport
Datum 28 maart 2014
Projectnaam Methaanreductie bij PDS locaties
Projectnummer 9Y3361
Opdrachtgever Stichting Duurzaam Storten
Referentie 9Y3361/R0004/402400/Nijm

Auteur(s) Hans Oonk, René Boerboom
Dennis Zegers
Vrijgegeven door Dennis Zegers
Datum/paraaf 28 maart 2014



MANAGEMENTSAMENVATTING

Inleiding

Bij de Tweede Kamerbehandeling van het Ontwerpbesluit Crisis- en Herstelwet over de experimentenparagraaf Duurzaam Stortbeheer heeft de Kamer de motie Van Veldhoven aangenomen (nr. 32127 van 16 februari 2012). De motie heeft betrekking op stortplaatsen die in aanmerking komen voor uitstel voor het aanbrengen van een bovenafdichting in het kader van het verduurzamen van de betreffende afvalpakketten (Introductie Duurzaam Stortbeheer). Dit was voor het ministerie van I&M mede aanleiding om onderzoek te doen naar aanvullende kosteneffectieve maatregelen om methaanemissies verder te reduceren. Dit onderzoek is vervolgens in meerdere fasen uitgevoerd. Dit rapport geeft de resultaten weer van de invulling van het onderzoeksvoorstel van I&M (zie bijlage 1 bij dit rapport).

Beantwoording onderzoeksvragen I&M

De onderzoeksvragen, als geformuleerd in het onderzoeksvoorstel van I&M, zijn nader beantwoord door onderzoek bij drie PDS-locaties¹. Deze locaties zijn in de eerste (separaat gerapporteerde; zie bijlage 2 bij dit rapport) fase van het onderzoek uit 19 stortplaatsen met potentie voor verduurzaming geselecteerd op basis van een bovengemiddelde stortgasvorming in vergelijking met de gemiddelde gasvorming op de PDS-locaties. De drie locaties zijn:

1. Noord- en Midden-Zeeland van Indaver;
2. De Wierde van OMRIN;
3. De Spinder van Attero.

Deelvraag 1. Hoe groot is de jaarlijkse methaanemissie per pilotlocatie, dan wel per (cluster van) stortvak(ken)?

De gemiddelde (gemiddeld over één locatie; per locatie kunnen emissies van plaats tot plaats verschillen) methaanemissie op de drie locaties bedraagt 0,6-0,7 l CH₄/m²/u (liter methaan per m² per uur). Bij volledige afdichting van de stortplaats worden de emissies tot nul gereduceerd. Wanneer uitstel van afdichting wordt verleend, zal de gemiddelde emissie in 2023 voor de drie locaties naar schatting 0,2- 0,3 l CH₄/m²/u bedragen. Voor de overige geïdentificeerde PDS-locaties gelden deze methaanemissies als een absoluut maximum, daar de selectie van de drie PDS-locaties heeft plaatsgevonden op basis van aangetoonde bovengemiddelde emissies.

Deze emissies bevinden zich aan de lage kant van de range van emissies van afgesloten stortplaatsen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het succes van het Nederlandse afvalbeleid. Dit effectieve beleid leidt tot relatief lage en verder afnemende methaanemissies in vergelijking met de situatie tot ongeveer tien jaar geleden.

¹ PDS locaties zijn potentiële duurzaam stortlocaties, welke voor uitstel van aanleg van een bovenafdichting in aanmerking komen.

Deelvraag 2. Welke maatregelen komen naast de genoemde oxidatielaag (uitvoerings)technisch in aanmerking voor effectieve methaanreductie?

Naast de in de Motie Van Veldhoven genoemde oxidatielaag, zijn een aantal andere maatregelen voor methaanemissiereductie geïdentificeerd en geëvalueerd. Dat is gebeurd op basis van de “Handreiking Methaanreductie Stortplaatsen” (Handreiking, Senternovem 2007), een vervolgstudie “Potentiële maatregelen voor de reductie van methaanemissies uit stortplaatsen” (Zegers en Boerboom, 2010), aangevuld met meer recente ontwikkelingen in het buitenland. De geselecteerde andere maatregelen zijn:

- Hot-spot remediation: het aanbrengen van methaanoxiderende lagen op vooraf geïdentificeerde plaatsen op de betreffende stortplaats met een bovengemiddelde methaanemissie (zogenaamde ‘hot-spots’).
- Brondichtheid vergroten: bestaande stortgasonttrekkingssystemen uitbreiden met meer onttrekkingsbronnen om zo het onttrekkingsrendement te vergroten; en dus de methaanemissie uit de stortplaats te reduceren,
- Affakelen van laagcalorisch stortgas: door het verbranden van laagcalorisch stortgas in een daarvoor geschikte fakkelaar, is extra methaan uit het stortlichaam te onttrekken, met een te lage kwaliteit voor effectieve benutting.
- Healthcheck van bestaande stortgasonttrekkingssystemen: optimaliseren van bestaande systemen.
- Multiwell stortgasonttrekkingssysteem: een (tijdelijke) afdichting op het stortoppervlak, aangevuld met een verticaal gasdrainagesysteem.
- Taludontgassing: naast het bestaande ontgassingssysteem kan een apart systeem voor de ontgassing van taluds worden geïnstalleerd, met als doel het laagcalorisch stortgas op te vangen en verwerken.
- Bestaande benuttingsinstallaties aanpassen voor de verwerking van een lagere kwaliteit stortgas. Het idee is dat hiermee het onttrekkingsdebiet (en daarmee het onttrekkingsrendement) kan worden verhoogd, waardoor de methaanemissie vanuit de stortplaats afneemt.

Deelvraag 3. Wat is de effectiviteit van de oxidatielaag bij de optredende methaanemissie en van de overige in aanmerking komende maatregelen?

De effectiviteit van de maatregelen varieert van 2-10% voor maatregelen die betrekking hebben op optimalisering van de bestaande gaswinning tot 100% voor verdergaande maatregelen die betrekking hebben op andere afwerkingswijzen van het afvalpakket (zoals een oxidatielaag). Het werkelijke milieurendement van de maatregelen is daarbij onzeker. Hierbij spelen aspecten zoals emissies veroorzaakt tijdens het implementeren van een maatregel (bijvoorbeeld in geval van methaanoxiderende deklagen), of het negatieve effect van het suboptimaal inzetten van een benuttingsinstallatie (bijvoorbeeld bij het affakkelen van laagcalorisch stortgas) een rol. Deze aspecten zijn in deze studie niet meegenomen en dienen per geval locatie-specifiek te worden beoordeeld, bij het vaststellen van de effectiviteit van een maatregel.

Deelvraag 4. Wat zijn de totale kosten van de maatregelen uitgesplitst naar investeringskosten, kosten voor beheer en onderhoud en eventuele kosten bij ontmanteling na functie beëindiging?

Investeringskosten, operationele kosten en eventuele baten zijn in kaart gebracht en omgerekend naar jaarkosten. Deze jaarkosten variëren van ongeveer € 100 per hectare per jaar voor maatregelen met als doel de bestaande gaswinning te optimaliseren, tot ruim € 70.000 per hectare per jaar voor een oxidatielaag.

Deelvraag 5. Hoe dient met het begrip 'kosteneffectiviteit' te worden omgegaan en kan hiervoor worden aangesloten bij al bestaande uitwerkingen ervan?

De kosteneffectiviteit kan worden gebruikt om de kosten van de maatregel af te wegen tegen de milieubaten. De verhouding tussen kosten en effecten van een te nemen maatregel wordt daarbij getoetst aan een normwaarde. De normwaarde kan zijn gebaseerd op kosten en effecten van reeds gerealiseerde maatregelen, of van maatregelen die noodzakelijk zijn om een beleidsdoelstelling te realiseren. Toepassing van kosteneffectiviteit is bestaand beleid. In de Nederlandse emissierichtlijn Lucht (NeR) wordt kosteneffectiviteit een belangrijk element genoemd voor het overleg tussen het bevoegd gezag en het bedrijfsleven. Kosteneffectiviteit heeft daarom ook een plaats gekregen in de handreiking Methaanreductie Stortplaatsen van SenterNovem.

Het ontbreken van normen op het gebied van methaanemissies vanuit stortplaatsen, maakt het relatief lastig om het begrip kosteneffectiviteit direct te koppelen aan methaanemissiereducerende maatregelen.

Deelvraag 6. Bij welke verhouding tussen baten en kosten wordt een maatregel als kosteneffectief beoordeeld?

Een kosteneffectiviteit van emissiereductie van lager dan € 10-20 per ton CO₂-eq. kan als 'gunstig' worden beschouwd voor implementatie van aanvullende maatregelen op operationele stortplaatsen. Maatregelen met een kosteneffectiviteit tot € 25-30 per ton CO₂-eq. zijn te overwegen, voor zover dat past in het Nederlandse broeikasgasbeleid.

Resultaat integrale afweging

Uiteindelijk zijn voor de drie PDS-locaties maatregelen geselecteerd op basis van een integrale afweging. Daarbij is niet alleen gekeken naar kosteneffectiviteit en reductiepotentieel, maar ook naar bewezen zijn van de techniek, inpassing in huidige regelgeving, meetbaarheid, interactie met verduurzaming en andere milieuaspecten. De enige maatregelen die kosteneffectief zijn, bewezen zijn en verder geen problemen opleveren zijn de (i) health check (het optimaliseren van bestaande onttrekkingsystemen en benuttingsinstallaties), (ii) het affakkelen van laagcalorisch gas en (iii) onttrekken van een iets lagere gaskwaliteit.

Implementatie van potentiële maatregelen op de 3 PDS-locaties

Het effect van deze drie maatregelen is doorgerekend voor de drie PDS-locaties. Door locatie specifieke omstandigheden ontstaan tussen de drie locaties verschillen in kosteneffectiviteit en effectiviteit van maatregelen. De conclusies zijn echter vergelijkbaar: met behulp van deze maatregelen kan de verwachte extra emissie in de periode 2014-2023 (als gevolg van uitstel van afdichting) grotendeels of geheel teniet worden gedaan.

Verdergaande emissiereductie op De Spinder

Door nog meer aandacht te geven aan de onttrekking kan het onttrekkingsrendement nog met enkele procenten worden verhoogd. De gemiddelde methaanemissie van 2014 tot 2023 bedraagt 860 ton CH₄/j, indien er geen uitstel van afdichting wordt verkregen. Bij uitstel tot na 2023 stijgt dit tot gemiddeld 1.000 ton CH₄/j. In geval van de aanvullende maatregelen wordt dit weer verminderd tot 930 ton CH₄/j.

Voor de Spinder lijken de mogelijkheden voor reductie van emissies beperkt tot de health check en het onttrekken van een iets lagere kwaliteit stortgas. Op De Spinder wordt het gas benut door opwerking naar gaskwaliteit. Dat stelt strenge eisen aan de kwaliteit van het gas en vermindert de mogelijkheden voor verdere emissiereductie.

Verdergaande emissiereductie op Noord- en Midden-Zeeland

De gemiddelde jaarlijkse methaanemissie van 2014 tot 2023 bedraagt 470 ton CH₄/j, indien er geen uitstel van afdichting wordt verkregen. Bij uitstel tot na 2023, stijgt dit tot gemiddeld 610 ton CH₄/j. In geval van de aanvullende maatregelen, wordt dit weer verminderd tot 500 ton CH₄/j.

Verdergaande emissiereductie op De Wierde

De gemiddelde jaarlijkse methaanemissie van 2014 tot 2023 bedraagt 450 ton CH₄/j, indien er geen uitstel van afdichting wordt verkregen. Bij uitstel tot na 2023, stijgt dit tot gemiddeld 490 ton CH₄/j. In geval van de aanvullende maatregelen, wordt dit weer verminderd tot 390 ton CH₄/j.

Discussie en onzekerheden

De berekeningen in deze studie bevatten onzekerheden. Dat geldt voor de prognoses voor methaanvorming, winning, oxidatie en emissie, en ook voor de kosteneffectiviteit van de maatregelen. De conclusies van de studie geven daarom alleen een goede indicatie van mogelijke emissie reducerende maatregelen en de effectiviteit ervan.

In de eerder uitgevoerde studie door Ecofys (fase 1) is gewerkt met een 'veilig' scenario voor afdichting, waarbij is aangenomen dat het oppervlak van alle 19 PDS-locaties in 2013 zou worden afgedicht. Als dat wordt genuanceerd (zoals in deze studie is gedaan voor de drie stortplaatsen), dan worden aanzienlijk lagere extra methaanemissies geraamd als gevolg van uitstel van bovenafdichting. Het is goed mogelijk dat de werkelijke extra methaanemissies als gevolg van uitstel van afdichting voor alle negentien locaties 25 tot 50% bedragen van de door Ecofys geschatte extra emissies. De extra methaanemissies, zoals genoemd in de Ecofysstudie geven dan ook een behoorlijke overschatting van hetgeen naar verwachting werkelijk zal optreden.

In een breder kader bezien is het besparingspotentieel aan broeikasgasemissies bij de operationele stortplaatsen ofwel bij de IDS pilot- en PDS-locaties, in vergelijking met landbouw en wegtransport, zeer beperkt. Dit zeer beperkte besparingspotentieel zorgt voor een zeer gering effect van aanvullende maatregelen. Dit op zijn beurt zorgt voor een nog ongunstiger kosteneffectiviteit van aanvullende maatregelen per vermeden ton CO₂ eq.

Conclusies en aanbevelingen

Op basis van deze studie naar aanvullende methaanemissie reducerende maatregelen, lijkt de totale methaanemissie uit alle pilot- en PDS-locaties **ongeveer 0,12 Mton CO₂ eq. per jaar te bedragen. Dit komt overeen met ongeveer 0,07% van de totale Nederlandse broeikasgas emissie.**

Aanvullende emissiereducerende maatregelen zullen dus alleen (beperkt) effect hebben op deze fractie van de totale broeikasgas emissie: een fractie van 0,07%.

Maatregelen die als doel hebben om de bestaande stortgaswinning te optimaliseren kunnen kosteneffectief zijn, maar hebben slechts een klein effect op de methaanemissies. Andere maatregelen kunnen niet als kosteneffectief worden beschouwd om extra methaanemissies te voorkomen.

Om de effectiviteit en efficiëntie van bestaande stortgasonttrekkingsinstallaties beter te borgen, is het aan te bevelen om de resultaten van de studie, maar ook bijvoorbeeld ervaringen bij goed gemonitorde implementatie van maatregelen, breed te verspreiden onder beheerders van PDS-locaties. Met enige regelmaat terugkerende workshops voor kennisuitwisseling kunnen daarvoor een uitstekend middel zijn.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding en doelstelling	1
1.2	Deelvragen	1
1.3	Onderzoeksopzet	2
2	JAARLIJKSE METHAANEMISSIONS VAN DE PDS-LOCATIES	4
2.1	Selectie van PDS-locaties	4
2.2	Methaanvorming en emissies op De Spinder	4
2.3	Methaanvorming en emissies op Noord en Midden Zeeland	7
2.4	Methaanvorming en emissies op De Wierde	8
3	UITGANGSPUNTEN VOOR IDENTIFICATIE EN EVALUATIE VAN MAATREGELEN	10
3.1	Potentiële maatregelen voor reductie van methaanemissies	10
3.2	Uitwerking kosteneffectiviteit	11
3.2.1	Kosteneffectiviteit van maatregelen	12
3.2.2	Handelsprijs CO2 in het ETS	12
3.2.3	Evaluatie- Voorstel aanvaardbare kosteneffectiviteit	14
3.3	Metten van methaanemissies van stortplaatsen	15
4	POTENTIËLE MAATREGELEN	17
4.1	Methaanoxidatie in toplagen	17
4.2	Hot-spot remediation	21
4.1	Brondichtheid van het bestaande onttrekkingsstelsel vergroten	23
4.2	Affakkelen van laagcalorisch stortgas	24
4.3	Healthcheck: optimaliseren van bestaande onttrekkingsstelsels	25
4.4	Multriwell	27
4.5	Taludontgassing	28
4.6	Benuttingsinstallatie aanpassen voor verwerking van lagere kwaliteit stortgas	29
4.7	Tijdelijke afdichting van dunne folie aanbrengen op het stortoppervlak	30
5	IMPLEMENTATIE VAN MAATREGELEN OP DE 3 PDS-LOCATIES	32
5.1	Kosten, effecten en kosteneffectiviteit van de maatregelen	32
5.2	Integrale beoordeling van maatregelen	35
5.3	Effecten op de drie stortplaatsen	37
5.3.1	Verdergaande emissiereductie op De Spinder	37
5.3.2	Verdergaande emissiereductie op Noord- en Midden-Zeeland	38
5.3.3	Verdergaande emissiereductie op De Wierde	39
5.4	Discussie en onzekerheden	41
5.5	Methaanemissies uit stortplaatsen in een breder kader geplaatst	43
6	BEANTWOORDING DEELVRAGEN EN MEER INTEGRALE CONCLUSIE	45
6.1	Beantwoording van de deelvragen	45

6.2	Integrale conclusies	47
7	BRONVERMELDING	49

Bijlagen:

- Bijlage 1: Onderzoeksvraag van het Ministerie;
- Bijlage 2: Rapportage fase 1;
- Bijlage 3: Stuk over emissiemetingen.

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding en doelstelling

Bij de Tweede Kamerbehandeling van het Ontwerpbesluit Crisis- en Herstelwet over de experimentenparagraaf Duurzaam Stortbeheer heeft de Kamer een motie aangenomen (nr. 32127 van 16 februari 2012) die betrekking heeft op stortplaatsen die in aanmerking komen voor uitstel van het aanbrengen van een bovenafdichting in het kader van het verduurzamen van de betreffende afvalpakketten (Introductie Duurzaam Stortbeheer). Het betreft de volgende motietekst:

'Verzoekt de regering, in gesprekken met het bevoegd gezag en de exploitant erop aan te dringen dat zij onderzoeken met welke maatregelen, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van een oxidatielaag, extra methaanuitstoot kosteneffectief kan worden teruggebracht'.

De motie, die is ingediend door mevrouw Van Veldhoven van D66, is mede aanleiding geweest voor het ministerie van I&M om een onderzoeksvoorstel te formuleren naar aanvullende maatregelen die op basis van kosteneffectiviteit kunnen worden genomen om extra methaanemissies te reduceren.

In het eerder genoemde onderzoeksvoorstel worden zes vragen gesteld waarop een antwoord gewenst is. De deelvragen zijn in paragraaf 1.2 gegeven.

Door middel van een voorafgaande inventarisatie (OonKAY!, 2013, Bijlage 2)² is een selectie gemaakt van drie PDS-locaties (potentiele duurzaam stortlocaties), welke voor uitstel van aanleg van een bovenafdichting in aanmerking komen en die op basis van een onderlinge vergelijking en een vergelijking met de eerder uitgevoerde Ecofys-studie een bovengemiddelde stortgasvorming hebben ten opzichte van de andere bekeken locaties.

De geselecteerde locaties zijn:

1. Noord- en Midden-Zeeland van Indaver;
2. De Wierde van OMRIN;
3. Spinder van Attero.

Het doel van het onderzoek is om te bepalen met welke maatregelen, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van een oxidatielaag, extra methaanuitstoot kosteneffectief kan worden teruggebracht.

1.2 Deelvragen

Het Ministerie wil als eerste antwoord op de vraag of er praktisch en uitvoeringstechnisch gezien mogelijkheden zijn om de methaanemissie bij bedoelde stortplaatsen (in belangrijke mate) te reduceren en vervolgens of dit op 'kosteneffectieve' wijze kan gebeuren en met welke maatregelen.

² Oonk H., Boerboom R., Luning L., (2013): Aanvullende maatregelen methaanemissies reductie IDS – fase 1, Oonkay!, Apeldoorn.

Om hierop antwoord te geven, zijn de volgende deelvragen van belang:

1. Hoe groot is de jaarlijkse methaanemissie per pilotlocatie, dan wel per (cluster van) stortvak(ken)?
2. Welke maatregelen komen naast de genoemde oxidatielaag (uitvoerings)technisch in aanmerking voor effectieve methaanreductie?
3. Wat is de effectiviteit van de oxidatielaag bij de optredende methaanemissie en van de overige in aanmerking komende maatregelen?
4. Wat zijn de totale kosten van de maatregelen uitgesplitst naar investeringskosten, kosten voor beheer en onderhoud en eventuele kosten bij ontmanteling na functie beëindiging?
5. Hoe dient met het begrip 'kosteneffectiviteit' te worden omgegaan en kan hiervoor worden aangesloten bij al bestaande uitwerkingen ervan?
6. Bij welke verhouding tussen baten en kosten wordt een maatregel als kosteneffectief beoordeeld?

In het onderzoeksvoorstel worden vervolgens nog richtlijnen gegeven voor de beantwoording van de deelvragen. Deze richtlijnen zijn relevant voor de opzet van dit onderzoek. Bijvoorbeeld bij deelvraag 2 is van belang in hoeverre de bestaande emissiereducerende maatregelen op de drie locaties voldoen aan de stand der techniek. Voor de eventuele aanvullende maatregelen dient te worden beoordeeld, of ze zich in de praktijk al bewezen hebben.

1.3 Onderzoeksopzet

De onderzoeksopzet is gericht op beantwoording van de deelvragen. Per deelvraag wordt hieronder kort de opzet beschreven.

Deelvraag 1

Hoe groot is de jaarlijkse methaanemissie per pilotlocatie, dan wel per (cluster van) stortvak(ken)?

Deze vraag is in een eerder stadium voor een deel al in een separate studie beantwoord. Deze studie staat kort samengevat in hoofdstuk 2 en wordt gerapporteerd in Bijlage 2. Voor de drie eerder genoemde PDS-locaties zijn vervolgens prognoses voor de ontwikkeling van de methaanvorming en -emissies gemaakt in de periode 2014-2023.

Deelvraag 2

Welke maatregelen komen naast de genoemde oxidatielaag (uitvoerings)technisch in aanmerking voor effectieve methaanreductie?

Voor de beantwoording van deze vraag wordt op basis van een schets van de bestaande emissie reducerende maatregelen beoordeeld of deze voldoen aan de stand der techniek. In tweede instantie wordt beoordeeld welke aanvullende maatregelen, die zich in de praktijk al hebben bewezen in het reduceren van de emissies, geschikt zouden zijn voor verdergaande emissiereductie. Hierbij wordt gebruik gemaakt van bestaande informatiebronnen. De belangrijkste informatiebronnen zijn:

- de Handreiking Methaanreductie Stortplaatsen (SenterNovem, 2007) en
- Potentiële maatregelen voor de reductie van methaanemissies uit stortplaatsen - Kansen en obstakels (Zegers en Boerboom, 2009).

De in deze documenten genoemde belangrijkste aanvullende maatregelen zijn:

- het bijplaatsen van gasonttrekkingsbronnen;
- emissiereductie in de taluds door middel van een separaat onttrekkingsstelsel;

- extra aandacht voor onttrekken tijdens exploitatie;
- onttrekken en verwerken van stortgas met lage kwaliteit, en
- het stimuleren van methaanoxidatie in de toplaag.

Daarnaast zijn er enkele recente ontwikkelingen die ook in de beschouwing van aanvullende maatregelen worden meegenomen. Het betreft ontwikkelingen zoals hot spot remediation, aanpassing van onttrekkingsystemen of het aanbrengen van een tijdelijke afdekking met dunne folies.

Deelvragen 3 en 4

3. *Wat is de effectiviteit van de oxidatielaag bij de optredende methaanemissie en van de overige in aanmerking komende maatregelen?*

4. *Wat zijn de totale kosten van de maatregelen uitgesplitst naar investeringskosten, kosten voor beheer en onderhoud en eventuele kosten bij ontmanteling na functie beëindiging?*

Voor de aanvullende maatregelen waarvan de functionaliteit bewezen wordt geacht, worden kostenindicaties opgesteld. Dit wordt gedaan conform de Handreiking Methaanreductie Stortplaatsen (SenterNovem, 2007). Hiermee wordt antwoord gegeven op de gecombineerde vraag van kosten en effectiviteit van de betreffende maatregelen.

Deelvraag 5

Hoe dient met het begrip 'kosteneffectiviteit' te worden omgegaan en kan hiervoor worden aangesloten bij al bestaande uitwerkingen ervan?

Bij kosteneffectiviteit gaat het niet alleen om het oordeel over de kosten van aanvullende maatregelen versus de effectiviteit ervan, maar over een beschouwing over het totaal aan baten en lasten. De kosten (voor investering, beheer, onderhoud en ontmanteling) en de hoeveelheid gereduceerde methaanemissie spelen daarbij weliswaar een belangrijke rol maar zijn niet alleen bepalend.

Voor de beantwoording van deelvraag 5 wordt nagegaan of voor het begrip 'kosteneffectiviteit' kan worden aangesloten bij het gestelde hierover in Bijlage 3 van het rapport Handreiking Methaanreductie Stortplaatsen.

Beantwoording deelvraag 6

Bij welke verhouding tussen baten en kosten wordt een maatregel als kosteneffectief beoordeeld?

Als laatste dient te worden beoordeeld of de aanvullende maatregelen, gelet op de te verwachten baten en de daarmee gepaard gaande lasten als kosteneffectief kunnen worden beschouwd. Vooralsnog wordt de Handreiking Methaanreductie Stortplaatsen, Bijlage 3 kosteneffectiviteit en voorbeeldberekeningen hiervoor als vertrekpunt genomen.

2 JAARLIJKSE METHAANEMISSIES VAN DE PDS-LOCATIES

2.1 Selectie van PDS-locaties

In fase 1 van deze studie (voor de volledige rapportage van fase 1, zie bijlage 2) zijn die PDS-locaties geïdentificeerd, waarvan de extra methaanemissies als gevolg van uitstel van de bovenafdichting als beperkt of marginaal kan worden aangemerkt. Voor deze PDS-locaties zijn de vervolgstappen doorlopen. Om deze vraag te beantwoorden, werd in het onderzoeksvoorstel van I&M voor elke uitstellocatie afzonderlijk de volgende procedure voorgesteld:

- In een eerdere studie door Ecofys (Luning en Oonk, 2011) zijn de extra methaanemissies als gevolg van het project Introductie Duurzaam Stortbeheer (IDS) gekwantificeerd. De extra methaanemissie werd door I&M als marginaal bestempeld. In fase 1 werd voor iedere uitstellocatie beschouwd welke inputvariabelen duiden op een significant andere stortgasvorming dan de gemiddelde inputvariabelen die gebruikt werden in de Ecofys studie.
- Indien alle locatie-specifieke inputvariabelen duiden op een gelijke en/of lagere stortgasvorming dan mag worden aangenomen dat de locatie een geringere methaanemissie veroorzaakt dan het gemiddelde beeld in de Ecofys studie. Daarmee kan de methaanemissie van de specifieke locatie ook als beperkt aangemerkt worden en hoeven de vervolgstappen niet te worden doorlopen.

Uiteindelijk is in fase 1 is gekozen voor het resterend methaanpotentieel BMP(t) als toetsingsparameter. BMP(t) is een combinatie van relevante parameters, die samen de resterende methaanvorming van het afvalpakket beschrijven: de afvalsamenstelling, -hoeveelheid en -ouderdom en anderzijds de geometrie van de stortplaats. Uitgangspunt voor de selectie van stortplaatsen voor de vervolgfase, was dat voor een specifieke uitstellocatie BMP(t) tenminste 50% hoger ligt dan BMP(t) van de groep van PDS-locaties uit de Ecofysstudie. Uiteindelijk leidde dit tot selectie van de volgende drie locaties:

1. Spinder in Tilburg en beheerd door Attero.
2. Noord- en Midden-Zeeland, te Borsele en beheerd door Indaver;
3. De Wierde, te Skarsterlân en beheerd door OMRIN;

De effectiviteit en kosteneffectiviteit bij toepassing van de geselecteerde maatregelen is uiteindelijk verkend voor de drie eerder genoemde PDS-locaties. In de rest van dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de locaties, en wordt de ontwikkeling van de methaanemissie gekwantificeerd, voor een scenario waarin de afdichting wordt aangelegd, conform de richtlijnen van het stortbesluit en voor een scenario waarbij uitstel wordt verkregen van aanleg van een bovenafdichting.

2.2 Methaanvorming en emissies op De Spinder

Beschrijving van de stortplaats

Stortplaats de Spinder, bij Tilburg wordt beheerd door Attero. De stortplaats omvat 3 gebieden, waarvan het eerste inmiddels is afgedicht. De gebieden 1, 2 en 3 omvatten samen 54 ha, waarop in de periode 1986-2011 ruim bijna 8 miljoen ton afval is gestort.

Niet het gehele afvalpakket van De Spinder is geschikt voor verduurzaming. Generiek wordt in een notitie van VA (2012) aangegeven onder welke voorwaarden afval geschikt is voor verduurzaming. Dit is gerelateerd aan het soort afval, de aanwezige bodembeschermende voorzieningen en de samenstelling van het percolaat. In de praktijk is ook de aanwezigheid van een bovenafdichting, conform stortbesluit een reden om niet over te gaan tot verduurzaming. Voor De Spinder is van de 54 ha, is 39 ha geschikt is voor verduurzaming en wordt uitstel van afdichting aangevraagd.

De onderafdichting van de te verduurzamen compartimenten is indertijd in een aantal fases aangelegd: 12,2 ha is aangelegd in 1978 en is naderhand voorzien van een tussenafdichting (in 1993) 12,6 ha is aangelegd in 1989; 9,5 ha is aangelegd in 1995 en 4,2 ha is aangelegd in 1997. Conform stortbesluit dient bovenafdichting alleen het deel, aangelegd in 1989 (12,6 ha) voor 2023 te worden voorzien van een bovenafdichting.

Op de Spinder wordt sinds 1987 stortgas onttrokken en benut. Voor benutting werd stortgas en het gas uit een vergister voor GFT gecombineerd en vervolgens opgewerkt tot aardgaskwaliteit. Voor opwerking tot aardgaskwaliteit dient stortgas te worden onttrokken met een hoog gehalte aan methaan (in de tijd oplopend van 54 naar 58 vol%)³. Gevolg daarvan is waarschijnlijk ook, dat het rendement voor gasonttrekking negatief wordt beïnvloedt. De gerealiseerde stortgaswinning is ongeveer 30% van de prognose voor stortgasvorming, berekend met het Ecofys-model (middelste scenario, Luning en Oonk, 2011). Doordat er momenteel geen afval meer wordt vergist, ligt benutting van het stortgas momenteel ook stil. Stortgas wordt daarom afgefakkeld. De hoeveelheid gas, die wordt afgefakkeld, wordt daarbij bepaald door de fakkelpaciteit. Het streven is om op korte termijn benutting van stortgas weer op gang te krijgen, waarbij opwerking van stortgas tot aardgaskwaliteit in de bestaande installatie, de meest kosteneffectieve benuttingsoptie lijkt.

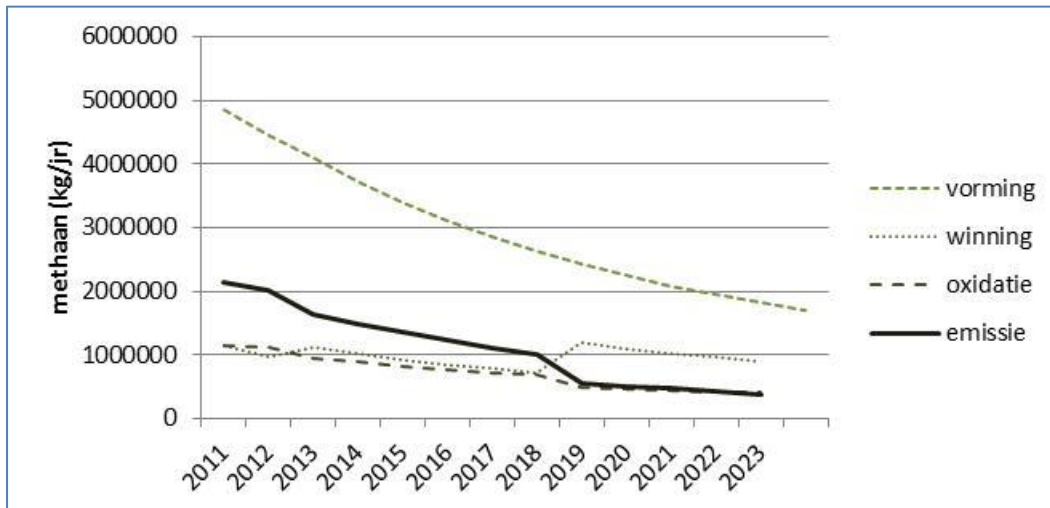
Methaanvorming en emissie zonder aanvullende maatregelen

De methaanvorming, -winning, -oxidatie en -emissie op De Spinder, wanneer geen uitstel wordt verleend van afdichting, is weergegeven in Figuur 1. Vorming en oxidatie zijn gekwantificeerd met het Ecofys-model (middelste scenario, Luning en Oonk, 2011). Stortgaswinning is afkomstig uit de reeks 'Afvalverwerking in Nederland', welke jaarlijks wordt gepubliceerd door SenterNovem/AgentschapNL en voor de Nederlandse stortplaatsen o.a. de gerealiseerde stortgaswinning vaststelt (beschikbaar voor de jaren 2004-2011), aangevuld met gegevens van de stortplaatsbeheerder. De prognose voor de ontwikkeling van de emissies in de periode 2013-2023 is gebaseerd op de aanname, dat de stortgasbenutting bij De Spinder weer op gang komt in 2014, waarbij een vergelijkbaar rendement wordt gerealiseerd als in de periode 2001-2010 (30% van de methaanvorming als berekend met het Ecofys-model). Verder wordt aangenomen dat de stortplaats in 2019 voor een derde deel (13 ha van de 39 ha) wordt afgedicht, waardoor het winningsrendement toeneemt van 30% naar 53%⁴.

³ Strikt genomen is een laag gehalte aan N₂ voorwaarde voor opwerking. Dit correleert echter met een hoog CH₄-gehalte.

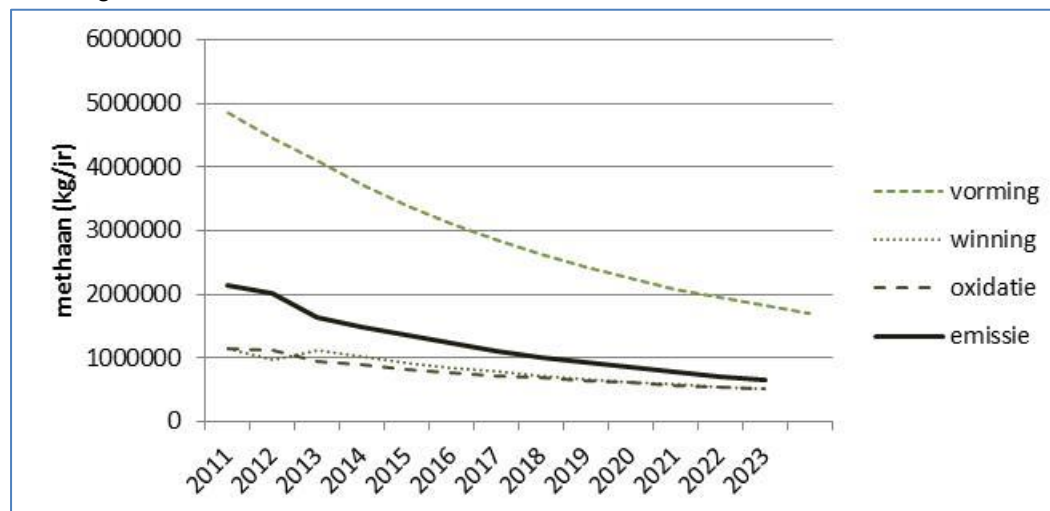
⁴ 30% winningsrendement betekent, dat 70% niet wordt onttrokken. Bij afdichting van een derde van het afvalpakket wordt aangenomen dat 70% aan methaanverlies met 1/3^e wordt gereduceerd.

Figuur 1: Methaanvorming, -winning en -emissie op stortplaats De Spinder, in geval van geen uitstel van afdichting.



Wanneer wel uitstel wordt verleend van afdichting, heeft dit consequenties voor winning en emissie van methaan na 2019, als geïllustreerd in Figuur 2.

Figuur 2: Methaanvorming, -winning en -emissie op stortplaats De Spinder, in geval van uitstel van afdichting tot na 2023.



De gemiddelde emissie op De Spinder is in 2013 gelijk aan 0,7 l methaan per m² per uur. In geval van afdichting neemt de gemiddelde emissie af naar 0,2 l methaan per m² per uur in 2023. Wanneer niet wordt afgedicht is de gemiddelde emissie in 2023 gelijk aan 0,3 l methaan per m² per uur.

2.3 Methaanvorming en emissies op Noord en Midden Zeeland

Beschrijving van de stortplaats

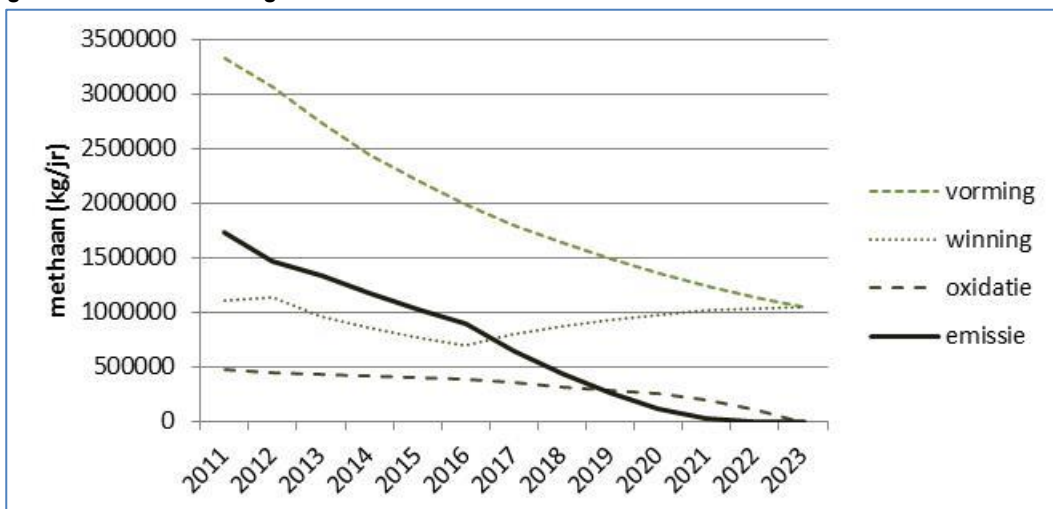
Stortplaats Noord en Midden-Zeeland, beheerd door Indaver, meet ruim 30 hectare. In totaal is in de periode 1985-2011 5,7 miljoen ton afval gestort, vooral huishoudelijk afval en daarmee vergelijkbaar bedrijfsafval. Het afval is verdeeld over 5 compartimenten. Compartiment 1 is deels voorzien van een tussenafdichting. Behoudens het afval onder de tussenafdichting, komt al het afval op Noord- en Midden-Zeeland in aanmerking voor verduurzaming. De onderafdichtingen zijn in de periode 1987-1997 gerealiseerd. Volgens opgave van de stortplaatsbeheerder en in geval geen uitstel van bovenafdichting wordt verkregen, wordt de stortplaats in de periode 2017-2023 geleidelijk aan volledig afgedicht.

In Noord en Midden-Zeeland wordt sinds 1990 stortgas onttrokken. Het winningsrendement bleef tot 2010 beperkt tot 25% van de totale methaanvorming, op basis van de prognose conform het Ecofys-model (Luning en Oonk, 2011). In de laatste jaren is echter een belangrijke verbetering gerealiseerd tot ruim 35% van de geprognoseerde methaanvorming. Het methaangehalte van het gewonnen gas neemt in de loop van de tijd wat af van 57% in 2006 tot 53% in 2011. Dit kan erop duiden, dat in de laatste jaren steeds meer moeite wordt gedaan om methaan terug te winnen.

Methaanvorming en emissie zonder aanvullende maatregelen

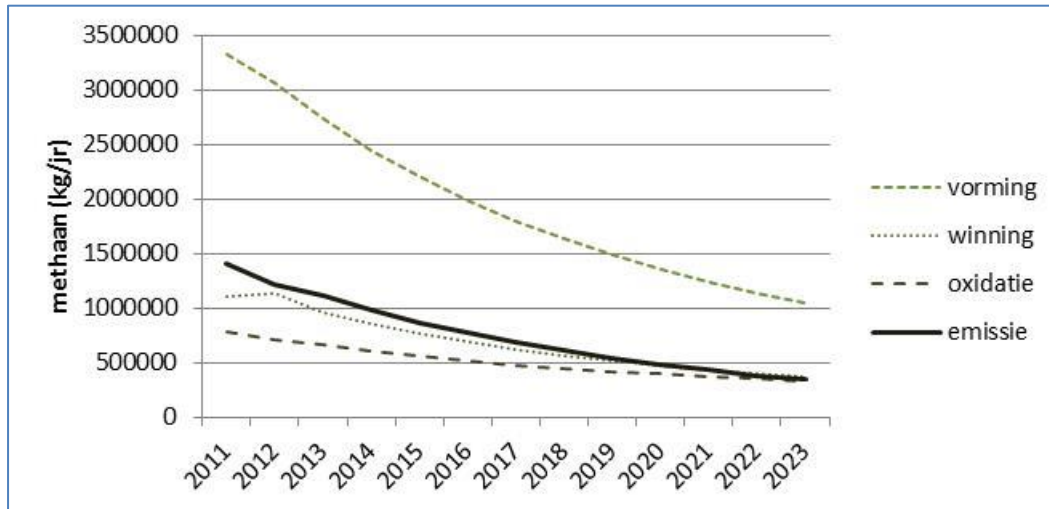
De methaanvorming, -winning, -oxidatie en -emissie op Noord en Midden Zeeland, wanneer geen uitstel wordt verleend van afdichting, is weergegeven in Figuur 3. De wijze van kwantificering is dezelfde als hierboven beschreven bij De Spinder. De prognose voor de ontwikkeling van de emissies in de periode 2013-2023 is gebaseerd op de aanname, dat de effectiviteit van stortgasbenutting na 2013 verder gelijk blijft. Verder wordt aangenomen dat de stortplaats in de periode 2017 tot 2023 geleidelijk aan wordt afgedicht, hetgeen resulteert in een graduele stijging van het rendement voor methaanwinning van 35% in 2016 tot 100% in 2023.

Figuur 3: Methaanvorming, -winning en -emissie op stortplaats Noord- en Midden Zeeland, in geval van geen uitstel van afdichting.



In geval van uitstel van afdichting, zullen de methaanemissies na 2017 verhoogd zijn, in vergelijking met de emissies in de bovenstaande Figuur 3.

Figuur 4: Methaanvorming, -winning en -emissie op stortplaats Noord en Midden-Zeeland, in geval van uitstel van afdichting tot na 2023.



De gemiddelde emissie op Noord en Midden-Zeeland is in 2013 gelijk aan 0,6 l methaan per m² per uur. In geval van afdichting neemt de gemiddelde emissie af naar nul in 2023. Wanneer niet wordt afgedicht is de gemiddelde emissie in 2023 gelijk aan 0,2 l methaan per m² per uur.

2.4 Methaanvorming en emissies op De Wierde

Beschrijving van de stortplaats

Op stortplaats De Wierde (beheerd door Omrin) is in de periode 1993-2011 4,5 miljoen ton afval gestort. In totaal is het afvalpakket een kleine 30 hectare groot, waarvan ruim 10 hectare is afgedicht, vooral op de taluds. In totaal komt nog 20 hectare in aanmerking voor verduurzaming. De onderafdichting is in fasen aangelegd, in de periode 1992-2004. Volgens opgaaf van de Omrin zal in 2022 worden begonnen met de afdichting.

Bij Omrin wordt stortgas onttrokken. De stortgaswinning, in vergelijking tot de prognose van de stortgasvorming (conform het Ecofys-model, Luning en Oonk, 2011) was in de periode 2004-2007 hoog (ruim 60%), maar sindsdien dalend tot 40% in 2012. Het methaangehalte van het gewonnen gas is al die tijd hoog (ruim 56 vol%). De daling van het rendement van de gerealiseerde gaswinning kan gevolg zijn van een niet nauwkeurige prognose⁵. Feit is wel dat de benuttingscapaciteit bij De Wierde, is gereduceerd van een geschatte 1100 m³ per uur (twee 1,1 MW gasmotoren) naar een geschatte 250-280 m³ per uur (een 350 kW gasmotor en een 450 kW ketel).

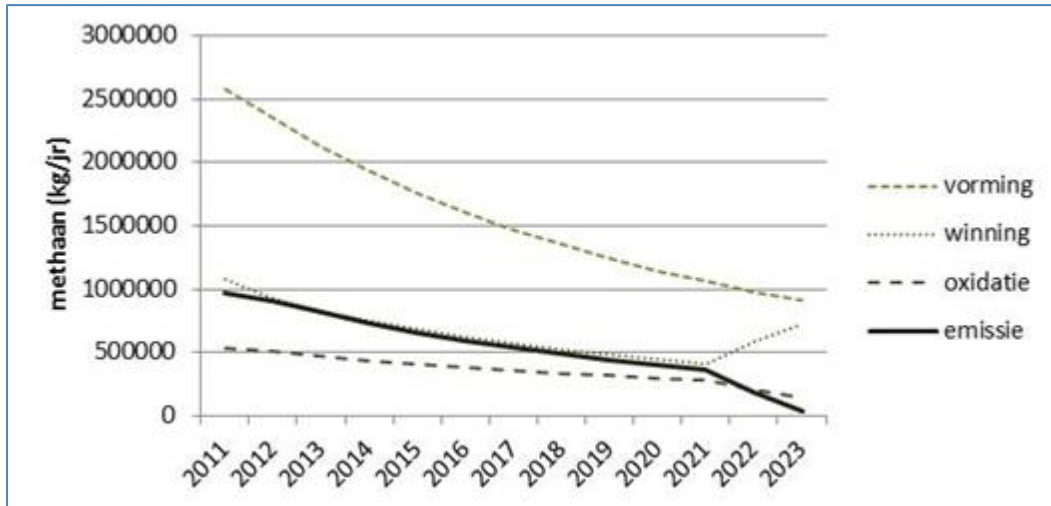
Methaanvorming en emissie zonder aanvullende maatregelen

De methaanvorming, -winning, -oxidatie en -emissie op De Wierde, wanneer geen uitstel wordt verleend van afdichting, is weergegeven in Figuur 5. De wijze van kwantificering is dezelfde als hierboven beschreven bij De Spinder. De prognose voor de ontwikkeling van de emissies in de periode 2013-2023 is gebaseerd op de aanname dat de effectiviteit van stortgasbenutting na 2013 constant op 40% blijft. Verder wordt aangenomen dat de stortplaats na 2022 geleidelijk aan wordt afgedicht, hetgeen

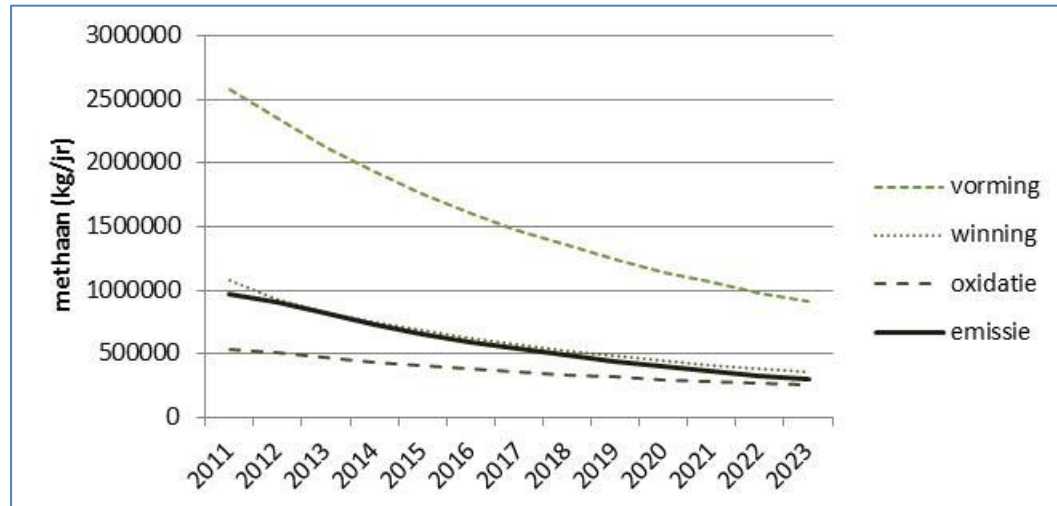
⁵ Wellicht is op De Wierde meer snel afbreekbaar materiaal gestort, dan volgens het model voorspeld. Gevolg hiervan is dat de gasvorming in de periode rond 2005 wat is onderschat (leidend tot een verhoogd winningsrendement en de gasvorming daarna is overschat (met als gevolg een verlaagd winningsrendement).

resulteert in een graduele stijging van het rendement voor methaanwinning van 60% in 2022 en 80% in 2023.

Figuur 5: Methaanvorming, -winning en -emissie op stortplaats De Wierde, in geval van geen uitstel van afdichting.



Figuur 6: Methaanvorming, -winning en -emissie op stortplaats De Wierde, in geval van uitstel van afdichting tot na 2023.



De gemiddelde emissie op De Wierde in 2013 gelijk aan 0,6 l methaan per m² per uur. In geval van afdichting neemt de gemiddelde emissie af naar nul in 2023. Wanneer niet wordt afgedicht is de gemiddelde emissie in 2023 gelijk aan 0,2 l methaan per m² per uur.

3 UITGANGSPUNTEN VOOR IDENTIFICATIE EN EVALUATIE VAN MAATREGELEN

3.1 Potentiële maatregelen voor reductie van methaanemissies

In het document “Handreiking Methaanreductie Stortplaatsen” zijn richtlijnen geformuleerd die ervoor moeten zorgen dat stortgaswinning en verwerking zijn ingericht conform de ‘beste beschikbare techniek’ (BBT; deze zijn het uitgangspunt in de Wet Milieubeheer, en vormen daarmee een ondergrens voor toe te passen technieken: minimaal BBT dus). Bestaande en nieuwe stortplaatsen met een verplichting tot onttrekking moeten tenminste aan de richtlijnen in de Handreiking voldoen.

Daarnaast gaat de Handreiking kort in op het beheer van de systemen, en biedt de Handreiking een aantal mogelijke aanvullende maatregelen:

- het bijplaatsen van gasonttrekkingsbronnen;
- emissiereductie in de taluds door middel van een separaat onttrekkingsstelsel;
- extra aandacht voor onttrekken tijdens exploitatie;
- onttrekken en verwerken van stortgas met lage kwaliteit, en
- het stimuleren van methaanoxidatie in de toplaag.

Toepassing van deze maatregelen in aanvulling op de BBT kan worden overwogen, als er duidelijke verbeteringen te verwachten zijn voor wat betreft emissiereductie, kosten, vermindering van overlast, schade en dergelijke.

In het rapport ‘Potentiële maatregelen voor de reductie van methaanemissies uit stortplaatsen - Kansen en obstakels’ (Zegers en Boerboom, 2009) zijn 18 potentiële maatregelen behandeld, waarvan vier maatregelen als meest doelmatig en effectief naar voren kwamen:

- affakkelen van laagcalorisch stortgas met een methaangehalte groter dan 30%;
- het vergroten van de brondichtheid van bestaande stortgasonttrekkingsstelsels;
- het vervroegd aanbrennen van de bovenafdekking conform het (huidige) stortbesluit;
- het intensiveren/optimaliseren van bestaande onttrekkings- en benuttingsinstallaties.

In het rapport wordt geconcludeerd dat verdergaande methaanemissiereducerende maatregelen op stortplaatsen die nog in exploitatie zijn doorgaans slechts marginaal effect hebben op de totale methaanemissie. Het werkelijke milieurendement van maatregelen blijft moeilijk te kwantificeren omdat de emissiebalans (emissies bij de uitvoering van maatregelen versus het beoogde emissiereducerende effect) een nauwkeurigheid in meetmethoden (monitoring) vereist, die veelal technisch niet voorhanden is (zie ook de volgende paragraaf). In enkele van de uitgevoerde berekeningen op hoofdlijnen overstijgen de investeringskosten en operationele kosten van verdergaande methaanemissiereducerende maatregelen de tarieven voor gereduceerde CO₂-equivalenten (toen meer dan €20 tot €25 per CO₂-equivalent).

Van de beschikbare stortgasverwerkingstechnieken leken moderne, innovatieve fakkeltechnieken het meest kansrijk voor verdergaande meetbare reductie van methaanemissies uit stortplaatsen. Andere verwerkingstechnieken voor (zeer) laagcalorisch stortgas kunnen in de toekomst voor methaanemissiereductie worden ingezet, wanneer meetmethoden, monitoringstechnieken en de (inter)nationale rapportageprotocollen voldoende nauwkeurigheid en interpretatiemogelijkheden bieden. De oxiderende afdeklaag, biofilters en RTO (Regenerative Thermal Oxidation) bieden tegen deze achtergrond het meeste perspectief. Locatiespecifieke aspecten zijn en blijven van doorslaggevend belang bij het selecteren, aanleggen en beheren van emissiereducerende maatregelen.

Het verhogen van de efficiency van bestaande stortgasonttrekkingsinstallaties kan snel een aanzienlijke verbetering van de methaanemissiereductie kan opleveren. Dit kan worden ondersteund door een zogenaamde health check van de installatie en inregeling van het onttrekkingssysteem uit te voeren (Zegers en Boerboom, 2010).

3.2 **Uitwerking kosteneffectiviteit**

De kosteneffectiviteit kan worden gebruikt om de kosten van de maatregel af te wegen tegen de milieubaten. Bij toetsing op kosteneffectiviteit worden zowel de milieueffecten als de kosten van een te nemen maatregel geschat, op basis van een voorlopig ontwerp. De verhouding tussen kosten en effecten (uitgedrukt in Euro's per eenheid vermeden emissie) kan worden getoetst aan een normwaarde. Deze normwaarde kan zijn gebaseerd op de kosteneffectiviteit van elders inmiddels al gerealiseerde maatregelen, of op de kosten van nog te nemen maatregelen, noodzakelijk om een beleidsdoelstelling te realiseren. De kosteneffectiviteit van een maatregel is gunstig, wanneer ze lager is dan de normwaarde. De kosteneffectiviteit is ongunstig als ze hoger is. Door implementeren van maatregelen met een gunstige kosteneffectiviteit en het weren van maatregelen met een ongunstige kosteneffectiviteit, wordt op nationaal niveau een maximaal effect bereikt, tegen minimale kosten. In de NeR (Nederlandse emissierichtlijn Lucht, hoofdstuk 2.11) wordt kosteneffectiviteit een belangrijk element genoemd voor het overleg tussen het bevoegd gezag en het bedrijfsleven. Ook bij beleid voor bestrijding broeikasgasemissies is kosteneffectiviteit een belangrijk thema (bijvoorbeeld Daniels et al., 2012).

Ook in de handreiking methaanreductie stortplaatsen (SenterNovem, 2007) wordt in bijlage 3 de mogelijkheid beschreven om in te schatten of kosten van maatregelen 'aanvaardbaar' zijn. Hiervoor wordt voor de maatregel de kosteneffectiviteit bepaald, waarmee emissies van broeikasgassen (uitgedrukt in CO₂-eq.) worden gereduceerd. Vervolgens wordt deze kosteneffectiviteit vergeleken met de kosteneffectiviteit van maatregelen voor CO₂-emissiereductie, die nodig zijn voor het realiseren van de beleidsdoelstellingen.

In de handreiking worden vervolgens wat voorbeelden gegeven van indicaties voor wat als aanvaardbaar wordt beschouwd voor emissiereductie van broeikasgasemissies. Conclusie in 2007 was dat op basis van de toen beschikbare informatie maatregelen met een kosteneffectiviteit van € 3-5 per ton CO₂-eq. als zinvol moeten worden beschouwd en maatregelen met een kosteneffectiviteit van 15-30 of hoger, als niet zinvol.

Deze evaluatie is inmiddels mogelijk wat gedateerd. Daarom is in deze studie opnieuw gekeken naar de maatschappelijke aanvaardbaarheid van kosten voor CO₂-emissiereductie op de middellange termijn (~10 jaar). Hierbij is net als in de handreiking gekeken naar de handelsprijs van CO₂ en de kosteneffectiviteit van maatregelen, nodig om beleidsdoelen te realiseren.

3.2.1 Kosteneffectiviteit van maatregelen

Voor 2020 heeft Nederland zich gecommitteerd aan een 20% emissiereductie ten opzichte van de emissies in 1990. Discussies over verdergaande emissiereductie op de langere termijn zijn momenteel gaande. PBL/SEO hebben recent een verkenning uitgevoerd om in 2050 een 50% emissiereductie te realiseren (Daniëls et al., 2012), maar meest waarschijnlijk zal eerst een doelstelling voor 2030 worden geformuleerd.

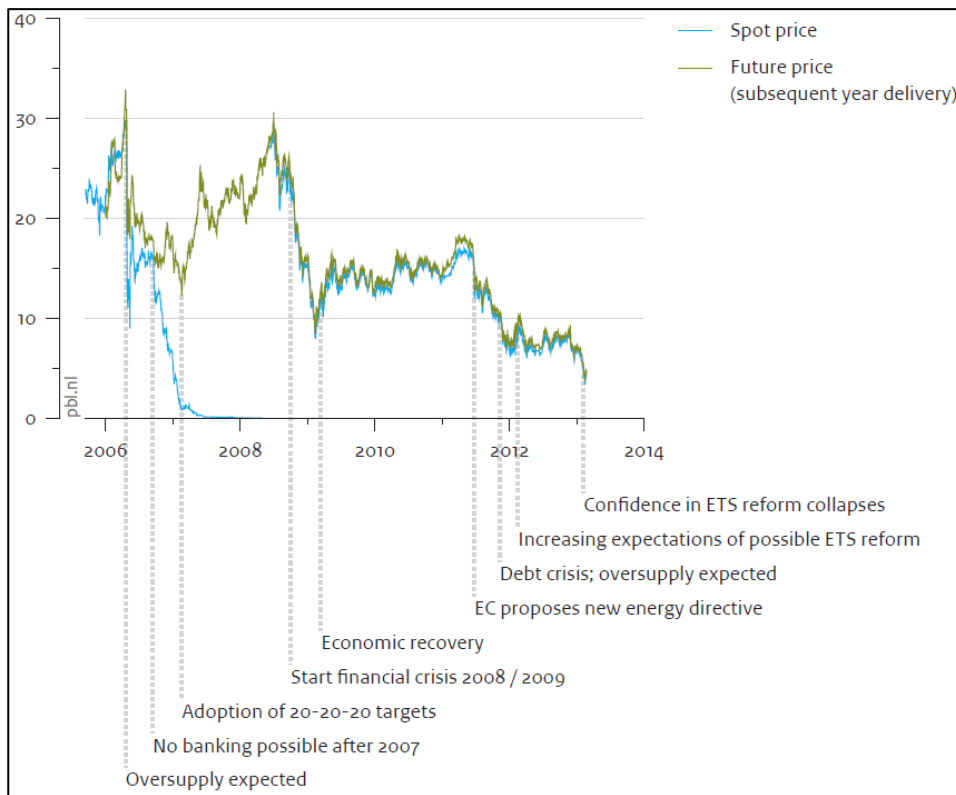
De doelstellingen worden vastgelegd op EU-niveau en ook maatregelen om de doelstellingen te realiseren worden steeds meer op dit niveau ingevuld (bijvoorbeeld emissies vallend onder ETS, zie ook de volgende paragrafen).

Gevolg hiervan is dat de mogelijkheden voor Nederland om eigen beleid te voeren afnemen. Dit is één van de redenen waarom beleid voor emissiereductie een meer sectoraal karakter krijgt. Hierbij worden niet meer alleen die maatregelen geïmplementeerd, die nationaal/Europees gezien het meest kosteneffectief zijn. In sommige sectoren is implementatie van maatregelen eenvoudiger dan in andere sectoren, door verschillende mogelijkheden voor stimulering, voorlichting of regelgeving. Hierdoor ontstaan aanzienlijke verschillen tussen sectoren. Een evaluatie van mogelijkheden en noodzaak van aanvullend beleid om in Nederland de doelstellingen voor 2020 te realiseren is in voorbereiding (Daniëls, 2013). Bij huishoudens en kleingebruikers zullen in 2020 de duurste maatregelen enkele honderden Euro's bedragen. In de industrie en de grootschalige energieopwekking (vallend onder het ETS) zullen de voorlopig alleen maatregelen worden genomen, die € 10-20 Euro per ton CO₂ kosten (Daniëls, 2013).

3.2.2 Handelsprijs CO₂ in het ETS

CO₂-emissierechten worden verhandeld in het Europees emissiehandelssysteem (ETS). Dit ETS is in het leven geroepen om de CO₂-emissies van de grootste emittenten (verantwoordelijk voor ongeveer de helft van CO₂-emissies binnen de EU) onder een bepaald plafond te houden. Dit plafond neemt in hoogte zodanig af, zodat in 2020 20% emissiereductie wordt gerealiseerd. Bij aanvang van ETS leek het systeem goed te werken, met een beginprijs van ruim € 20 per ton CO₂-eq. en verwachtingen voor de handelsprijs in 2020 van ongeveer € 30 per ton CO₂-eq. (EC, 2012a). Als gevolg van de economische crisis is echter de uitstoot van CO₂ zodanig verminderd, dat er geen sprake meer is van krapte op de markt voor emissierechten. Gevolg hiervan is dat de CO₂-prijs is gekelderd en momenteel (augustus 2013) ongeveer € 4 per ton CO₂-eq. bedraagt. De verwachtingsprijs voor 2020 wordt daarmee door volgers van de markt naar beneden bijgesteld (bijvoorbeeld overzicht in EU, 2012b; Point Carbon 2012) en wordt door de meesten momenteel ingeschat op zo'n € 10-16 per ton CO₂-eq.

Figuur 7: ontwikkeling CO₂-prijs 2006-2013 (in € per ton CO₂-eq.; Point Carbon, 2012).



Deze lage CO₂-prijs wordt algemeen als niet wenselijk gezien, want ETS is daardoor geen drijfveer meer voor daadwerkelijke implementatie van CO₂-reducerende maatregelen. Om die reden worden momenteel aanvullende maatregelen overwogen om de werking van ETS te verbeteren. 'Backloading' (tijdelijk uit de handel nemen van een deel van de emissierechten) is daarvan de meest belangrijke en lijkt momenteel aan politiek draagvlak te winnen. Nederland heeft formeel zijn steun uitgesproken voor backloading (I&M, 2013). Het gevolg van backloading is volgens de meeste experts vooral een stijging op de kortere termijn (rond 2015), waarna de CO₂-prijs weer afneemt tot het niveau zonder backloading.

Mogelijk blijven bedrijven binnen ETS door allerlei autonome ontwikkelingen (afname industriële productie binnen de EU, autonome implementatie van energiebesparende maatregelen) tot 2020 als geheel onder het emissieplafond, waardoor prijzen laag blijven.

Volgens een evaluatie van Point Carbon (2012b) zullen bedrijven pas op grote schaal maatregelen nemen en emissierechten verkopen bij gemiddeld € 29 per ton CO₂-eq. Ook in geval van backloading leidt ETS dus waarschijnlijk niet tot een substantiële aanvullende emissiereductie (Verdonk et al., 2013). Op zich dragen de deelnemende bedrijven daarmee keurig⁶ bij aan realisatie van de EU-doelstelling. Probleem is echter wel dat in andere sectoren veel duurdere maatregelen moeten worden getroffen om als geheel aan de doelstellingen te voldoen.

⁶ Ook dit staat ter discussie. Mogelijk vindt een deel van de CO₂-emissie die eerst onder ETS viel, nu plaats buiten ETS (Verdonk et al., 2013).

Dus als Nederland/als EU zijn we uiteindelijk veel duurder uit, als gevolg van het onvoldoende functioneren van ETS. Om die reden pleit PBL bijvoorbeeld voor een 'auction reserve price' van € 25 per ton CO₂-eq. binnen ETS (Verdonk et al., 2013).

Tabel 1: Samenvatting Indicatoren CO₂-prijs in ETS

	€/ton CO ₂ -eq.	Referentie
Startprijs en verwachtingsprijs in 2020 bij aanvang van ETS	25-30	
Huidige handelsprijs	4-5	
Verwachte prijs in 2020 zonder aanvullende maatregelen	10-16	EU, 2012b; Point Carbon 2012b.
Piekprijs ¹ in geval van backloading	15-25	EU, 2012b
Prijsniveau noodzakelijk om daadwerkelijk impact te hebben	25-30	Point Carbon (2012b), Verdonk et al. (2013)

¹ In voorspellingen van de CO₂-prijs in geval van backloading piekt de prijs veelal rond 2015, waarna de prijs langzamerhand weer afneemt, doordat tijdelijk onttrokken emissierechten weer worden teruggegeven aan de markt.

3.2.3 Evaluatie- Voorstel aanvaarbare kosteneffectiviteit

Volgens de handreiking methaanreductie stortplaatsen kunnen maatschappelijk aanvaarde kosten voor CO₂-emissiereductie worden ingeschat op basis van (i) de kosteneffectiviteit van maatregelen, noodzakelijk om beleidsdoelen te realiseren en (ii) de kosteneffectiviteit van maatregelen, die elders geaccepteerd zijn en bijvoorbeeld verhandeld worden in flexibele systemen als ETS.

Ad. (i): Bij bedrijven die onder ETS vallen zullen waarschijnlijk geen maatregelen worden geïmplementeerd die duurder zijn dan € 10-20 per ton CO₂-eq. Bij huishoudens en kleinverbruikers kunnen de duurste maatregelen enkele honderden € per ton CO₂-eq. bedragen. Er is dus geen sprake van een nationale aanpak waarbij de voor Nederland meest gunstige set van maatregelen wordt geïmplementeerd en een duidelijke bovengrens voor de kosteneffectiviteit is vast te stellen.

Ad. (ii): De huidige CO₂-prijs binnen ETS is geen goede indicatie. De huidige prijs is erg laag, doordat door autonome ontwikkelingen (o.a. economische crisis, waardoor emissies minder zijn dan verwacht) emissies binnen het ETS-plafond liggen. De verwachtingsprijs voor 2020 of de prijsontwikkeling in geval van backloading lijkt dan een betere indicatie. Bij aanvang van ETS was deze prijsverwachting bekend en gingen alle actoren impliciet akkoord met de verwachte prijsontwikkeling. En recent heeft Nederland formeel zijn steun uitgesproken voor backloading (I&M, 2013).

De afvalsector zelf heeft veel affiniteit met ETS en de prijs voor de CO₂-emissierechten binnen ETS. Dat heeft onder meer te maken met een steeds weer terugkomende discussie over mogelijke participatie van de afvalsector aan ETS. Daarnaast waren maatregelen voor methaanemissiereductie uit stortplaatsen in de periode 2008-2012 belangrijk onderdeel van 'Joint Implementation' en 'Clean Development Mechanism', twee andere handelssystemen voor CO₂-rechten. Dat betekent, dat prijzen voor emissiereductie van CO₂ van € 10-20 per ton CO₂-eq. voor de afvalsector acceptabel lijken.

Het is nog onduidelijk of aanvullende beleid nodig is om de CO₂-beleidsdoelstellingen voor 2020 te realiseren. Momenteel wordt een evaluatie uitgevoerd naar mogelijkheden en noodzaak voor aanvullend beleid in Nederland (Daniëls, 2013). In geval van aanvullend beleid voor bedrijven onder ETS, dan zal waarschijnlijk een stijging van de handelsprijs tot een niveau van € 25-30 nodig zijn om daadwerkelijk aanvullende maatregelen geïmplementeerd te krijgen. Voor een verdere methaanemissiereductie uit stortplaatsen is het onwaarschijnlijk, dat ze een substantiële bijdrage kan leveren aan eventueel aanvullend beleid. In de periode 1990-2010 heeft de sector namelijk al een forse bijdrage geleverd aan de in Nederland gerealiseerde emissiereductie van broeikasgassen, dus de meeste kosteneffectieve maatregelen zijn al genomen. Methaanemissies zijn gereduceerd van 12 Mton CO₂-eq. in 1990 naar 3,4 Mton in 2010. (Emissieregistratie, 2013). Voor 2020 wordt nog een verdere afname verwacht tot 2 Mton CO₂-eq. (Verdonk en Wetzels, 2013). Ook de resultaten van deze studie illustreren, dat het kosteneffectieve reductiepotentieel voor stortplaatsen beperkt is. Het is niet waarschijnlijk, dat aanvullend beleid voor bestrijding van broeikasgasemissies zal leiden tot implementatie van verdergaande maatregelen bij stortplaatsen.

Een kosteneffectiviteit van emissiereductie van lager dan € 10-20 per ton CO₂-eq. wordt op basis van bovenstaande als 'gunstig' aangemerkt. Maatregelen met een kosteneffectiviteit tot € 25-30 per ton CO₂-eq. zijn te overwegen wanneer vanuit het generieke broeikasgasbeleid in Nederland wenselijk is om nog aanvullende maatregelen voor methaanemissiereductie te implementeren op stortplaatsen.

3.3 Meten van methaanemissies van stortplaatsen

Het meten van methaanemissies uit een stortplaats is een meer generiek onderwerp, relevant voor een aantal van de in deze studie beschreven emissiereducerende maatregelen. Om die reden wordt een aparte paragraaf hieraan gewijd. Emissies kunnen worden gemeten:

- als onderdeel van de maatregel. Bijvoorbeeld in de voorbereiding van een maatregel om plaatsen te identificeren met een verhoogde methaanuittreding (bijvoorbeeld in geval van hot-spot remediation of het bijplaatsen van onttrekkingsbronnen) of bij het beheer van de maatregel (in geval van methaanoxidatie in een toplaag of bij evaluatie van de werking van het onttrekkingssysteem);
- om effecten van een maatregel vast te stellen. Dit is vooral relevant voor het al dan niet bewezen zijn van een maatregel.

Probleem bij het meten van emissies is, dat methaan niet homogeen door het oppervlak vrijkomt, maar vooral door zogenoemde hot-spots (kleine oppervlaktes, één tot enkele m² groot, waar een grote hoeveelheid methaan vrijkomt, bijvoorbeeld via scheuren in het oppervlak) of hot-area's (delen van het oppervlak, enkele tientallen m² groot, met verhoogde methaanemissies, bijvoorbeeld een deel van het afvalpakket, waar toevallig afval ligt waar veel methaan wordt geproduceerd en die net buiten het bereik van onttrekkingsbronnen valt).

Op de pilotlocatie voor methaanoxidatie in Wieringermeer is een verdeellaag aangebracht onder de toplaag, maar ook daar bleven emissies erg heterogeen. 80% van de emissies vond plaats op 15% van het oppervlak (Röwer et al., 2012). Op een reguliere, niet afgedekte stortplaats zal de emissie op nog meer heterogene wijze plaatsvinden. Hierbij zal een nog kleiner deel van het oppervlak voor een nog groter deel van de emissies zorgen.

Er is een aantal mogelijkheden voor het meten van methaanemissies. Een evaluatie van verschillende methoden wordt gegeven in Oonk (2010) en wordt samengevat in Bijlage 3. Inzicht in de verschillende meetmethoden kan van belang zijn voor begrip van het in het volgende hoofdstuk beschreven maatregelen.

Een ideale manier om methaanemissies te meten van stortplaatsen is, zoals uit bijlage 3 blijkt, nog niet voorhanden. De gekozen meetmethode hangt in belangrijke mate af van de precieze vraagstelling en situatie. Demonstraties van methaanoxidatie, bijvoorbeeld, vinden vaak plaats op proefvelden op een stortplaats. Daarbij zijn massabalans en pluimmeetmethoden niet toepasbaar. Voor identificeren van hotspots als onderdeel van een maatregel (bijvoorbeeld hot-spot remediation of verbeteren van het onttrekkingsrendement) kan een afvalpakket worden gescreend op hotspots.

4 POTENTIËLE MAATREGELEN

4.1 Methaanoxidatie in toplagen

Beschrijving van de maatregel

Een deel van het methaan, dat vanuit het afvalpakket naar de omgeving diffundeert, wordt biologisch omgezet in de toplaag van een afvalpakket. Deze methaanoxidatie in de toplaag is een veel beschreven proces (zie bijvoorbeeld de review door Scheutz et al., 2009). IPCC geeft een gestandaardiseerde waarde voor oxidatie van 10%. Deze waarde wordt ook gebruikt in de rapportage van Nederlandse methaanemissies aan UN-FCCC. De IPCC-standaard is echter een wereldwijd geldende default, waarbij bij ten tijde van vaststelling niet erg nauwkeurige meetgegevens beschikbaar waren om tot een beter onderbouwd getal te komen. De werkelijke oxidatie van methaan onder Nederlandse omstandigheden is waarschijnlijk hoger dan deze 10% en kan in de buurt van de 10-30% liggen voor operationele stortplaatsen en 20-40% voor gesloten stortplaatsen (Börjesson et al., 2007; Chanton et al., 2009; Oonk, 2010). In het methaanemissiemodel van Ecofys (Luning en Oonk, 2011) wordt om die reden ook gerekend met een wat hogere oxidatiecapaciteit, dan wat IPCC aangeeft. De methaanoxidatie in het Ecofysmodel bedraagt ongeveer 20-40% en is afhankelijk van de methaanflux: bij een hogere methaanflux is de oxidatie uitgedrukt in % omzetting wat lager.

Er bestaan mogelijkheden om methaanoxidatie te verbeteren. Hiervoor is wereldwijd de nodige R&D verricht en langzamerhand ontstaat er overeenstemming over ontwerp van een methaanoxiderende toplaag. Essentieel is een hoog-poreuze verdeellaag tussen het afvalpakket en de toplaag. Deze verdeellaag verdeelt het methaan homogeen over een zo groot mogelijk deel van de toplaag. Op basis van breed beschikbare praktijkervaringen is in Oostenrijk een richtlijn geformuleerd voor ontwerp en beheer van een toplaag (Huber-Humer et al., 2008). Ook in Duitsland is door een werkgroep van de federale overheid en overheden van deelstaten een richtlijn opgesteld voor methaanoxidatie (LAGA, 2011).

De effectiviteit van verbeterde methaanoxidatie hangt samen met de samenstelling van de toplaag. In de regel is methaanoxidatie niet goed mogelijk wanneer de toplaag te veel klei en/of leem bevat. De capaciteit om methaan om te zetten hangt verder af van allerlei parameters, als porositeit en poriegroottes, vochtbergend vermogen, pH, zout- en nutriëntengehalte van de toplaag. De effectiviteit van verbeterde methaanoxidatie verschilt van stortplaats tot stortplaats en mogelijk ook voor de verschillende delen van de stortplaats, wanneer de samenstelling van de toplaag verschilt. Om de voorspelbaarheid van de capaciteit van een toplaag te verbeteren is MOT ontwikkeld (Methane Oxidation Tool, Gebert et al., 2011). MOT voorspelt methaanoxidatie als functie van enkele fysische parameters van de toplaag: het watergehalte en de temperatuur. MOT is gevalideerd aan de hand van de gemeten methaanoxidatie in Wieringermeer en is in principe geschikt om toekomstige projecten voor methaanoxidatie te dimensioneren. Nadere validatie van MOT lijkt echter gewenst.

Veel van de aandacht voor methaanoxidatie was tot dusver op laboratoriumschaal (zie overzicht in Scheutz et al., 2009). Op laboratoriumschaal kan worden vastgesteld dat methaanoxidatie een potentiële maatregel is voor reductie van methaanemissies.

Laboratoriumproeven geven ook waardevolle informatie over effecten van bodemsamenstelling op methaanoxidatie. Overtuigend bewijs van de werking in de praktijk is vooralsnog achterwege gebleven. Het aantal proefnemingen op testveldschaal is nog beperkt. Bij proefvelden is het erg lastig om de resterende methaanemissies en het rendement van de laag te meten. Omdat proefnemingen tot dusver altijd werden uitgevoerd op een klein deel van een grotere stortplaats, kunnen massabalans- en pluimmeetmethoden niet worden toegepast. Metingen moeten bovendien op verschillende momenten gedurende het hele jaar te worden uitgevoerd. Methaan is namelijk afhankelijk van de temperatuur en het vochtgehalte van de toplaag en daarmee seizoenafhankelijk (Boeckx et al., 1996; Czepiel et al., 1996; Börjesson, 2007; Geck et al., 2013). Als de proefvelddemonstraties van methaanoxidatie (bijvoorbeeld Huber-Humer et al., 2004; Oonk et al., 2004; Bogner et al., 2005; Abichou et al., 2006) kritisch worden bekeken, dan komt men tot de conclusie, dat de meeste projecten te kleinschalig zijn uitgevoerd (vaak zijn de tests beperkt tot 25-100 m²) en/of onvoldoende intensief zijn bemeten (vaak werden slechts enkele boxmetingen uitgevoerd, wat volgens meer recente inzichten te weinig is voor een goede vaststelling van de effectiviteit, zie ook hoofdstuk 2.2). Gevolg is dat veel van de proefveldtesten van methaanoxidatie niet hebben geleid tot een overtuigend bewijs van de werking en het potentieel van methaanoxidatie.

Momenteel is een proef met methaanoxidatie gaande bij de stortplaats in Wieringermeer (zie bijvoorbeeld Geck et al., 2013) en dit lijkt wereldwijd de enige echt goed gemonitorde situatie op enige schaal⁷. Bij een belasting van het oppervlak van 2,5 l m⁻² hr⁻¹ werd voor de periode augustus-november een oxidatie van 60% gerealiseerd. In vervolprojecten lijken hogere rendementen echter wel degelijk haalbaar⁸.

Evaluatie van de maatregel

- *Bewezen zijn van de techniek:* Ondanks alle ervaringen met methaanoxidatie, bestaat er nog geen bewezen blauwdruk voor een effectieve, bedrijfszekere methaanoxiderende laag. Weliswaar is er de nodige ervaring opgedaan met ontwerp van een laag; een nieuw te realiseren systeem zal nog steeds het karakter hebben van een volgend prototype en zal nog gepaard moeten gaan met een significant R&D-inspanning om de effectiviteit te monitoren.

⁷ In Wieringermeer is een proefveld met een oppervlak van ongeveer 500 m², waarbij een bekende hoeveelheid methaan in de verdeellaag is geïnjecteerd. De resterende methaanemissies zijn maandelijks intensief gemeten met een aantal verschillende technieken, waarbij een groot deel van het oppervlak is bemonsterd met flux-boxen.

⁸ Wieringermeer kan niet voor 100% worden beschouwd als prototype voor een oxidatieproject, want de demonstratie betrof een combinatie van een methaanoxiderende laag en een maatregel om infiltratie van water te beperken (door middel van een capillaire barrière). Het rendement op Wieringermeer bleef namelijk beperkt door een onvolledige oxidatie in oktober en november. Met name in die maanden werd het rendement voor methaanoxidatie daarbij negatief beïnvloed door een capillaire barrière. Wanneer een methaanoxiderende laag wordt gerealiseerd zonder capillaire barrière lijken ook in de natte periode hogere rendementen mogelijk.

Belangrijke onderzoeksonderwerpen zijn (i) de benodigde dikte van de verdeellaag en de mogelijke toepassing van goedkopere materialen (bijvoorbeeld afvalstoffen) voor deze verdeellaag (ii) de methaanoxiderende capaciteit van de gebruikte specifieke grondsoort, voorspelbaarheid van de methaanoxiderende capaciteit met behulp van MOT en (iii) de noodzaak tot en invulling van het beheer inclusief de periodieke monitoring van de werkzaamheid van het systeem.

- *Relatie met wet- en regelgeving:* wanneer ten aanzien van het uitstellen van het aanbrengen van een definitieve bovenafdichting geen bezwaren bestaan, zijn er in het kader van wet- en regelgeving geen bezwaren tegen het aanbrengen en exploiteren van een methaanoxiderende toplaagconstructie.
- *Effecten op methaanemissie:* de effectiviteit van methaanoxidatie is afhankelijk van de soort toplaag. Voor zandige gronden lijkt de oxidatiecapaciteit in de ordegrootte van 1 tot 3 l m⁻² hr⁻¹ te bedragen, en in enkele gevallen meer. In Wieringermeer lijkt een methaanflux van 1,5 l m⁻² hr⁻¹ te kunnen worden geoxideerd. In de zomer lijkt de werkelijke capaciteit hier hoger te zijn; in de winter lijkt de combinatie met een capillair onderbrekende laag het rendement negatief te beïnvloeden. Huber-Humer (2008) geeft aan, dat methaanoxidatie van 2-4 l m⁻² hr⁻¹ realiseerbaar is. Deze claim is echter deels gebaseerd op laboratoriumonderzoek en deels op testvelden, die minder intensief zijn gemonitord, dan Wieringermeer.

Voor veel gesloten delen van stortplaatsen is deze oxidatiecapaciteit van 1-3 l m⁻² hr⁻¹ in dezelfde ordegrootte van de werkelijke methaanemissies. Oonk en Boom (1995) en later ook Scharff et al. (2004) hebben veel gemeten aan stortplaatsen in Nederland. Methaanemissies van operationele stortplaatsen bleken in de ordegrootte van 2-6 l m⁻² hr⁻¹ (één locatie uitgezonderd, waar een veel hogere emissie werd gemeten); Bij gesloten stortplaatsen waren emissies 0,2 tot 3 l m⁻² hr⁻¹. Hierbij moet nog worden opgemerkt, dat ten tijde van de metingen (zeker tijdens de metingen door Oonk en Boom, 1995) nog volop organisch materiaal werd gestort en ook de stortgaswinning nog niet conform huidige stand der techniek was. Gevolg hiervan is, is dat bij de huidige gesloten stortplaatsen methaanemissies met zekerheid lager zijn (N.B. voor de 3 PDS locaties zijn in hoofdstuk 2 emissies geschat op initieel 0,3-0,7 l m⁻² hr⁻¹ in 2013, afnemend tot 0,1-0,3 l m⁻² hr⁻¹ in 2024).

Voor de effectiviteit van methaanoxidatie is verder van belang, dat de omzetting wordt bepaald door het aanbod van methaan vanuit het afvalpakket. Er kan niet meer methaan worden omgezet, dan er daadwerkelijk wordt aangeboden. Op een stortplaats is de emissie door het oppervlak niet homogeen verdeeld. Op sommige compartimenten zal de emissie lager zijn, doordat bijvoorbeeld het afval ter plaatse ouder is. Daarnaast blijken bovenvlakken van stortplaatsen relatief minder te emitteren dan de taluds van stortplaatsen (bijvoorbeeld Börjesson et al., 2007).

Voor een gemiddeld effect over langere tijd (bijvoorbeeld een levensduur van een toplaag van 10 jaar) is een verdere complicatie, dat de flux in de loop van de tijd aanzienlijk kan afnemen (zie ook de prognoses voor de 3 PDS-locaties voor ontwikkeling van methaanvorming en emissies in hoofdstuk 2). Het gemiddelde effect (in kg vermeden methaanemissies) over de gehele werkingsduur van de toplaag zal daardoor lager zijn, dan de initiële werking bij aanvang van een project.

Tenslotte zal men voor bepaling van de effectiviteit van de toplaag, de waargenomen methaanoxidatie moeten corrigeren voor de spontane methaanoxidatie, die plaats had gevonden zonder aanvullende maatregel (10% volgens IPCC, maar in Nederland waarschijnlijk voor afgesloten delen van een stortplaats eerder in de orde grootte van 20-40 %).

Als men aanneemt, dat een toplaag gemiddeld $0,7$ à $2 \text{ l m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ ⁹ extra aan methaan kan verwijderen, gedurende een levensduur van 10 jaar (40 - 120 kg CH_4 in 10 jaar; $0,9$ - $2,6 \text{ ton CO}_2\text{-eq.}$) bij de kosten per m^2 als in tabel 1, dan bedraagt de kosteneffectiviteit € 20 - 60 per ton $\text{CO}_2\text{-eq.}$

Deze kosteneffectiviteit kan alleen worden gerealiseerd, wanneer een deel van een stortplaats gemiddeld over de levensduur verzekerd is van dit methaanaanbod.

Wanneer methaanoxidatie wordt toegepast op delen van een stortplaats, waar de emissies gemiddeld lager zijn dan de $0,7$ à $2 \text{ l m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$, dan zal de kosteneffectiviteit ongunstiger worden.

- *Meetbaarheid van het effect:* Methaanemissie van een volledige stortplaats lijkt het beste te kunnen worden bepaald door middel van pluimmeetmethoden. Deze geven methaanemissies van de gehele locatie en geven dus een geïntegreerd beeld van emissiereductie en methaanoxidatie van de gehele site. Een enkele meting is wel een forse inspanning. Voor een nauwkeurige kwantificering van jaargemiddelde emissies zijn bovendien meerdere metingen per jaar nodig. Al met al is een meting van het effect een onderzoeksprogramma met kosten van naar schatting 50 - 100.000 Euro. Voor de beoordeling van het effect is een nulmeting noodzakelijk, alsmede een beoordelingsmeting. Als het effect tegenvalt, geven pluimmetingen bovendien geen goede indicatie waar methaanoxidatie nadere optimalisatie behoeft. Daarvoor is dan weer aanvullend een FID screening noodzakelijk.
- *Interactie met verduurzamingsmaatregelen:* geen.
- *Aanlegkosten:* De geschatte aanlegkosten zijn weergegeven in onderstaande tabel. De investeringen zijn gebaseerd op de gerealiseerde kosten bij Wieringermeer, waarbij voor specifieke kostenposten de kosten per m^2 zijn gereduceerd, wanneer oxidatie op grotere schaal wordt toegepast. In afwijking van Wieringermeer is gerekend met een verdeellaag van 30 cm dikte, in plaats van 20 cm .

⁹ Uitgaand van een oxidatiecapaciteit van 1 - $3 \text{ l m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ en een spontane oxidatie van 30%

Tabel 8: Investeringskosten voor methaanoxidatie, afgeleid van Wieringermeer en mogelijke kosten van een 'low-cost' systeem (in € per m²).

	Extrapolatie Wieringermeer
Vorbereiding	2
Verdeellaag	35
Aanbrengen toplaag	12
Overige werkzaamheden en toezicht	4
	53

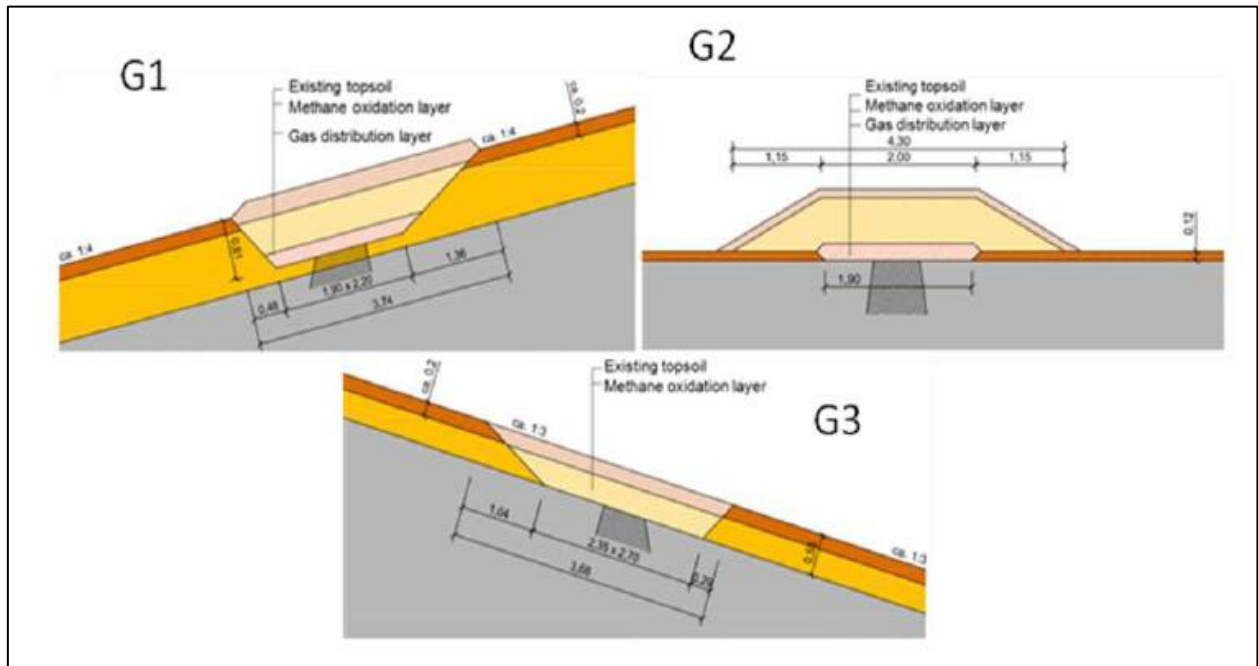
- Operationele kosten:** Beheer van een methaanoxiderende laag is relatief eenvoudig en beperkt zich tot onderhoud van de vegetatie bovenop de methaanoxiderende laag. Dat houdt in dat de vegetatie met enige regelmaat gemaaid dient te worden en eventueel in droge tijden van tijd tot tijd gesproeid. Controle van de werking kan gebeuren door het oppervlak te controleren op vegetatieschade (Oonk et al., 2004; Huber-Humer et al., 2008). Deze vormen van controle en beheer leiden niet of nauwelijks tot meerkosten ten opzichte van beheer van een normale toplaag. Conform de Oostenrijkse richtlijn voor methaanoxidatie (Huber-Humer et al., 2008) dient de laag daarnaast regelmatig te worden gecontroleerd op hotspots door het meten van methaanconcentraties boven het stortoppervlak. Hiervoor dienen in de eerste jaren tenminste twee keer per jaar meetronden te worden uitgevoerd. Wanneer de methaanoxiderende werking van de laag definitief is aangetoond, kan worden volstaan met meer extensieve metingen. De kosten voor deze metingen hangen af van de wijze van uitvoering. Een FID-scan volgens vooraf vastgesteld patroon kost snel enkele mandagen voor een locatie met een oppervlak van 10 ha. De kosten hiervan bedragen dan ongeveer € 0,10-€ 0,25 per m² hr⁻¹. Dat geeft een kwalitatief beeld van emissies. Als de emissie vervolgens kwantitatief dient te worden gemaakt, dan is hier een forse meetcampagne noodzakelijk.

4.2 Hot-spot remediation

Beschrijving van de maatregel

Hot spot remediation is een variant op verbeterde methaanoxidatie en is vooral geschikt als de meeste emissies van een stortplaats op een beperkt aantal plaatsen vrijkomen. Bij hot-spot remediation worden die plekken geïdentificeerd, waarna door middel van verbeterde methaanoxidatie emissies worden gereduceerd. Hiervoor wordt allereerst de grootte van de hotspot vastgesteld (in l CH₄ hr⁻¹) en de methaanoxiderende capaciteit van de toplaag bepaald (in l CH₄ m⁻² hr⁻¹). De verhouding van beide geeft het benodigde methaanoxiderend oppervlak voor de specifieke hotspot. Vervolgens wordt dat oppervlak aan verdeellaag aangelegd, met daarboven de methaanoxiderende toplaag. Dat kan op verschillende manieren (zie Figuur 9). De oxiderende laag kan worden geïntegreerd met de huidige toplaag, maar kan ook bovenop de huidige toplaag worden gelegd.

Figuur 9: Hot-spot remediation



Evaluatie van de maatregel

- *Bewezen zijn van de techniek:* maatregel is gedemonstreerd en uitgebreid gemonitord op één stortplaats in Duitsland. De onzekerheden in de maatregel zijn verder vergelijkbaar met de onzekerheden, beschreven bij methaanoxidatie. Vooral de toepassing van MOT voor inschatten van de methaanoxiderende capaciteit van de bodem heeft nog nadere validatie.
- *Relatie met wet- en regelgeving:* in het kader van wet- en regelgeving geen bezwaren tegen het aanbrengen en exploiteren van een methaanoxiderende toplaagconstructie.
- *Effecten op methaanemissie:* De effecten op methaanemissies zijn vergelijkbaar met de effecten bij methaanoxidatie en 1-3 l methaan per m² per uur.
- *Meetbaarheid van het effect:* de werking van de maatregel kan worden gecontroleerd door middel van FID- screening van het oppervlak. Dit levert een kwalitatieve beoordeling van de maatregel. Voor bepaling van emissies van de stortplaats is een meetprogramma nodig, van een aantal pluimmetingen per jaar. De kosten van een dergelijk meetprogramma bedragen 50.000-100.000 per meetprogramma.
- *Interactie zijn met verduurzamingsmaatregelen:* geen
- *Kosten van de maatregel:* Hot-spots remediation is toegepast op één stortplaats in Duitsland met een oppervlak van 1,5 ha. Daar zijn in totaal 20 hotspots geïdentificeerd en gerepareerd tegen kosten van € 18.000. Dit zijn kosten inclusief arbeidsloon van de onderzoekers voor reparatiewerkzaamheden, maar exclusief de kosten voor de meetcampagne ten behoeve van hotspot identificatie. De kosten per m² gerepareerde hotspot bleken daar hoog (~€ 500 per m²). Dat bedrag was zo hoog, omdat de stortplaats oud was, met nagenoeg verwaarloosbare stortgasemissies.

Als gevolg daarvan waren de arbeidskosten per m² veel hoger waren dan bij conventionele methaanoxidatie, waarbij grotere oppervlakten van een methaanoxiderende laag worden voorzien (zie vorige paragraaf).

Wanneer hot-spot remediation wordt uitgevoerd op een afvalpakket met hogere emissies, zal het te behandelen oppervlak toenemen en de kosten per m² behandeld

- oppervlak drastisch afnemen. De kosten per m² kunnen uiteindelijk de kosten voor methaanoxidatie benaderen, zoals ze hiervoor beschreven zijn.
- *Overige milieueffecten:* geen

4.1 Brondichtheid van het bestaande onttrekkingssysteem vergroten

Beschrijving van de maatregel

Vergroting van de brondichtheid is een maatregel die in de Handreiking methaanemissiereductie Stortplaatsen (SenterNovem, 2007) en het onderzoek naar potentiële maatregelen voor emissiereductie (Zegers en Boerboom, 2009) is genoemd. Het bijplaatsen van verticale bronnen vergroot de totale invloedssfeer van het onttrekkingssysteem, en kan worden toegepast als de gaswinning achterblijft bij de verwachtingen.

Op basis van een inschatting van de extra gasopbrengsten is een afweging te maken tegen welke prijs extra bronnen op een stortplaatsen effectief en haalbaar zijn voor het bereiken van extra methaanemissiereductie. Gangbare bronafstanden in huidige systemen zijn 70 meter op het bovenvlak van de stortplaats, tot 50 meter in de nabijheid van taluds. Verdere verlaging van bronafstanden tot bijvoorbeeld 40 of 35 meter zouden een extra bijdrage kunnen leveren.

Evaluatie van de maatregel

- *Bewezen zijn van de techniek:* Het bijplaatsen van bronnen is een eenvoudig toe te passen methode, die bestaat uit verticale boringen en plaatsen van verticale filters omgeven door een grindpakket. De methode van plaatsen wordt bij stortgasonttrekkingssystemen vaak toegepast.
- *Relatie met wet- en regelgeving:* De plaatsing van extra bronnen is aanvullend op BBT.
- *Effecten op methaanemissie:* het effect op het bijplaatsen van een aantal bronnen op stortplaatsen is in (SenterNovem 2007) berekend. Hier wordt aangenomen dat het winningsrendement van de bestaande installatie met het bijplaatsen van nieuwe gasbronnen met 5 procentpunt zal toenemen (zie de Handreiking methaanreductie stortplaatsen, SenterNovem, 2007).
- *Meetbaarheid van het effect:* Via meting van het onttrokken gasdebiet kan toename van de gasonttrekking worden gemeten. Belangrijk is daarbij om het te verwachten gasdebiet en de gaskwaliteit in de autonome situatie vooraf goed te bepalen, zodat de daadwerkelijke toenames van de gashoeveelheid en gaskwaliteit daaraan getoetst kan worden.
- *Interactie met verduurzamingsmaatregelen:* Of er interactie kan optreden is niet bekend, maar mogelijk heeft dit negatieve gevolgen voor de mogelijkheid tot verduurzaming. Extra bronnen kunnen leiden tot verticale voorkeurskanalen in het afvalpakket, waardoor percolaatrecirculatie (als onderdeel van een verduurzamingsmaatregel) lastiger kan worden.
- *Aanlegkosten:* Investering in het vergroten van de brondichtheid: 3 bronnen per hectare à € 5.000,- per gasbron, inclusief aansluiting op de bestaande onttrekkinginstallatie (SenterNovem 2007).
- *Operationele kosten:* Stijging van de totale operationele kosten met € 5.000,- per jaar. (SenterNovem 2007).

4.2 Affakkelen van laagcalorisch stortgas

Beschrijving van de maatregel

Het verbranden van stortgas in een fakkelininstallatie is de gangbare praktijk bij stortgasinstallaties in Nederland. Dit affakkelen vindt plaats wanneer stortgas door onvoldoende kwaliteit niet kan worden benut in bijvoorbeeld een gasmotor, of wanneer een benuttingsinstallatie in onderhoud of tijdelijk defect is. In dat geval wordt standaard een fakkel toegepast die geschikt is voor stortgas met een methaangehalte van meer dan 40%.

In (Zegers en Boerboom, 2009) wordt een beschrijving gegeven van meerdere methoden om laagcalorisch stortgas af te fakkelen. Hierbij zijn globaal drie typen te onderscheiden die ieder een specifiek bereik aan te verwerken methaangehalte hebben:

- Fakkels met een verwerkingscapaciteit >30% methaan
- Fakkels met een verwerkingscapaciteit >15% <30% methaan (laag calorisch)
- Innovatieve fakkels met een verwerkingscapaciteit >8% <15% methaan (zeer laag calorisch)
- Fakkels zonder aanzuiging via een compressor

Fakkels hebben een levensduur van circa 15 jaar. De branders in veel bestaande fakkels kunnen worden vervangen door branders die geschikt zijn voor verbranding van 'lean gas', met een ondergrens van 15 tot 20% methaan. Er zijn ervaringen met fakkels die kunnen werken met een methaangehalte >10% (Bräcker, 2010). Er dient echter per locatie specifiek te worden gekeken naar de mogelijkheden die de fakkelleverancier kan bieden. Bij lagere gasconcentraties dienen innovatieve fakkels te worden toegepast.

Het gebruik van een van fakkelininstallatie buiten de ontwerp parameters (afwijkende gaskwaliteit, verblijftijd in fakkel, temperatuur) wordt afgeraden om onvolledige verbranding en risico's bij lage gasconcentraties te vermijden.

Evaluatie van de maatregel

- Bewezen zijn van de techniek: Toepassen van lean gas (laag calorisch) en low gas (zeer laag calorisch) branders/fakkels is een bewezen techniek.
- Relatie met wet- en regelgeving: Lage temperaturen en te korte verblijftijden kunnen leiden tot afwijking van vergunningvoorschriften, waarin de NeR van toepassing is verklaard: hierin wordt gesteld dat, indien benutting van de afgevangen gassen niet mogelijk is, de onttrokken gassen moeten worden verbrand in een fakkelininstallatie. Fakkelininstallaties moeten aan de navolgende eisen voldoen:
 - De uitredetemperatuur moet tenminste 900°C bedragen.
 - De verblijftijd van de verbrandingsgassen in de fakkel dient minimaal 0,3 seconden te bedragen
 - De fakkel moet van het gesloten type zijn.Indien de fakkelininstallatie alleen wordt gebruikt voor het tijdens onderhoudsperioden en storings van de benuttingsinstallatie affakkelen van vrijkomend gas, terwijl onder normale bedrijfsomstandigheden dit gas afdoende wordt verwerkt, dan kan worden volstaan met een eenvoudiger type fakkel (open fakkel).
- *Effecten op methaanemissie:* Wordt een lean gas fakkel toegepast, dan dient de inregeling binnen de bandbreedte van >15% <30% methaan te blijven. Daarna kan bij lagere methaangehalten een biofilter of methaanoxidatie ingezet worden.

- *Meetbaarheid van het effect:* Via meting van het onttrokken gasdebiet kan toename van de gasonttrekking worden gemeten. Belangrijk is daarbij om het te verwachten gasdebiet en de gaskwaliteit in de autonome situatie vooraf te bepalen, zodat toetsing van de gashoeveelheid en gaskwaliteit daaraan getoetst kan worden.
- *Interactie met verduurzamingsmaatregelen:* geen
- *Aanlegkosten:* Het aanpassen van een brander van een bestaande hoge temperatuur fakkels om methaan concentratie in de range van 20-50% volledig te kunnen verbranden zijn minder dan € 5.000,- (EPA, 2011). Voor lagere concentraties is modificatie van de branders geen oplossing. In dat geval zal vervanging moeten plaatsvinden met een fakkels voor lage methaanconcentraties (minimum kosten € 30.000. Afhankelijk van lokale condities en meet-/sturingsapparatuur kunnen de kosten oplopen van € 100.000,- (EPA, 2011)) tot € 200.000. Omdat de kosten van specifieke fakkels hoog zijn ten opzichte van de periode dat deze nuttig ingezet kunnen worden (Zegers en Boerboom, 2009), is de financiële haalbaarheid een aandachtspunt.
- *Operationele kosten:* de operationele kosten zullen niet afwijken van de huidige beheerkosten van een fakkelsinstallatie. Met aanpassingen (telemetrie, autostart) is aansturing op locatie niet nodig.

4.3 Healthcheck: optimaliseren van bestaande onttrekkingssystemen

Beschrijving van de maatregel

De meest eenvoudige maatregel om de onttrekking van stortgas te bevorderen en emissies zoveel mogelijk te voorkomen, is om de prestaties van het gehele stortgasonttrekkingssysteem op de stortplaats te toetsen, en het management van stortgaswinning en –benutting periodiek kritisch te beoordelen (zie Zegers en Boerboom, 2009 en EPA, 2011).

Om de mogelijkheden tot het vergroten van de efficiëntie van stortgasonttrekking te bekijken, werd in (Zegers en Boerboom, 2009) de term “Health check” ingevoerd. Hierbij wordt samen met de beheerder van een stortgasonttrekkingsinstallatie de huidige opzet en inregeling van aanwezige onttrekkingssysteem geïnventariseerd. Op basis van de verkregen informatie wordt vervolgens de effectiviteit van het onttrekkingssysteem beoordeeld en worden waar mogelijk voorstellen voor het verhogen van de efficiëntie (het zogenaamde winningsrendement) geformuleerd. Er wordt nadrukkelijk uitgegaan van de bestaande opzet van de stortgasonttrekkingssystemen binnen de context van de betreffende stortplaats.

In 2010 is op drie stortplaatsen de effectiviteit van de health check onderzocht (Zegers en Boerboom, 2010). Van belang is dat er verschillende belangen kunnen zijn bij het inregelen van het stortgasonttrekkingssysteem; een optimaal functionerende systeem is in de praktijk altijd een compromis tussen drie vaak tegengestelde belangen, waarbij stortplaats specifieke aspecten in een breder perspectief moeten worden gezien:

- *Maximale onttrekking:* het onttrekken van zoveel mogelijk stortgas met als doelen het voorkomen van stankoverlast en het reduceren van ongecontroleerde emissies van onder andere methaan naar de atmosfeer. De kwaliteit van het onttrokken stortgas is hierbij ondergeschikt aan de hoeveelheid.
- *Maximale benutting:* het onttrekken van stortgas dat optimaal geschikt is voor benutting in een gasmotor voor de opwekking van elektrische energie. De samenstelling van het stortgas dient hiervoor aan enkele minimale eisen te voldoen.

In de regel wordt deze kwaliteit bereikt wanneer minder intensief onttrokken wordt. De hoeveelheid onttrokken stortgas is in dat geval ondergeschikt aan de kwaliteit ervan.

- *Operationele randvoorwaarden:* De aanwezigheid van de stortgasbronnen en – transportleidingen versus de ruimte die voor de exploitatie (stortactiviteiten, grondverzet, tijdelijke afwerking, etc.) van de stortplaats benodigd is. Op delen van de stortplaats waar stort- en/of grondverzetactiviteiten plaatsvinden is het vaak noodzakelijk om de aanwezige stortgasbronnen af te koppelen en op te trekken. Ook de transportleidingen voor het stortgas dienen vaak opnieuw te worden gelegd en zijn onderhevig aan beschadigingen als gevolg van transportbewegingen over het stortoppervlak.

In het onderzoek naar de Health Check (Zegers en Boerboom, 2010) is geconcludeerd dat de stortgasonttrekkingen goed beheerd worden, en dat verdergaande methaanemissiereductie bij de drie onderzochte stortplaatsen alleen mogelijk is tegen substantiële kosten en alleen wanneer benutting van het onttrokken stortgas niet als prioriteit wordt gezien en in sommige gevallen zelfs als uitgangspunt verlaten wordt. Het te behalen rendement van (kostbare) aanvullende maatregelen is bij de drie onderzochte stortplaatsen marginaal. Aanbevolen werd om voorzichtig te zijn met de verwachtingen voor wat betreft verdergaande methaanemissiereductie op stortplaatsen met een goed functionerend stortgasonttrekkingssysteem dat voldoet aan de huidige stand der techniek (BBT).

Echter blijkt uit de ervaring van de auteurs dat vermindering van de personele inzet en aandacht vanuit het stortplaatsmanagent voor de stortgasonttrekking en –benutting kan leiden tot verslechtering van de stortgaswinning. De health check zal in dat geval een belangrijke rol kan spelen: door de health check wordt de aandacht weer groter voor het optimaliseren van de stortgaswinning, en daarmee een verbeterde methaanemissiereductie.

Evaluatie van de maatregel

- *Bewezen zijn van de techniek:* De methode richt zich op verbetering van het onttrekkingsrendement, en is een gangbare methode in Nederland en internationaal.
- *Relatie met wet- en regelgeving:* Uitgangspunt is dat een stortplaats voldoet aan BBT (Handreiking methaanreductie stortplaatsen). De health check voorziet in een juiste toepassing van de op de stortplaats aanwezige BBT-maatregelen.
- *Effecten op methaanemissie:* Het effect op de reductie van de methaanemissie is op korte termijn zeker zichtbaar, vooral op het moment dat het beheer van de stortgasinstallaties onvoldoende aandacht heeft gekregen van de betrokken stortplaatsexploitant. Bij goed beheerde systemen is niet veel extra reductie te bereiken.

De effecten op de methaanemissie zijn niet in algemeenheid te kwantificeren, dit is enkel op locatieniveau beoordeeld en het zijn vooral locatie specifieke aspecten die van invloed zijn. Het is ook niet uitgesloten dat de totale emissiebalans bij het nemen van maatregelen zelfs negatief uitvalt: het stoppen van stortgasbenutting tezamen met de emissies die gepaard gaan met het uitvoeren van maatregelen kan de te behalen winst op het gebied van methaanemissiereductie vrijwel volledig teniet doen.

- *Meetbaarheid van het effect:* Om effecten goed in beeld te krijgen is een gedetailleerde emissiebalans noodzakelijk. Het opstellen en onderzoeken van deze effecten is tijdrovend en het te behalen resultaat blijft vanwege onnauwkeurigheden in modellen een grote mate van onzekerheid bevatten (Zegers en Boerboom, 2010).
- *Interactie met verduurzamingsmaatregelen:* geen
- *Aanlegkosten:* De health check vergt geen investeringen, tenzij verbeteringen in het onttrekkingsstelsel nodig worden geacht.
- *Operationele kosten:* Het is raadzaam om de werking van een onttrekkingsstelsel periodiek (eens per twee jaar) door te lichten, en te toetsen of de doelstellingen (optimale benutting of optimale onttrekking) nog steeds actueel zijn en worden bereikt. De kosten beperken zich tot 1-2 dagen locatiebezoek van een expert samen met de operator van de stortgaswinning, en het gebruik van meetapparatuur. Gemiddeld geraamd op circa € 1.500 tot € 2.000 per jaar.

4.4 Multriwell

Beschrijving van de maatregel

Multriwell is een gepatenteerd gasonttrekkingsstelsel dat bestaat uit een combinatie van horizontale en verticale onttrekking, gecombineerd met een afdichting. Deze combinatie, gebaseerd op een vacuümconsolidatiemethode, zorgt er voor dat de bovenzijde van de stortplaats gasdicht wordt afgesloten, en het gas via de verticale en horizontale drains opgevangen wordt.

Multriwell BV geeft aan dat het stelsel leidt tot een iets grotere en versnelde gasonttrekking dan met een regulier gasonttrekkingsstelsel bereikt kan worden. Dit wordt onderbouwd met de opmerking dat door het inbrengen van veel individuele onttrekkingsfilters storende lagen in de stortplaats worden doorbroken, en dat daardoor er een betere spreiding van stagnerende percolaat optreedt. Dit leidt tot extra (en versnelde) stortgasvorming. Oppervlakte-emissie wordt beperkt door toepassing van een afdichtingslaag (Timmermans et al, 2012).

Evaluatie van de maatregel

- *Bewezen zijn van de techniek:* De techniek van aanleg en toepassing van het onttrekkingsstelsel is gebaseerd op bestaande technieken (drukken van filters in stortmateriaal, horizontale drains en afdichtingsmaterialen). Het Multriwell is uitgevoerd bij enkele proefvakken in Nederland. De werking van de combinatie van afdichting en gasonttrekking met dunne filterstroken in het afvalpakket is nog niet over een periode van meerdere jaren aangetoond (de methode is relatief nieuw). De gemeten gasonttrekkingen met behulp van flowmeters bij proefopstelling zijn niet gevalideerd of geverifieerd door een onafhankelijke partij, en het aantal gedocumenteerde proefprojecten is gering.

Naar onze expert opinion zijn er onzekerheden in de vorm van meetonnauwkeurigheden en de vaststelling van de nulsituatie. De methode vereist daarom nog nadere validatie.

- *Relatie met wet- en regelgeving:* Multriwell lijkt te kunnen worden toegepast binnen de bestaande vergunningvoorschriften. Aandacht moet worden gegeven aan de opvang en afstroming van hemelwater (vermijden van wegspoelen van bovengrond en/of infiltratie elders in het afvalpakket).
- *Effecten op methaanemissie:* Mogelijk is er sprake van een versnelling van het stortgasvormingsproces, en er zal door de verspreiding van percolaat in de

stortplaats een lichte toename van stortgasvorming mogelijk kunnen zijn. Door het afdekken wordt de methaanemissie vrijwel volledig gestopt.

- *Meetbaarheid van het effect:* De verandering van gasproductie (debietmeter onttrekkingsinstallatie) en gaskwaliteit geven een indicatie van vermeden emissies. Effecten op de oppervlakte-emissie kunnen gemeten worden via surface screening.
- *Interactie met verduurzamingsmaatregelen:* De 'doorponsing' van het afvalpakket met veel filters op geringe afstand tot elkaar kan de stabilisatie van het afvalpakket bevorderen. De maatregel gaat uit van toepassing van een afdichtingslaag, wat leidt tot een vertraging van de natuurlijke afbraak en minimalisatie van de doorspoeling.
- *Aanlegkosten:* De maatregel bestaat uit het inbrengen van veel kleine verticale filters, een intensief netwerk van horizontale filters en de aanleg van een (semi)permanente bovenafdichting. De kosten zullen dan ook vergelijkbaar zijn met de aanleg van een permanente bovenafdichting. Afhankelijk van de aard van afdichting en beschikbaarheid van drainagematerialen (horizontale drainage) en afdekgrond kan gerekend worden met bedragen van € 20 tot €35 per m².
- *Operationele kosten:* De mogelijke extra onttrekking van stortgas leidt niet hogere exploitatiekosten. De werking kan door middel van een FID-scan worden aangetoond. De kosten hiervan bedragen dan ongeveer € 0,10-€ 0,25 per m² hr⁻¹. Dat geeft in dit geval een kwantitatief beeld van de (nul)emissie.
- *Ontmantelingskosten:* als de afdichtingslaag een semi-permanente toepassing betreft, moet deze laag (en eventuele afdeklagen) weer verwijderd worden. Dat levert naast veel grondverzet (met emissie door verbrandingsmotoren) ook veel reststoffen, die bij een verduurzaamde stortplaats niet meer benodigd zijn.

4.5 Taludontgassing

Beschrijving van de maatregel

Stortgasonttrekking met verticale bronnen vindt vooral plaats op het bovenvlak, waarbij stortgasbronnen op enige afstand van taluds worden geplaatst. De reden hiervoor is dat het risico op luchtinzuiging nabij taluds toeneemt. In taluds is vaak ook meer zuurstof aanwezig, zeker aan de loefzijde van de stortplaats, vooral bij hoge taluds in open terreinen.

Deze maatregel kan gecombineerd worden met het splitsen van het onttrekkingsstelsel:

- Gasbronnen met een hoog methaangehalte kunnen worden aangesloten op een benuttingsinstallatie, zoals een gasmotor;
- Gasbronnen met een lager methaangehalte kunnen worden aangesloten op een verwerkingseenheid, zoals de hiervoor beschreven fakkeltechnieken of ander innovatieve oplossingen.

Gescheiden onttrekkingsystemen kunnen voordelen bieden in de overbruggingsperiode waarin de totale hoeveelheid geproduceerd stortgas van te lage kwaliteit is voor effectieve benutting, voorafgaand aan het overschakelen naar laagcalorische verwerkingstechnieken. Per lokale situatie dient bekeken te worden of de extra kosten die gemoeid zijn met gescheiden onttrekkingsystemen opwegen tegen de opbrengsten uit stortgasbenutting en de extra te bereiken methaanemissiereductie.

Evaluatie van de maatregel

- *Bewezen zijn van de techniek:* Vanwege de geometrie van het afvalpakket in de taluds is de invloedssfeer nog beperkter dan van gasbronnen aan de rand van het bovenvlak, voor een optimale 'dekking' is een groot aantal taludbronnen nodig. Een

variant daarop is het toepassen van 'horizontale' drainage in de afdekgrond. Daar is in Nederland op proefvelden gebruik van gemaakt (Scharff e.a., 2003). Het onderzoek was niet specifiek gericht op emissiereductie; er is niet gemeten of er sprake was van onttrekkingsrendement toename of emissie afname.

- *Relatie met wet- en regelgeving:* Taludontgassing is een aanvulling op de BBT, zoals beschreven in de Handreiking methaanreductie stortplaatsen (SenterNovem, 2007).
- *Effecten op methaanemissie:* In de Handreiking methaanreductie (SenterNovem, 2007) wordt hier nader op ingegaan. Het onttrekkingsrendement kan met 15 procentpunt toenemen.
- *Meetbaarheid van het effect:* De effectiviteit van de maatregel is lastig aantoonbaar, omdat vooral op taluds atmosferische invloeden (wind, luchtdruk) groot zijn en de toplaag heterogeen van opbouw kan zijn. Via meting van het onttrokken gasdebiet kan toename van de gasonttrekking worden gemeten.
- *Interactie met verduurzamingsmaatregelen:* Of er interactie kan optreden is niet bekend, maar mogelijk heeft dit negatieve gevolgen voor de mogelijkheid tot verduurzaming. Extra bronnen kunnen leiden tot voorkeurskanalen in het afvalpakket, waardoor percolaatrecirculatie (als onderdeel van een verduurzamingsmaatregel) lastiger kan worden. Dit zal echter op de taluds vaak een minder grote rol spelen, omdat percolaatinfiltatie op taluds binnen het kader van Duurzaam Stortbeheer niet wordt overwogen.
- *Aanlegkosten:* De aanlegkosten bedragen circa € 5.000,-- per bron. Indien specifieke kleine oppervlakkige bronnen worden toegepast of horizontale bronnen worden toegepast, zullen de kosten enkele euro's per m² bedragen (expert guess). Door het toepassen van taludbronnen is, vooral bij stortplaatsen die al enkele jaren gesloten zijn, een gescheiden systeem van onttrekken en verbranden van stortgas relatief kostbaar. De aanlegkosten van een horizontaal systeem bedragen circa €5-€25 per meter PP drain (zie www.bodemrichtlijn.nl / factsheet geohydrologische isolatie met horizontale drains). Rekening houdend met toepassing van een grindkoffer en een onderlinge afstand van 5 meter: circa €5,--/m².
- *Operationele kosten:* Bij een gescheiden systeem van onttrekken en verbranden van stortgas kan het overige stortgas nuttig worden toegepast. Het overige gas wordt afgefakkeld in een fakkelinstallatie die is aangepast voor verbranding van laag calorisch gas (zie maatregel affakkelen).

4.6 Benuttingsinstallatie aanpassen voor verwerking van lagere kwaliteit stortgas

Beschrijving van de maatregel

Stortgasmotoren worden toegepast voor benutting van het stortgas voor elektriciteitsproductie en mogelijke benutting van de vrijkomende warmte (WKK). Bij bestaande stortgasinstallaties is een methaangehalte van circa 45% de ondergrens voor een goede werking. Nieuwe installaties, zoals moderne biogasmotoren, kunnen stortgas met lagere methaangehalten verwerken. Afhankelijk van de techniek worden methaangehalten van 38% genoemd. Nog lagere methaangehalten kunnen worden toegepast in microgasturbines, in experimentele situaties tot 15% en zelfs 12,5 % methaan (zie GWI, 2008 en Halbouni 2009).

De maatregel 'aanpassing voor verwerking van lagere kwaliteit stortgas' richt zich op de mogelijkheid om bestaande stortgasmotoren aan te passen. Uit mondelinge informatie aan auteurs blijkt dat aanpassingen aan de stortgasmotoren het mogelijk maken om stortgas met 2-3 procentpunt lagere methaangehalten toe te passen.

Evaluatie van de maatregel

- *Bewezen zijn van de techniek:* Referenties op dit gebied zijn niet beschikbaar. Uit mondelinge informatie blijkt dat de stortgasmotoren bij aanpassingen bij 2-3% lagere methaangehalten blijven functioneren.
- *Relatie met wet- en regelgeving:* Bij aanpassing van een stortgasmotor moet worden nagegaan of nog wordt voldaan aan het Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties (Bems).
- *Effecten op methaanemissie:* De 3 procentpunt lagere stortgaskwaliteit kan worden bereikt door meer stortgas te onttrekken, of door een autonome lagere stortgaskwaliteit in de toekomst. De methaanemissie kan door de grotere aanzuigende werking iets afnemen; dit is voor zover bekend niet aangetoond of gekwantificeerd.
- *Meetbaarheid van het effect:* Het effect zal niet of zeer moeilijk kwantificeerbaar zijn.
- *Interactie met verduurzamingsmaatregelen:* Er vindt in theorie een lichte toename van aanzuiging van atmosferische lucht plaats. Dit zou kunnen leiden tot een naar verwachting geringe (deels aerobe, deels anaerobe) additionele afbraak.
 - *Aanlegkosten:* Kosten van aanpassingen zijn nog niet bekend.
 - *Operationele kosten:* De aanzuiging van stortgas neemt in geringe mate toe, en daarmee de energiekosten.

4.7 Tijdelijke afdichting van dunne folie aanbrengen op het stortoppervlak

Beschrijving van de maatregel

Met een tijdelijke afdichting wordt een afsluitende laag gecreëerd die enerzijds de inzuiging van lucht sterk terugdringt en anderzijds de vrije emissie van stortgas vermindert. De invloedssfeer van gasbronnen in het afval kan daardoor worden vergroot zonder de risico's van luchtinzuiging. Vooral folieafdichtingen kunnen eenvoudig en snel worden toegepast.

De techniek heeft als nadeel dat processen in de stortplaats worden geremd. Schade aan de tijdelijke afdichtingslagen leidt tot verminderde effectiviteit en operationele kosten.

Figuur 10: Tijdelijke afdichting stortvak



Evaluatie van de maatregel

- *Bewezen zijn van de techniek:* Tijdelijke afdichtingen worden in Nederland vrijwel niet toegepast. In Duitsland worden tijdelijke afdichtingen toegestaan als er grote zettingen verwacht worden, met als doel percolaatvorming te verminderen en stortgasemissie te voorkomen (Bräcker, 2008).
- *Relatie met wet- en regelgeving:* De regelgeving in Nederlands schrijft geen tijdelijke afdichtingen voor, echter er zijn geen redenen om tijdelijke afdichtingen te weigeren.
- *Effecten op methaanemissie:* Door het afdekken wordt de methaanemissie vrijwel volledig gestopt.
- *Meetbaarheid van het effect:* De verandering van gasproductie (debietmeter onttrekkingsinstallatie) en gaskwaliteit geven een indicatie van vermeden emissies.
- *Interactie met verduurzamingsmaatregelen:* De maatregel leidt door het gebruik van de afdichtingslaag tot een vertraging van de natuurlijke afbraak en minimalisatie van de doorspoeling.
- *Aanlegkosten:* De aanleg bestaat in de minimale vorm uit het aanbrengen van een (0,5-1,5 mm) folie op een geëgaliseerde steunlaag. De folie wordt dan met zandzakken of een andere vorm van ballast verzwaard om opwaaien te voorkomen. Om gasdruk onder de folie te voorkomen kan aanvullende horizontale drainage nodig zijn. De kosten van deze maatregel bedragen € 5-10 per m² (expert guess). Het is niet aannemelijk dat de tijdelijke afdichting later als onderdeel van de bovenafdichting in gebruik kan worden genomen.
- *Operationele kosten:* Het folie kan niet betreden worden. Vaak ontstaan schades vanwege onoordeelkundig gebruik of vandalisme. Deze schade dient hersteld te worden om een optimale werking te garanderen.

Kentallen voor herstelkosten zijn niet bekend, maar kunnen geraamd worden op €2.000-5.000 per jaar. Er wordt minder percolaat gevormd, wat leidt tot lagere zuiveringskosten.

Figuur 11: schade door rupsvoertuig



5 IMPLEMENTATIE VAN MAATREGELEN OP DE 3 PDS-LOCATIES

In dit hoofdstuk worden maatregelen geselecteerd, waarna de effecten van implementatie worden doorgerekend voor de drie verduurzamingslocaties. In een eerste stap worden de maatregelen beoordeeld op kosteneffectiviteit. Dit gebeurt los van de vraag of de maatregel al voldoende uitontwikkeld is en of implementatie van de maatregel op een specifieke locatie uiteindelijk wel wenselijk is.

Vervolgens volgt een volledige evaluatie van de maatregelen op alle relevante aspecten, waarna per stortplaats een set van maatregelen wordt geïdentificeerd en doorgerekend.

5.1 Kosten, effecten en kosteneffectiviteit van de maatregelen

In de onderstaande tabellen worden de kosten, effecten en kosteneffectiviteit van de maatregelen berekend voor alle maatregelen, wanneer toegepast op de drie stortplaatsen.

De jaarlijkse kosten worden berekend door uit te gaan van een annuïtaire afschrijving van de investeringen over 10 jaar en bij een rentepercentage van 5%. De jaarlijkse kosten bedragen in dat geval 12,9% van de totale investeringen. Eventuele baten zijn bijvoorbeeld de extra benutting van stortgas. De baten voor gasbenutting worden geschat op 5 €ct per m³ benut gas. De jaarkosten worden berekend als som van de jaarlijkse annuïtaire afschrijving van de investering, de jaarlijkse kosten voor onderhoud, minus de baten. Kosten en effecten worden uitgedrukt in kosten en effecten per hectare. Dit om vergelijking met andere locaties mogelijk te maken. In de tekst in hoofdstuk 4 wordt voor veel maatregelen de kosten met een zekere onzekerheid weergegeven. Voor verwerking van de informatie in dit hoofdstuk, is veelal het midden van de onzekerheidsmarge toegepast. Dat wil niet zeggen dat de onzekerheidsmarge wordt verwaarloosd. Doel van deze tabel is vooral het identificeren van de maatregelen, die mogelijk kosteneffectief zijn en de maatregelen, die dat zeker niet zullen zijn. Het resultaat van deze evaluatie is voor de meeste maatregelen niet gevoelig voor de onzekerheid in kosten.

Voor een aantal maatregelen zijn verschillende uitvoeringsvormen mogelijk. Zo kan methaanoxidatie worden toegepast op de stortplaats als geheel, maar ook op specifieke compartimenten of taluds van compartimenten, waar emissies relatief hoog zijn. In die gevallen worden de uitvoeringsvormen separaat weergegeven.

Tabellen 2 tot en met 4 geven de kosten en baten voor implementatie van de maatregel op respectievelijk de Spinder, Noord- en Midden Zeeland en De Wierde. Het tweede deel van tabellen geeft de effecten op de methaanemissies in de periode 2014-2023 en de kosteneffectiviteit van de maatregel. Hierbij wordt aangenomen dat de maatregel in 2014 wordt geïmplementeerd en tot 2023 operationeel is. De effecten zijn berekend ten opzichte van de methaanemissies uit hoofdstuk 2, voor de scenario's in geval van uitstel van afdichting. De maatregelen worden allemaal separaat genomen. Dus in de tabellen is geen sprake van onderlinge beïnvloeding of uitsluiting van maatregelen.

Tabel 2: Kosteneffectiviteit van maatregelen op De Spider

Maatregel	kosten¹⁾ (€ per ha)	operationele kosten (€ per ha/jr)	baten (€ per ha/jr)	jaarkosten (€ per ha/jr)
Oxidatie in afdekragen				
- gehele stortplaats	530.000	1.800		70.000
- alleen compartiment met hoge emissies ²⁾	130.000	440		17.000
- hot spot remediation ³⁾	38.000	150		5.100
Vergroten brondichtheid	15.000	250	210 ⁴⁾	2.000
Affakkelen laagcalorisch stortgas	430		-1300	1.300
Health check		250	120 ⁴⁾	130
Multriwell onttrekkingsysteem	280.000	1.750	2.100 ^{4,5)}	35.000
Talud ontgassing	20.000		630 ⁴⁾	1.960
Benutting lagere kwaliteit stortgas	500			65
Tijdelijke afdichting	75.000	3.500	1.700 ^{4,5)}	12.000
Maatregel	effecten (gemiddeld per ha per jaar)		kosteneffectiviteit	
	(kg methaan)	(ton CO₂-eq)	(€/ton CO₂-eq)	
Oxidatie in afdekragen				
- gehele stortplaats	25.000	530	130	
- alleen compartiment met hoge emissies (25%)	12.500	260	70	
- hot spot remediation	5.000	80	70	
Vergroten brondichtheid	3.000	60	30	
Affakkelen laagcalorisch stortgas	6.000	130	10	
Health check	3.000 ⁶⁾	60	2	
Multriwell onttrekkingsysteem	25.000	530	70	
Talud ontgassing	9.000	190	10	
Benutting lagere kwaliteit stortgas	0 ⁷⁾	0	-	
Tijdelijke afdichting	25.000	530	20	

¹⁾ Kosten per ha totaal stortoppervlak. Dus als een maatregel op een beperkt deel van het afvalpakket wordt getroffen, bijvoorbeeld ¼ van het stortoppervlak (bijvoorbeeld de taluds), dan worden hier de totale kosten gedeeld door het totale stortoppervlak.

²⁾ Aangenomen wordt dat een deel van het afvalpakket kan worden geïdentificeerd ter grootte van 25% van het totale stortoppervlak, waar de helft van de methaanemissies plaatsvinden.

³⁾ Aangenomen wordt dat per hectare 5% als hotspot wordt behandeld. Op een hotspot wordt gemiddeld over 10 jaar 7,5 kg methaan per jaar extra geoxideerd (gemiddeld 1 l m⁻² hr⁻¹).

⁴⁾ Aannee is dat extra gewonnen gas wordt benut

⁵⁾ Bij de batens, zijn geen batens voor verminderde percolaatvorming opgenomen. In geval van een opvolgend verduurzamingsproject, wordt dit voordeel namelijk grotendeels weer teniet gedaan, doordat extra kosten worden gemaakt voor verduurzaming. Indien deze batens wel worden opgenomen, stijgen de batens en dalen de jaarkosten met € 7500,- per ha per jaar.

⁶⁾ Aangenomen wordt dat als gevolg van de health-check het winningsrendement met 5%-punt stijgt.

⁷⁾ Aangenomen wordt, dat gas niet op lagere kwaliteit kan worden benut.

Tabel 3: Kosteneffectiviteit van maatregelen op Noord- en Midden Zeeland

Maatregel	kosten¹⁾ (€ per ha)	operationele kosten (€ per ha/jr)	baten (€ per ha/jr)	jaarkosten (€ per ha/jr)
Oxidatie in afdeklagen				
- gehele stortplaats	530.000	1.750		70.000
- alleen compartiment met hoge emissies ²⁾	130.000	440		18.000
- hot spot remediation ³⁾	38.000	150		5.100
Vergroten brondichtheid	15000	250	190 ⁴⁾	2.000
Affakkelen laagcalorisch stortgas	580		-1.200 ^{4,5)}	1.200
Health check		290	140 ⁴⁾	150
Multriwell onttrekkingsysteem	280.000	1.750	1.900	35.000
Talud ontgassing	20.000		580 ⁴⁾	2.000
Benutting lagere kwaliteit stortgas	670			86
Tijdelijke afdichting	75.000	3.500	1.500 ^{4,5)}	12.000
	effecten (gemiddeld per ha per jaar) (kg methaan)	(ton CO₂-eq)	kosteneffectiviteit (€/ton CO₂-eq)	
Oxidatie in afdeklagen				
- gehele stortplaats	20.000	420	160	
- alleen compartiment met hoge emissies (25%)	10.000	210	80	
- hot spot remediation	5.000	80	60	
Vergroten brondichtheid	2.800	60	40	
Affakkelen laagcalorisch stortgas	5.500	120	10	
Health check	2.800 ⁶⁾	58	3	
Multriwell onttrekkingsysteem	20.000	420	80	
Talud ontgassing	8.300	170	10	
Benutting lagere kwaliteit stortgas	2.800 ⁷⁾	60	1	
Tijdelijke afdichting	20.000	420	30	

^{1) t/m 5)} zie voetnoten bij tabel De Spinder.

⁶⁾ Aangenomen wordt dat als gevolg van de health-check het winningsrendement met 5%-punt stijgt.

⁷⁾ Aangenomen wordt, dat als gevolg van lagere kwaliteit benutting het winningsrendement met 5%-punt stijgt.

Tabel 4: Kosteneffectiviteit van maatregelen op De Wierde

Maatregel	kosten ¹⁾ (€ per ha)	operationele kosten (€ per ha/jr)	baten (€ per ha/jr)	jaarkosten (€ per ha/jr)
Oxidatie in afdekragen				
- gehele stortplaats	530.000	1.800		70.000
- alleen compartiment met hoge emissies ²⁾	133.000	440		18.000
- hot spot remediation ³⁾	38.100	150		5.100
Vergroten brondichtheid	15.000	250	240 ⁴⁾	2.000
Affakkelen laagcalorisch stortgas	875		-1.400 ^{4,5)}	1.500
Health check		380	170 ⁴⁾	200
Multriwell onttrekkingsysteem	280.000	1750	2.300	35.000
Talud ontgassing	20.000		700 ⁴⁾	1.900
Benutting lagere kwaliteit stortgas	1.000			130
Tijdelijke afdichting	75.000	3500	1.900 ^{4,5)}	11.000
Maatregel	effecten (gemiddeld per ha per jaar)		kosteneffectiviteit	
	(kg methaan)	(ton CO ₂ -eq)	(€/ton CO ₂ -eq)	
Oxidatie in afdekragen				
- gehele stortplaats	24.000	500	140	
- alleen compartiment met hoge emissies (25%)	12.000	250	70	
- hot spot remediation	5.000	80	70	
Vergroten brondichtheid	3.400	70	30	
Affakkelen laagcalorisch stortgas	6.700	140	10	
Health check	3.400 ⁶⁾	70	3	
Multriwell onttrekkingsysteem	24.000	500	70	
Talud ontgassing	10.000	210	9	
Benutting lagere kwaliteit stortgas	3.400 ⁷⁾	70	2	
Tijdelijke afdichting	24.000	500	20	

^{1) t/m 5)} zie voetnoten bij tabel De Spinder.

⁶⁾ Aangenomen wordt dat als gevolg van de health-check het winningsrendement met 5%-punt stijgt.

⁷⁾ Aangenomen wordt, dat als gevolg van lagere kwaliteit benutting het winningsrendement met 5%-punt stijgt.

5.2 Integrale beoordeling van maatregelen

Het al dan niet implementeren van een maatregel wordt niet alleen bepaald door de kosteneffectiviteit ervan. Zoals in hoofdstuk 4 al is beschreven zijn andere factoren net zo belangrijk. Op basis van de gegevens in hoofdstuk 3 en de berekening van kosteneffectiviteit in de vorige paragraaf, wordt een meer integrale afweging beschreven in tabel 5.

Tabel 5: integrale beoordeling van maatregelen

	kosteneffec- tiviteit	reductiepo- tentieel	bewezen techniek	regel- geving	meetbaar- heid	interactie verduur- zaming	Andere milieu- effecten
Oxidatie in afdekklagen							
- gehele stortplaats	1	5	2	4	3	4	4
- alleen compartiment met hoge emissies	2	4	2	4	3	4	4
- hot spot remediation	2	5	2	4	3	4	4
Vergroten brondichtheid	2	4	5	5	5	3	4
Affakelen laagcalorisch stortgas	4	4	4	4	4	4	4
Health check	5	4	4	4	5	4	4
Multiriwell onttrekkingsysteem	2	5	3	5	5	3	5
Talud ontgassing	4	4	4	5	4	3	4
Benutting lagere kwaliteit stortgas	5	4	4	5	5	4	4
Tijdelijke afdichting	3	5	4	4	5	3	5

Toelichting op de codering in de tabel:

- Code 1 of 2: maatregel is niet gewenst; code 3: maatregel is in principe niet gewenst, maar kan op basis van ontwikkelingen of totaalbeeld wellicht heroverwogen worden; code 4 of 5: maatregel is op het beoordeelde aspect wenselijk en toepasbaar. Een maatregel zal over alle beoordeelde aspecten 4 of 5 moeten scoren om als geschikt te worden gekwalificeerd.
- Kosteneffectiviteit: 1 is > €100 per ton CO₂-eq.; 2 is €30-100 per ton CO₂-eq.; 3 is €20-30 per ton CO₂-eq.; 4 is €10-20 per ton CO₂-eq.; 5 is < €10 per ton CO₂-eq.;
- Reductiepotentieel: 3 is 0% geen duidelijk effect op totale emissies; 4 is > 2% emissiereductie; 5 is >25% emissiereductie.
- Bewezen techniek: 1 is in conceptfase idee, of op labschaal. 2 op werkelijke schaal onvoldoende gemonitord. 3. Op werkelijke schaal en in een enkel geval gedemonstreerd; 4 in meerdere gevallen gedemonstreerd; 5 breed toegepast.
- Relatie met regelgeving. 3 staat haaks op regelgeving. 4. neutraal. 5. Aanvulling op regelgeving;
- Meetbaarheid van het effect. 3 niet meetbaar of meetbaar maar duur. 4 meetbaar tegen acceptabele kosten. 5. Evident, dus aanvullende meting niet noodzakelijk.
- Effect op verduurzaming. 3. Onduidelijk, maar mogelijk tegenstrijdig. 4 neutraal; 5. specifieke onderdelen kunnen in geval van verduurzaming worden toegepast.
- Andere milieueffecten. 2 negatieve effecten elders 3 negatieve milieueffecten elders, die mogelijk acceptabel zijn; 4. geen effect. 5. Voordelen elders.

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de mogelijkheden voor verdergaande methaanemissiereductie beperkt zijn. De enige maatregelen die kosteneffectief zijn, bewezen zijn en verder geen problemen opleveren zijn de healthcheck, het affakkelen van laagcalorisch gas en onttrekken van een iets lagere gaskwaliteit. Het effect van deze maatregelen is echter beperkt. Maatregelen die meer bronnen inhouden (vergroten brondichtheid en taludontgassing) hebben een kosteneffectiviteit van 10-30 € per ton CO₂-eq. (op voorwaarde dat het extra gewonnen gas ook benut kan worden), die mogelijk nog steeds acceptabel is. Het is echter niet aan te bevelen om extra bronnen te realiseren in afwachting van verduurzaming. Deze extra bronnen kunnen uiteindelijk de verduurzaming van het afvalpakket bemoeilijken. Een tijdelijke afdichting lijkt ook een mogelijkheid om methaanemissies te reduceren. De tijdelijke afdichting komt redelijk gunstig uit de vergelijking. Alleen wanneer het afvalpakket na 2023 daadwerkelijk wordt verduurzaamd, dan komt een besparing op percolaatopvang in de periode 2014-2023 geheel of gedeeltelijk terug als operationele kosten voor verduurzaming. Methaanoxidatie in zijn verschillende uitvoeringsvormen heeft momenteel nog twee serieuze nadelen: de maatregel is niet kosteneffectief en de maatregel kan ook nog niet als technisch bewezen worden beschouwd.

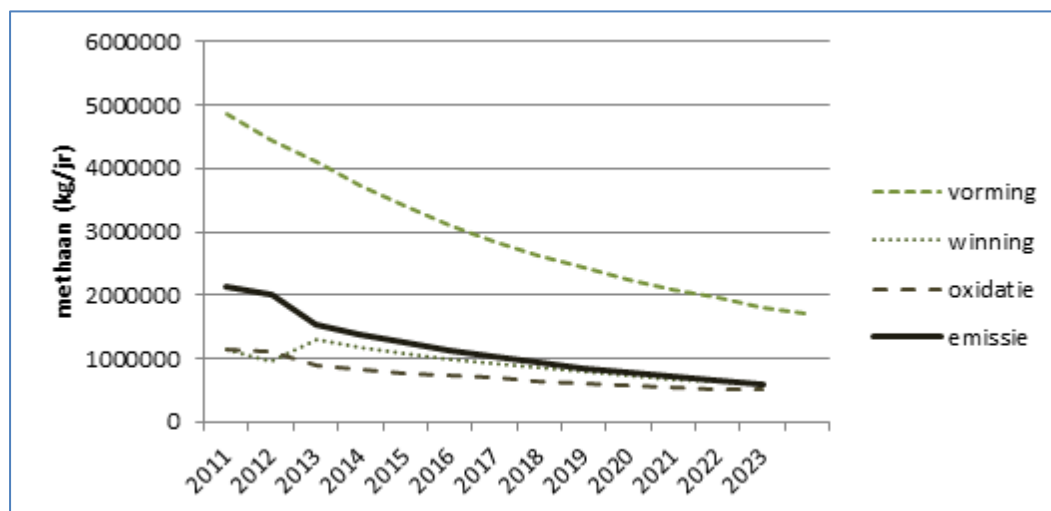
5.3 Effecten op de drie stortplaatsen

5.3.1 Verdergaande emissiereductie op De Spinder

Voor de Spinder lijken de mogelijkheden voor reductie van emissies beperkt. De meest kosteneffectieve maatregelen zijn de health-check en het onttrekken van een iets lagere kwaliteit stortgas. Op De Spinder wordt het gas echter benut door opwerking naar gaskwaliteit. Dat betekent, dat strenge eisen worden gesteld aan de kwaliteit van het gas en dat de mogelijkheden voor verdere emissiereductie beperkt zijn. Toch is het mogelijk, dat door nog meer aandacht voor onttrekking enkele procenten meer rendement wordt gerealiseerd.

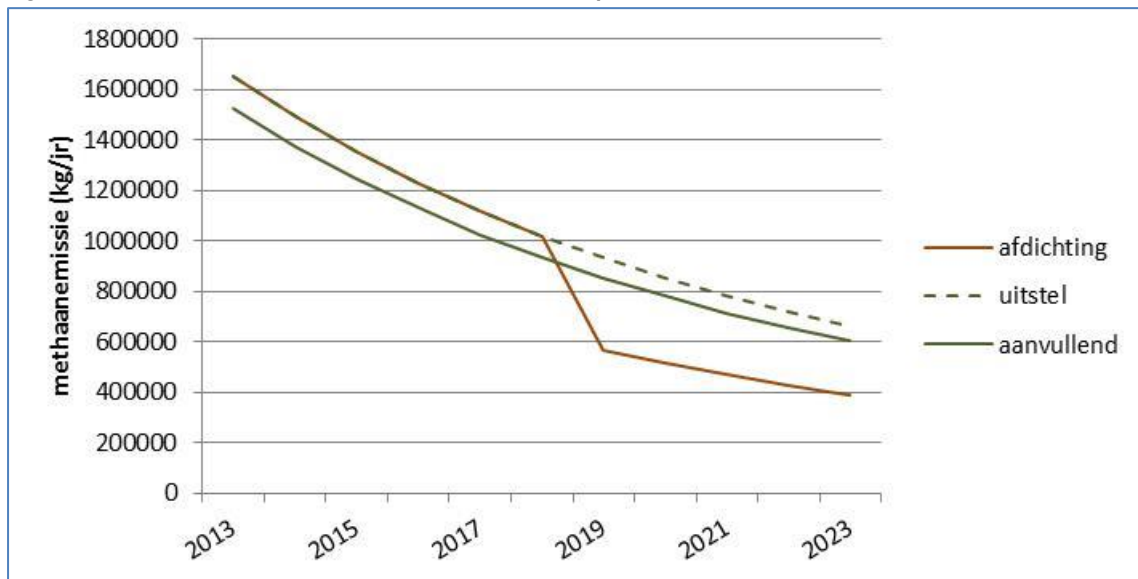
De emissies van De Spinder worden in geval van 5% meer winningsrendement als gevolg van een intensievere stortgasonttrekking beschreven door Figuur 12. Deze figuur is bepaald op vergelijkbare wijze als de scenario's voor de Spinder in hoofdstuk 2, alleen onder aanname van een 5% hoger winningsrendement.

Figuur 12: methaanvorming, -winning, -oxidatie en emissie bij een 5% verhoogd winningsrendement



De methaanemissies bij De Spinder in geval van het scenario zonder uitstel, het scenario met uitstel (beide uit hoofdstuk 2) en het scenario met aanvullende maatregelen (vorige figuur) wordt weergegeven in figuur 13.

Figuur 13: 3 scenario's voor methaanemissies vanuit De Spinder

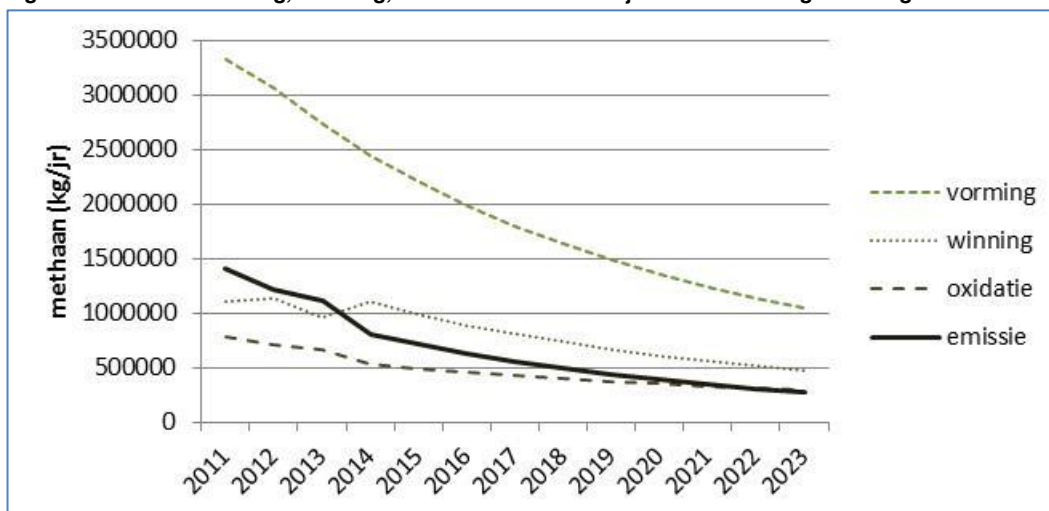


De gemiddelde methaanemissies in de gehele periode 2014-2023 bedragen 860.000 kg methaan per jaar, in geval van het scenario, waarbij geen uitstel van afdichting wordt verkregen. Wanneer de afdichting wordt uitgesteld tot na 2023, stijgen de gemiddelde methaanemissies over deze periode tot 1.000.000 kg per jaar. In geval van de aanvullende maatregelen, worden de gemiddelde methaanemissies weer gereduceerd tot 930.000 kg per jaar.

5.3.2 Verdergaande emissiereductie op Noord- en Midden-Zeeland

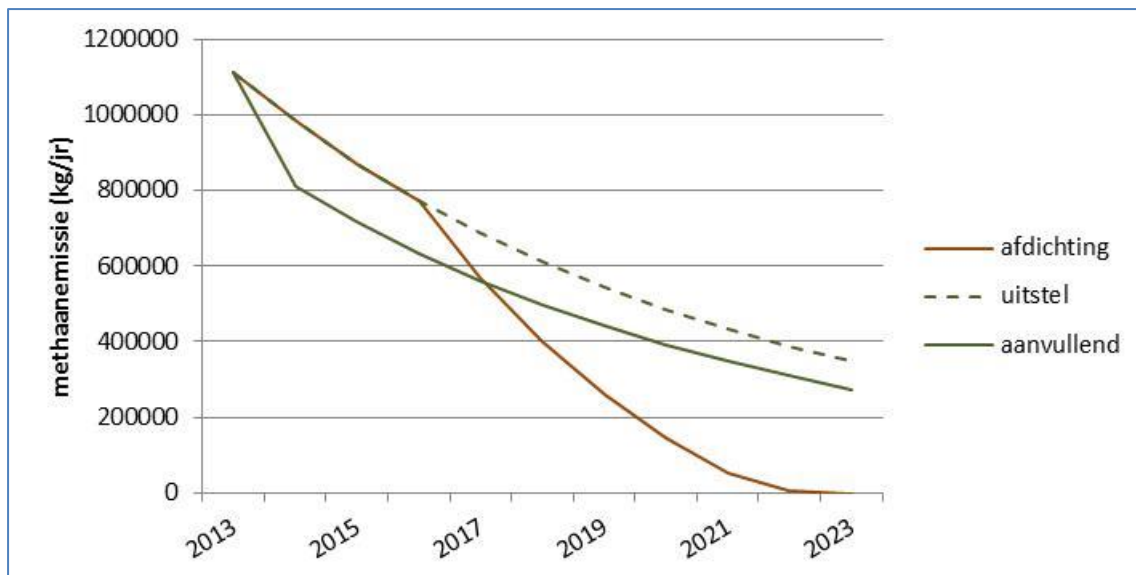
De emissies voor de stortplaats Noord- en Midden-Zeeland in geval van 10%-punt meer winningsrendement als gevolg van een verbeterde stortgasonttrekking, staan weergegeven in figuur 14.

Figuur 14: methaanvorming, -winning, -oxidatie en emissie bij een 10% verhoogd winningsrendement



De methaanemissies van Noord- en Midden-Zeeland in geval van het scenario zonder uitstel, het scenario met uitstel (beide uit hoofdstuk 2) en het scenario met aanvullende maatregelen (vorige figuur) wordt weergegeven in Figuur 145.

Figuur 15: vergelijking van methaanemissies in de drie scenario's voor Noord- en Midden Zeeland.

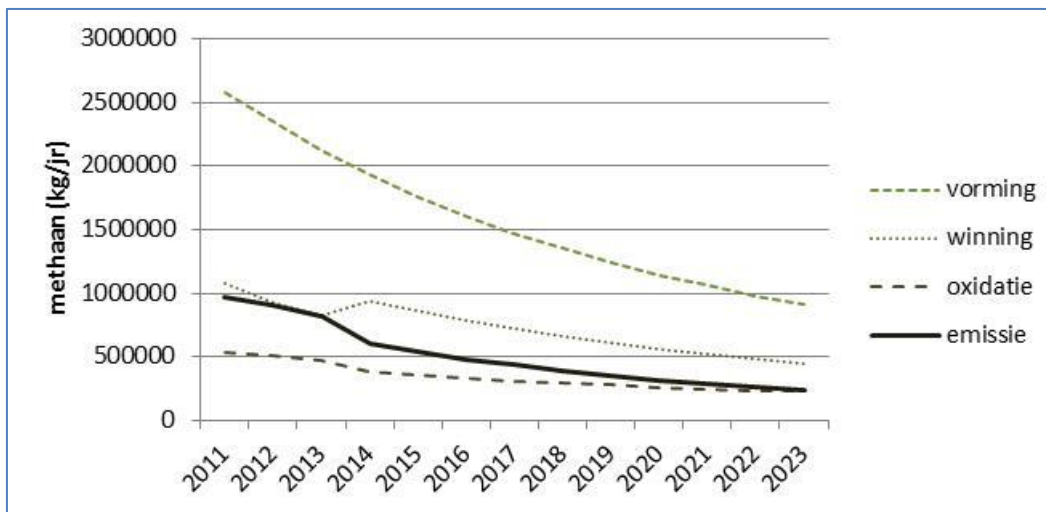


De gemiddelde methaanemissies in de gehele periode 2014-2023 bedragen 470.000 kg methaan per jaar, in geval van het scenario, waarbij geen uitstel van afdichting wordt verkregen. Wanneer de afdichting wordt uitgesteld tot na 2023, stijgen de gemiddelde methaanemissies over deze periode tot 610.000 kg per jaar. In geval van de aanvullende maatregelen, worden de gemiddelde methaanemissies weer gereduceerd tot 500.000 kg per jaar.

5.3.3 Verdergaande emissiereductie op De Wierde

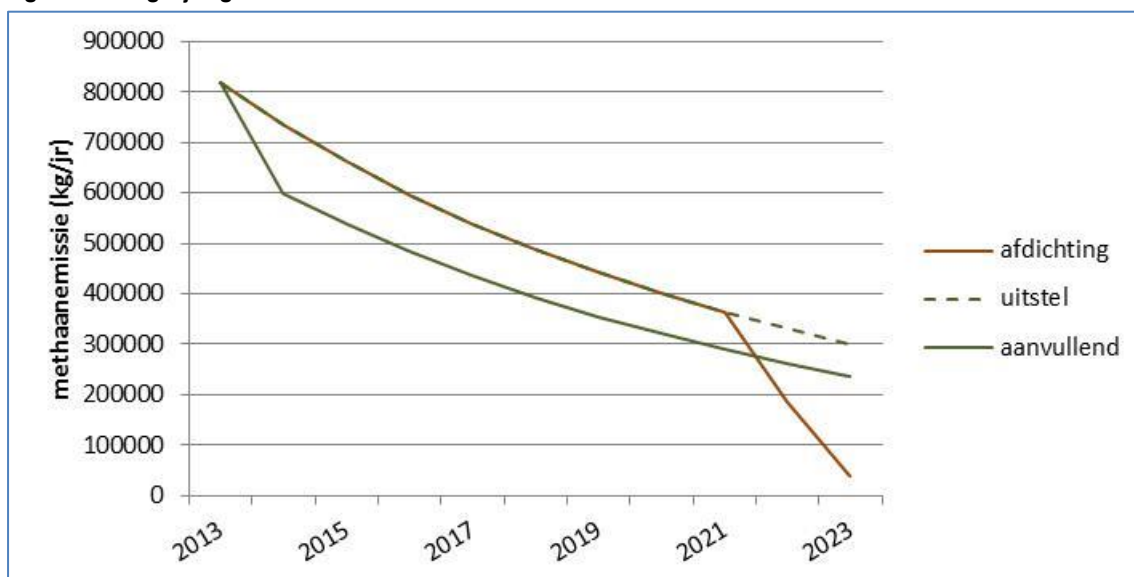
De emissies voor de stortplaats De Wierde in geval van 10%-punt meer winningsrendement als gevolg van een verbeterde stortgasonttrekking, staan weergegeven in Figuur 16.

Figuur 16: methaanemissies van De Wierde in geval van additionele beheersmaatregelen.



De methaanemissies bij De Wierde in geval van het scenario zonder uitstel, het scenario met uitstel (beide uit hoofdstuk 2) en het scenario met aanvullende maatregelen (vorige figuur) wordt weergegeven in Figuur 167.

Figuur 17: vergelijking van methaanemissies in de drie scenario's voor De Wierde.



De gemiddelde methaanemissies in de gehele periode 2014-2023 bedragen 450.000 kg methaan per jaar, in geval van het scenario, waarbij geen uitstel van afdichting wordt verkregen. Wanneer de afdichting wordt uitgesteld tot na 2023, stijgen de gemiddelde methaanemissies over deze periode tot 490.000 kg per jaar. In geval van de aanvullende maatregelen, worden de gemiddelde methaanemissies weer gereduceerd tot 390.000 kg per jaar.

5.4 Discussie en onzekerheden

Alle berekeningen in deze studie bevatten onzekerheden. Dat geldt voor de prognoses voor methaanvorming, winning, oxidatie en emissie. Dat geldt ook voor de kosten en de effectiviteit van de maatregelen. De conclusies van de studie kunnen daarom alleen als een eerste indicatie van mogelijk zinvolle maatregelen om methaanemissies verder te reduceren worden beschouwd.

Deze studie is niet bedoeld als een haalbaarheidsstudie op basis waarvan al direct tot implementatie kan worden besloten van een specifieke maatregel voor één van de drie stortplaatsen. De berekende methaanemissies en rendementen van stortgaswinning voor de drie stortplaatsen zijn schattingen, gemaakt met het Ecofysmodel dat ook gebruikt is voor een eerdere inschatting van methaanemissies als gevolg van introductie duurzaam stortbeheer (Luning en Oonk, 2011). Deze resultaten kunnen verschillen van de emissies en rendementen die de stortplaatsen rapporteren aan het bevoegd gezag en waarvoor vaak meer locatie specifieke informatie beschikbaar is.

Ondanks de onzekerheden zijn de conclusies voor wat betreft effectieve en kosteneffectieve maatregelen robuust. Het lijkt onwaarschijnlijk dat als gevolg van de onzekerheden in de berekeningen, maatregelen die niet kosteneffectief zijn, bij nadere beschouwing wel kosteneffectief blijken of omgekeerd.

Hetzelfde geldt voor de effectiviteit van de maatregelen. Kosten en effecten dienen vóór daadwerkelijke implementatie te worden geverifieerd en getest, bijvoorbeeld door middel van proefonttrekkingen. Bij de Wierde bijvoorbeeld, bestaan twijfels of onttrekking bij een verlaagde methaankwaliteit (dus meer stortgas met een wat lager gehalte aan methaan, waarbij de hoeveelheid onttrokken methaan wordt berekend als het product van beide) inderdaad effect heeft op de hoeveelheid methaan die wordt gewonnen (in kg per jaar) en daarmee op de methaanemissies. Een goed gemonitorde proef, waarbij stortgas met een enigszins verlaagde kwaliteit wordt onttrokken, zou daar uitsluitsel over kunnen geven.

Uiteindelijk is ervoor gekozen om de maatregelen niet alleen te beoordelen op kosten, effecten en kosteneffectiviteit. In aanvulling daarop is een wat meer integrale afweging gemaakt. Dit stond strikt genomen niet in de opdrachtbeschrijving (bijlage 1; N.B. in een toelichting op de deelvragen wordt wel genoemd dat technieken bewezen dienen te zijn), maar is op initiatief van de onderzoekers gebeurd en is ook goed verdedigbaar. Het lijkt evident, dat maatregelen voor methaanemissiereductie minder gewenst zijn, als ze elders onoverkomelijke neveneffecten hebben, of als ze na 2023 verduurzaming mogelijk ernstig bemoeilijken. Vooral het verenigbaar zijn met de verduurzamingsmaatregel blijkt een belangrijk aspect. Maatregelen die gebaseerd zijn op uitbreiding van het bestaande winningssysteem vallen om die reden allemaal af.

Ook de maatregel van tijdelijke afdekking wordt daardoor minder aantrekkelijk. De laatste maatregel is in specifieke situaties mogelijk wel het overwegen waard, zeker als andere belanghebbenden (bijvoorbeeld lokale overheid) gereserveerd staan tegenover de resultaten van toekomstige verduurzamingspilots, of als er twijfels zijn over de levensduur van een bestaande onderafdichting.

In een dergelijk geval is een keuze voor een tijdelijke afdichting wellicht het overwegen waard. Mocht de stortplaats na 2023 niet verduurzaamd worden, dan heeft de maatregel wel degelijk zijn baten in de vorm van vermeden percolaatvorming. Bovendien zal een definitieve bovenafdichting mogelijk wat goedkoper kunnen uitvallen.

Uiteindelijk lijken vooral maatregelen aantrekkelijk, die als doel hebben om de bestaande stortgaswinning te optimaliseren. Tabel 6 geeft nog eens een samenvatting van de vergelijking van de emissies in geval van afdichting, wanneer de afdichting wordt uitgesteld tot 2023 en in geval van verbeterde stortgaswinning.

Tabel 6: emissies van de drie stortplaatsen in de 3 scenario's (gemiddelde emissies van methaan in kg per jaar over de periode 2014-2023).

	De Spinder	Noord- en Midden- Zeeland	De Wierde
Afdichting conform stortbesluit	860.000	450.000	470.000
Uitstel van afdichting	1.000.000	490.000	610.000
Aanvullende maatregelen	930.000	390.000	500.000

De resultaten zijn voor de drie stortplaatsen weliswaar wat verschillend, maar de teneur is dat extra methaanemissies als gevolg van uitstel beperkt zijn en kunnen worden gecompenseerd door een extra inspanning om de stortgaswinning te verbeteren.

In het ene geval (De Wierde) lukt dat wat beter dan in het andere geval (De Spinder). Dat heeft vooral te maken met het aangenomen tijdstip van afdichting (bij de Spinder wat eerder; bij de Wierde wat later) en het aangenomen potentieel van de mogelijke aanvullende maatregelen (bij De Spinder wordt gas benut door opwerking naar aardgaskwaliteit. Bij de Wierde vindt benutting deels plaats in een gasmotor en deels in een ketel. Bij De Spinder bestaan daardoor minder mogelijkheden om de gaswinning te optimaliseren dan bij De Wierde.

In de Ecofys-studie (Luning en Oonk, 2011) zijn de extra emissies als gevolg van uitstel van de bovenafdichting berekend, met als aanname dat zonder uitstel alle PDS-locaties in 2013 zouden worden afdicht. Dat was een bewuste worst-case aanname, gedaan omdat geen locatie specifieke informatie beschikbaar was over het waarschijnlijke moment van afdichting. Wanneer deze aanname ook zou worden gedaan voor de drie PDS-locaties in deze studie, zouden de gemiddelde methaanemissies in de periode 2014-2023 (zie bovenstaande tabel) in geval van afdichting tot 0 worden gereduceerd. De extra methaanemissie als gevolg van uitstel van afdichting zou hierdoor fors worden overschat¹⁰. Voor de overige PDS-locaties (in deze studie niet geëvalueerd) geldt waarschijnlijk ook dat het afdichtingsscenario in de Ecofys-studie aanzienlijk worst-case is.

¹⁰ bijvoorbeeld voor De Spinder geeft deze studie een extra methaanemissie als gevolg van uitstel van afdichting van gemiddeld 140.000 kg per jaar (verschil van de emissies in geval van afdichting conform stortbesluit en de emissies in geval van uitstel van afdichting, zie bovenstaande tabel). In geval van de Ecofysaanname m.b.t. afdichting zouden de gemiddelde methaanemissies in geval van afdichting 0 kg per jaar zijn en de extra methaanemissies gemiddeld 1.000.000 kg per jaar.

Gevolg is dan ook, dat de Ecofysstudie de extra emissies als gevolg van uitstel van afdichting van de PDS-locaties fors overschat.

De maatregelen zijn in deze studie uitgewerkt voor drie van de 19 PDS-locaties. Waarschijnlijk zijn de extra methaanemissies als gevolg van uitstel op de overige locaties te reduceren met vergelijkbare maatregelen. De drie PDS-locaties in deze studie zijn geselecteerd op het resterend potentieel voor methaanvorming. De emissies (per ha per jaar) en het emissiereductiepotentieel zijn voor de overige stortplaatsen daardoor waarschijnlijk lager.

5.5 Methaanemissies uit stortplaatsen in een breder kader geplaatst

Er zijn in Nederland ongeveer 60 stortplaatsen (Werkgroep Afvalregistratie, Afvalverwerking in Nederland, 2011) met een totale oppervlakte van ongeveer 1500 hectares die conform Stortbesluit zouden moeten worden afgewerkt. Bijna 40 stortplaatsen, met een totaal oppervlak van 550 hectares, zijn gesloten. 450 hectares hiervan is al van een afdichting. De overige 100 hectares is mogelijk ook afgedicht of zal zeer binnenkort afgedicht worden.

In 2013 zijn nog 21 stortplaatsen, met een totaal oppervlak van ongeveer 950 hectares in exploitatie. Op deze stortplaatsen is een oppervlakte van ongeveer 100 hectares al voorzien van een afdichting (het betreft volgestorte stortvakken). In navolging van het Stortbesluit zou in de periode 2014-2023, vanwege de leeftijd van de onderafdichting, circa 20 hectares per jaar moeten worden afgedicht. Het merendeel hiervan, circa 650 hectares, hoeft conform Stortbesluit pas ná 2023 te worden afgedicht. Op deze circa 650 hectares is als gevolg van het project IDS dan ook geen sprake van een extra methaan emissie; het aanbrengen van de afdichtingen wordt immers niet uitgesteld ten opzichte van de oorspronkelijke planning.

De voor IDS geselecteerde pilot- en PDS-locaties omvatten in totaal ongeveer 444 hectares. Deze oppervlakte valt deels in de circa 200 hectares die vóór 2023 afgedicht moet conform vigerend beleid. Het overige deel valt binnen de circa 650 hectares die niet vóór 2023 afgedicht hoeft te worden.

Naast de niet afgedichte stortplaatsen die onder het regime van het Stortbesluit vallen, zijn er in Nederland ongeveer 3900 zogenaamde voormalige stortplaatsen. AgentschapNL rapporteert periodiek over de emissie uit *alle* Nederlandse stortplaatsen, dus inclusief de voormalige stortplaatsen. De totale methaanemissie van de Nederlandse stortplaatsen bedroeg in 1990 12,0 Mton CO₂ eq. In 2011 was dit gedaald tot 3,2 Mton CO₂ eq (RIVM, april 2013, Greenhouse gas emissions in The Netherlands 1990-2011, National Inventory Report 2013).

Ter vergelijking: de methaanemissie van de landbouwsector bedroeg in 1990 10,7 Mton CO₂ eq en in 2011 9,2 Mton CO₂ eq (RIVM, 2013). In het wegtransport bedroeg de broeikasgasemissie in 1990 25,5 Mton CO₂ eq en in 2011 34,1 Mton CO₂ eq (RIVM, 2013).

De totale Nederlandse broeikasgas emissie bedroeg in 2011 194,4 Mton CO₂ eq (RIVM, 2013). De methaanemissie van stortplaatsen bedroeg in 2011 derhalve 1,6% van de totale Nederlandse broeikasgasemissie (in 1990 was dit nog bijna 6%).

Volgens het door Royal Haskoning opgestelde rapport “Potentiële maatregelen voor de reductie van methaanemissies uit stortplaatsen” (Zegers en Boerboom, 2009), opgesteld in opdracht van SenterNovem, is ongeveer 85-90% van de methaanemissie van Nederlandse stortplaatsen afkomstig uit de niet-afgedichte voormalige stortplaatsen. De bijdrage van niet-afgedichte stortplaatsen binnen het regime van het Stortbesluit bedraagt derhalve minder dan 0,24% van de totale Nederlandse broeikasgasemissie.

De Ecofys studie (Luning en Oonk, 2011) in opdracht van I&M (Stortgasemissies Duurzaam Stortbeheer) stelt dat de stortgasvorming door succesvol Nederlands afvalbeleid (vooral door de invoering van stortverboden voor biologisch afbreekbaar afval) een sterk dalende trend vertoont. In 1994 bedroeg de methaanemissie van pilot- en PDS-locaties ongeveer 17 kton CH₄ per jaar (0,36 Mton CO₂ eq). In 2012 was dat afgenomen tot ongeveer 6 kton CH₄/jaar (0,13 Mton CO₂ eq). Op de 3 beschouwde PDS-locaties bedraagt de gemiddelde methaanemissie respectievelijk 0,7, 0,6 en 0,6 liter methaan per m² per uur. Dit zijn de 3 locaties met hoogste gasvorming, zoals vastgesteld in (OonKAY!, 2013, zie bijlage 2). Bij een aangenomen methaanemissie op alle pilot- en PDS-locaties (444 ha) van gemiddeld 0,4 liter methaan per m² per uur, komt de gemiddelde methaanemissie overeen met 0,12 Mton CO₂ eq. Dit komt overeen met ongeveer 0,07% van de totale Nederlandse broeikasgas emissie. Aanvullende emissiereducerende maatregelen zullen dus alleen (beperkt) effect hebben op deze fractie van de totale broeikasgas emissie: een fractie van 0,07%.

In vergelijking met landbouw en wegtransport lijkt het nog aanwezige broeikasgas besparingspotentieel bij de operationele stortplaatsen ofwel bij de IDS pilot- en PDS-locaties zeer beperkt. Dit zeer beperkte besparingspotentieel zorgt voor een gering effect van aanvullende maatregelen. Dit op zijn beurt zorgt voor een ongunstige kosteneffectiviteit van de aanvullende maatregelen per vermeden ton CO₂ eq.

6 BEANTWOORDING DEELVRAGEN EN MEER INTEGRALE CONCLUSIE

6.1 Beantwoording van de deelvragen

Deelvraag 1. Hoe groot is de jaarlijkse methaanemissie per pilotlocatie, dan wel per (cluster van) stortvak(ken)?

In een eerste fase zijn drie PDS-locaties geïdentificeerd, welke bovengemiddeld bijdragen aan de extra emissies als gevolg van uitstel van bovenafdichting van 19 PDS-locaties. Deze drie stortplaatsen zijn: De Spinder te Tilburg; Noord- en Midden Zeeland in Borsele; De Wierde in Skarsterlân. Emissies van de drie stortplaatsen zijn gekwantificeerd. **De emissies zijn gemiddeld in 2013 0,6 tot 0,7 l CH₄ per m² per uur, afnemend tot 0,2 tot 0,3 l CH₄ per m² per uur in 2023.** Deze emissies bevinden zich aan de lage kant van de range van emissies van afgesloten stortplaatsen als gemeten door Oonk en Boom (1995) en Scharff et al. (2004). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het succes van het Nederlandse afvalbeleid. Al vanaf 1995 wordt er ieder jaar minder afbreekbaar organisch afval gestort. Gasvorming is beduidend lager dan voor de typische stortplaats voor stedelijk afval die rond 1994 in Nederland nog veelvuldig voorkwam. Het effectieve Nederlandse afvalbeleid leidt tot relatief lage en verder afnemende methaanemissies in vergelijking met de situatie in 1994 en 2003.

Deelvraag 2. Welke maatregelen komen naast de genoemde oxidatielaag (uitvoerings)technisch in aanmerking voor effectieve methaanreductie?

Methaanoxidatie in zijn verschillende uitvoeringsvormen heeft momenteel nog twee serieuze nadelen: de maatregel is niet kosteneffectief en de maatregel kan ook nog niet als technisch bewezen worden beschouwd.

De enige maatregelen die kosteneffectief zijn, bewezen zijn en verder geen problemen opleveren zijn de healthcheck, het affakkelen van laagcalorisch gas en onttrekken/benutten van een iets lagere gaskwaliteit. Het effect van deze maatregelen is echter beperkt.

- **Healthcheck:** optimaliseren van bestaande onttrekkingsystemen.
- **Aanpassen van bestaande benuttingsinstallatie** voor de verwerking van lagere kwaliteiten stortgas.
- **Affakkelen van laagcalorisch stortgas.**

Deelvraag 3. Wat is de effectiviteit van de oxidatielaag bij de optredende methaanemissie en van de overige in aanmerking komende maatregelen?

De mogelijke effecten van de verschillende geïdentificeerde maatregelen staan samengevat in tabel 7.

Tabel 7: mogelijke effecten van geïdentificeerde maatregelen

Maatregel	Effecten, gemiddeld per ha per jaar (% van totaal emitterend methaan)
Oxidatie in afdekragen	
- gehele stortplaats	90-100%
- alleen compartiment met hoge emissies	30-60%
- hot spot remediation	10-50%
Vergroten brondichtheid	5-10%
Affakkelen laagcalorisch stortgas	
- integratie met bestaand onttrekkingsstelsel	10-20%
- met separaat leidingensysteem	10-20%
Health check	2-10%
Multriwell onttrekkingsstelsel	90-100%
Talud afdichting / ontgassing	10-20%
Benutting lagere kwaliteit stortgas	2-10%
Tijdelijke afdichting	90-100%

*) Volgens de onderzoekers, mag deze beoordeling van de effectiviteit niet los worden gezien van o.a. het bewezen zijn van de techniek, maar ook bijvoorbeeld niet los van de interactie met mogelijke toekomstige verduurzamingsmaatregelen.

Deelvraag 4. Wat zijn de totale kosten van de maatregelen uitgesplitst naar investeringskosten, kosten voor beheer en onderhoud en eventuele kosten bij ontmanteling na functie beëindiging?

De kosten van de maatregelen staan weergegeven in onderstaande tabel 8.

Tabel 8: kostenaspect van de geïdentificeerde maatregelen

Maatregel	kosten (€ per ha)	operationele kosten (€ per ha/jr)	baten (€ per ha/jr)	jaarkosten (€ per ha/jr)
Oxidatie in afdekragen				
- gehele stortplaats	530000	1750		70387
- alleen compartiment met hoge emissies (25%)	132500	440		17599
- hot spot remediation	38100	150		5084
Vergroten brondichtheid	15000	250	210	1983
Affakkelen laagcalorisch stortgas	437,5		-1260	1317
Health check		250	120	130
Multriwell onttrekkingsstelsel	275000	1750	2100	35264
Talud ontgassing	20000		630	1960
Benutting lagere kwaliteit stortgas	500			65
Tijdelijke afdichting	75000	3500	1680	11533

Deelvraag 5. Hoe dient met het begrip 'kosteneffectiviteit' te worden omgegaan en kan hiervoor worden aangesloten bij al bestaande uitwerkingen ervan?

De kosteneffectiviteit kan worden gebruikt om de kosten van de maatregel af te wegen tegen de milieubaten. De verhouding tussen kosten en effecten van een te nemen maatregel wordt daarbij getoetst aan een normwaarde. De normwaarde kan zijn gebaseerd op kosten en effecten van reeds gerealiseerde maatregelen, of van maatregelen die noodzakelijk zijn om een beleidsdoelstelling te realiseren. Toepassing van kosteneffectiviteit is bestaand beleid.

In de NeR wordt kosteneffectiviteit een belangrijk element genoemd voor het overleg tussen het bevoegd gezag en het bedrijfsleven. Kosteneffectiviteit heeft daarom ook een plaats gekregen in de handreiking Methaanreductie Stortplaatsen (SenterNovem, 2007).

Het ontbreken van normen op het gebied van methaanemissies vanuit stortplaatsen, maakt het relatief lastig om het begrip kosteneffectiviteit direct te koppelen aan methaanemissiereducerende maatregelen. Een prijsniveau, gekoppeld aan de marktwaarde van CO₂-eq., en mede gebaseerd op de huidige ontwikkelingen in deze marktwaarde en het daadwerkelijke effect wat deze waarde verwacht wordt te hebben, lijkt te liggen tussen 10 en 20 Euro per ton CO₂-eq. Maatregelen met een kosteneffectiviteit tot € 25-30 per ton CO₂-eq. kunnen het waard zijn om te overwegen, wanneer vanuit het generieke broeikasgasbeleid in Nederland wenselijk is om nog aanvullende maatregelen voor methaanemissiereductie te implementeren op stortplaatsen.

Andere externe factoren, die in deze rapportage niet zijn meegenomen maar in de loop der tijd kunnen optreden, kunnen een significant effect hebben op het prijsniveau en daarmee op de kosteneffectiviteit van potentiële maatregelen.

Deelvraag 6. Bij welke verhouding tussen baten en kosten wordt een maatregel als kosteneffectief beoordeeld?

Uit de beantwoording van deelvraag 5 kan men afleiden dat wanneer een beoogde maatregel een verwacht kostenniveau van maximaal 20 euro per ton CO₂-eq. vertegenwoordigt, deze maatregel, binnen de gedefinieerde randvoorwaarden en in de huidige marktomstandigheden, als kosteneffectief kan worden beschouwd. Significante positieve of negatieve afwijkingen in de genoemde kosten / baten niveaus zouden tot heroverweging van de toepassing van maatregelen moeten leiden.

Tabel 9: globaal overzicht gebaseerd op de drie geselecteerde stortplaatsen.

Maatregel	kosteneffectiviteit (€/ton CO₂-eq)
Oxidatie in afdeklagen	
- gehele stortplaats	134
- alleen compartiment met hoge emissies (25%)	67
- hot spot remediation	65
Vergroten brondichtheid	31
Affakkelen laagcalorisch stortgas	10
Health check	3
Multriwell onttrekkingsysteem	67
Talud ontgassing	10
Benutting lagere kwaliteit stortgas	5
Tijdelijke afdichting	22

6.2 Integrale conclusies

Kosten en effecten (reductiepotentieel) zijn twee belangrijke aspecten van de afweging om specifieke maatregelen te implementeren. Voor een werkelijke evaluatie lijkt een meer integrale afweging wenselijk, waarbij ook wordt gekeken naar de mate waarin een techniek in de praktijk bewezen is.

Bij de drie geselecteerde PDS-stortplaatsen zijn de extra methaanemissies als gevolg van uitstel beperkt en te compenseren door een grotere inspanning om stortgas te

onttrekken in de periode voordat een afdichting dient te worden gerealiseerd conform Stortbesluit. Afhankelijk van de praktijk van stortgaswinning en bijvoorbeeld de flexibiliteit die de benuttingsinstallatie levert, lijken bij de ene stortplaats de mogelijkheden hiervoor wat groter dan bij de ander. De beperkte extra emissie als gevolg van uitstel komt, doordat zonder uitstel de stortplaatsen pas vrij laat in de periode 2014-2023 van een afdichting zullen worden voorzien.

De extra methaanemissies als gevolg van uitstel in de Ecofysstudie lijken fors te zijn overschat. Dit wordt verklaard doordat voor de Ecofysstudie geen locatie specifieke informatie beschikbaar was. Daarvoor zijn aannames gedaan die soms bewust een worst-case karakter hadden. In andere gevallen zijn parameters wat te pessimistisch ingeschat.

In fase 1 van de studie is al geconcludeerd dat gemiddelde leeftijd en ook het gemiddelde koolstofgehalte in de betreffende stortplaatsen in werkelijkheid wat minder zijn, waardoor de stortgasvormingen per hectare minder zijn dan in de Ecofysstudie werd geschat. De dikte van het afvalpakket en het winningsrendement zijn in de Ecofysstudie daarentegen wat positief ingeschat, wat leidt tot een wat verhoogde aanvullende emissie per ha als gevolg van uitstel van afdichting.

In de Ecofysstudie is echter ook sprake van optimistische scenario's, aangenomen voor afdichting. Dit heeft forse consequenties voor het eindresultaat van de betreffende studie: door Ecofys werd aangenomen dat al het oppervlak van de 19 PDS-locaties in 2013 zou worden afgedicht. Als dat wordt genuanceerd (zoals in deze studie is gedaan voor drie stortplaatsen), dan wordt een aanzienlijk lagere extra methaanemissies berekend als gevolg van uitstel van bovenafdichting. Het is goed mogelijk dat de werkelijke extra methaanemissies als gevolg van uitstel van afdichting 25 tot 50% bedraagt van de door Ecofys geschatte extra emissies.

Het is desondanks aan te bevelen om de resultaten van de studie, maar ook bijvoorbeeld ervaringen bij eventuele, goed gemonitorde implementatie van maatregelen, breder te verspreiden onder alle beheerders van PDS-locaties. Met enige regelmaat terugkerende workshops (bijvoorbeeld het terug in het leven roepen van de periodieke stortgascontactdagen, zoals in het verleden werden georganiseerd door het Adviescentrum Stortgas) zou daarvoor een middel kunnen zijn.

7 BRONVERMELDING

Abichou T., Chanton J., Powelson D., Fleiger J., Escoriaza S., Lei Y., Stern J. (2006b): Methane flux and oxidation at two types of intermediate landfill covers, *Waste Management* 26 (2006) pp. 1305–1312.

Boeckx, P., Van Cleemput, O., and Villaralvo, I. (1996): Methane emission from a landfill and the methane oxidising capacity of its covering soil, *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 28, pp 1397-1405.

Bogner J., Spokas, K., Chanton, J., Powelson, D., Fleiger, J. & Abichou, T. (2005) Modeling landfill Methane Emissions from Biocovers: A combined theoretical-empirical Approach. In: Proc. Sardinia '05. Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, 3–7 October, CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy.

Börjesson G., Svensson B. (1997): Seasonal and diurnal methane emissions from a landfill and their regulation by methane oxidation. *Waste Management and Research*, 15, pp. 33–54.

Bräcker W., *AbfallwirtschaftsFakten 17, Temporäre Abdeckungen von Deponien*. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hildesheim, november 2008

Bräcker W., *AbfallwirtschaftsFakten 19, Deponieentgasung bei rückläufigen Deponiegasmengen*. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hildesheim, januari 2010

Chanton J.P., Powelson D.K., Green R.B. (2009): methane oxidation in landfill cover soils, is a 10% default value reasonable? *J. Environ. Qual.* 38:654–663.

Czepiel P.M., Mosher B., Crill P.M., Harris R.C. (1996b): Quantifying the effect of oxidation on landfill methane emissions. *Journal of Geophysical Research*. 101, 16721-16729.

Daniëls B. (2013): personal communication, ECN-beleidsstudies, Petten.

Daniëls G., Tieben B., Weda J., Hekkenberg M., Smekens K., Vethman P., (2012): *Kosten en baten van CO₂-emissiereductie maatregelen*, ECN-E--12-008.

EC (2012a). Proposal for a Decision of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC clarifying provisions on the timing of auctions of greenhouse gas allowances. COM(2012) 416 final. European Commission, Brussels.

EC (2012b). Proportionate Impact Assessment accompanying the Commission Regulation (EU) No ./. of XXX amending Regulation (EU) No 1031/2010 in particular to determine the volumes of greenhouse gas emission allowances to be auctioned in 2013-2020. Commission Staff Working Document [...] (2012) XXX draft. European Commission, Brussels.

Emissieregistratie (2013): data van www.emissieregistratie.nl

Gebert J., Huber-Humer M., Oonk H., Scharff H. (2011): Methane Oxidation Tool, An approach to estimate methane oxidation on landfills, Explanatory Note, via: http://www.afvalzorg.nl/Libraries/Publications_Methane_oxidation/Methane_Oxidation_Tool_explanatory_note.sflb.ashx

Geck C., J. Gebert J., Röwer I. U. , Scharff H., Pfeiffer E.-M. (2013): Assessment of the efficiency of a methane oxidation biocover test field, In: Proceedings Sardinia 2013, 14th International Waste Management and Landfill Symposium, 30 sept.–4 October 2013, CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy.

A. Al-Halbouni, A. Giese, H. Rahms, K. Görner, I. Schmitz, V. Scherer, T. Schulzke, 2009, Flexibles Feuerungssystem zur Verbrennung von Schwachgasen in Mikrogasturbinen-Brennkammern.

A. Al-Halbouni, Anne Giese, Hendrik Rahms, Klaus Görner, Gaswärme International, Heft 1-2/2008, Gaswärme-Institut e. V. Essen (GWI), Effiziente Verwertung von Bio- und Deponiegasen in Mikrogasturbinen.

Huber-Humer M. (2004): Abatement of landfill methane emissions by microbial oxidation in biocovers made of compost. Doctoral Thesis bij de University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna, Institute of Waste Management, Wenen, Oostenrijk.

Huber-Humer M., Amann A., Bogolte T., Dos Santos M., Hagenauer I., Pauliny W., Reichenauer T., Watzinger A., Wimmer B. (2008): Technischer Leitfaden Methanoxidationsschichten. Erstellt im Rahmen der ÖVA-Arbeitsgruppe „Leitfaden Methanoxidationsschichten“.

I&M (2013): Beantwoording Kamervragen over sterke daling CO₂-prijs, 4 maart 2013, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag.

LAGA (2012): LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechniek“ Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-3, Methanoxidationsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen, LAGA, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall , Erfurt, Duitsland.

Luning L., Oonk H. (2011): Stortgasemissies duurzaam stortbeheer, Ecofys-projectnummer PSUPNL102132, Ecofys, Utrecht.

Oonk H., Boom T. (1995): Landfill gas formation, recovery and emission, TNO-rapport 95-203, TNO, Apeldoorn, the Netherlands.

Oonk H., Hensen A., Mahieu K., De Visscher A., van Velthoven F., Woelders H. (2004): Verbeterde methaanoxidatie in toplagen van stortplaatsen, TNO-rapport R2004/377, TNO, Apeldoorn, The Netherlands.

Oonk H. (2010): Oxidatie van methaan in toplagen van stortplaatsen, naar eenbetere kwantificering, OonkAY!, Apeldoorn, the Netherlands.

Point Carbon (2012): Potential market impacts of backloading proposals. Presentation for the Economic Policy Committee Working Group on Energy and Climate Change on 12 September 2012, Brussels. Aangehaald in Verdonk et al. (2013).

Point Carbon (2012): Carbon 2012, A market waiting for Godot.
http://www.pointcarbon.com/polopoly_fs/1.1814671!Carbon%202012_FINAL.pdf

Röwer I.U, Gebert J., Streese-Kleeberg J., Gröngröft A., Melchior S., Steinert B., Pfeiffer E.M., Design,(2011): Implementation and operation of soil-based methane oxidation windows for the remediation of gas emission hot-spots in landfill cover soils, Proceedings Sardinia 2011, Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 3 - 7 October 2011

Scharff H. and J. Jacobs (2003) 'Combustion of low methane landfill gas', Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, (eds. T.H. Christensen, R. Cossu, R. Stegmann), Sardinia, Italy, 2003.

Scheutz C., Kjeldsen P., Bogner J.E., De Visscher A., Gebert J., Hilger H.A., Huber-Humer M., Spokas K. (2009): Microbial methane oxidation processes and technologies for mitigation of landfill gas emissions, Waste Management & Research, 27: pp. 409–455.

Senter Novem (2007): Handreiking methaanreductie stortplaatsen

Timmermans et al, 2012. 28. Fachtagung „Die sichere Deponie 2012 – Sicherung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen“ SKZ - ConSem GmbH, Würzburg und AK GWS Arbeitskreis Grundwasserschutz e. V, Berlin, Ing. Eugène Timmermanns, Dipl.-Geo. Mike Naismith (NL-Velddriel): A new, effective solution for landfill gas extraction

Verdonk M., Brink C., Vollebergh H, Roelfsema M. (2013): Evaluation of policy options to reform the EU Emissions Trading System. Effects on carbon price, emissions and the economy, PBL publication number: 934, PBL, Bilthoven.

Verdonk M., Wetzels W. (2012): Geactualiseerde Referentieraming energie en emissies. Actualisatie 2012. Energie en emissies in de jaren 2012, 2020 en 2030, PBL-publicatienummer: 500278001, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag

Zegers, H.R., Boerboom, A.A.M. (2009): Potentiële maatregelen voor de reductie van methaanemissies uit stortplaatsen. 9T7740.01/R0002/426140/Nijm.

Zegers, H.R., Boerboom, A.A.M. (2010): Health-check Stortgasinstallaties. 9V3828.01/R0001/Nijm

BIJLAGE 1
ONDERZOEKSVRAAG VAN HET MINISTERIE

Bijlage 1: Onderzoeksvoorstel: Aanvullende maatregelen methaanemissies reductie IDS

Datum 11 juni 2012 (concept)

1. Algemeen

Bij de Tweede Kamerbehandeling van het Ontwerpbesluit Crisis- en Herstelwet over de experimentenparagraaf Duurzaam Stortbeheer heeft de Kamer een motie aangenomen (nr. 32127 van 16 februari 2012) die betrekking heeft op stortplaatsen die in aanmerking komen voor uitstel voor het aanbrengen van een bovenafdichting.

Het betreft de volgende motietekst:

'Verzoekt de regering, in gesprekken met het bevoegd gezag en de exploitant erop aan te dringen dat zij onderzoeken met welke maatregelen, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van een oxidatielaag, extra methaanuitstoot kosteneffectief kan worden teruggebracht.'

De motie, die is ingediend door mevr. Van Veldhoven van D66, is mede aanleiding geweest voor het ministerie van I&M om een onderzoeksvoorstel te formuleren naar aanvullende maatregelen die op basis van kosteneffectiviteit kunnen worden genomen om extra methaanemissies te reduceren. Hiertoe wordt als eerste een notitie opgesteld, die de kaders beschrijft waarbinnen het Ministerie invulling zal geven aan het in de motie genoemde verzoek.

Een tweede aanleiding voor het onderzoeksvoorstel vormt de notitie 'Uitstellocaties'. In deze notitie staat de procedure beschreven, en zijn de voorwaarden opgenomen, voor opname van locaties op de lijst van stortplaatsen die conform de Chw-amvb in aanmerking komen voor uitstel van de aanleg van een bovenafdichting. Een van de voorwaarden met betrekking tot de beoordeling of een locatie geschikt is voor verduurzaming heeft betrekking op de methaanemissie en de in dat kader mogelijk te treffen aanvullende maatregelen.

Het voorliggende concept onderzoeksvoorstel is gebaseerd op het startdocument voor de genoemde kadernotitie en het gestelde in de notitie Uitstellocaties. Het onderzoeksvoorstel zal concreet worden gemaakt zodra de kadernotitie door een nog in te stellen begeleidingscommissie is geaccordeerd.

Het onderzoeksvoorstel, de tussenrapportages en de eindrapportage zullen worden begeleid door werkgroep 3 van het project IDS.

Oprachtgever is de Stichting Duurzaam Stortbeheer. Opdrachtnemer is Royal Haskoning, René Boerboom. Royal Haskoning betreft in uitvoering van het onderzoek in ieder geval Hans Oonk en Luchien Luning (schrijvers van de Ecofys-rapportage van juni 2011: Stortgasemissies duurzaam stortbeheer). Planning opdrachtverlening: zo spoedig mogelijk.

2. Onderzoeksvoorstel

De motie bevat een kernvraag, waartoe ook enkele deelvragen kunnen worden gerekend, die van belang zijn bij de beantwoording van de kernvraag. In de tekst van de motie wordt er namelijk impliciet van uitgegaan, dat er maatregelen beschikbaar zijn, waarmee de extra methaanemissie op bedoelde stortplaatsen effectief kan worden gereduceerd, waardoor de kernvraag zich alleen richt op de type maatregelen waarmee dit op kosteneffectieve wijze kan worden gerealiseerd. Het ministerie van I&M kiest ervoor, mede in het licht van het gestelde hierover in de notitie Uitstellocaties de vraag in een iets breder perspectief te plaatsen. Het Ministerie wil als eerste antwoord op de vraag of er praktisch en uitvoeringstechnisch gezien mogelijkheden zijn om de methaanemissie bij bedoelde stortplaatsen (in belangrijke mate) te reduceren en vervolgens of dit op 'kosteneffectieve' wijze kan gebeuren en met welke maatregelen. Om hierop antwoord te geven, zijn de volgende deelvragen van belang:

1. Hoe groot is de jaarlijkse methaanemissie per pilotlocatie, dan wel per (cluster van) stortvak(ken)?
2. Welke maatregelen komen naast de genoemde oxidatielaag (uitvoerings)technisch in aanmerking voor effectieve methaanreductie?;
3. Wat is de effectiviteit van de oxidatielaag bij de optredende methaanemissie en van de overige in aanmerking komende maatregelen?;
4. Wat zijn de totale kosten van de maatregelen uitgesplitst naar investeringskosten, kosten voor beheer en onderhoud en eventuele kosten bij ontmanteling na functie beëindiging?;
5. Hoe dient met het begrip 'kosteneffectiviteit' te worden omgegaan en kan hiervoor worden aangesloten bij al bestaande uitwerkingen ervan?;
6. Bij welke verhouding tussen baten en kosten wordt een maatregel als kosteneffectief beoordeeld?

In een recent uitgevoerde studie door Ecofys (Stortgasemissies Duurzaam Stortbeheer, eindrapport, juni 2011) is onderzoek gedaan naar de omvang van de mogelijk extra methaanemissies en de mogelijke maatregelen voor het verminderen van deze extra emissies. Onderzoek is uitgevoerd om zicht te krijgen in de omvang van deze problematiek en in de mogelijk te treffen maatregelen om de optredende emissies te reduceren.

De studie is uitgevoerd voor vier pilotstortplaatsen (Wieringermeer, Braambergen, Kragge II en Vlagheide) en voor 15 overige stortplaatsen in Nederland die bij een succesvolle uitvoering van de pilots ook voor verduurzaming in aanmerking komen. De studie voor pilotstortplaatsen is zo veel als mogelijk gebaseerd op locatiespecifieke informatie, terwijl voor de overige stortplaatsen is uitgegaan van een **gemodelleerde** situatie op basis van kengetallen uit de praktijk.

De resultaten van de studie betreffen de uitkomsten van modelberekeningen. Bestaande rekenmodellen zijn bij aanvang van de studie op bruikbaarheid geëvalueerd. Op basis van kennis en ervaring van experts is vervolgens een keuze gemaakt voor een model, dat voor dit specifieke doel nog is geoptimaliseerd. Veel energie is in het voortraject gestoken in het verzamelen en analyseren van invoergegevens en in het maken van verantwoorde keuzes daarin. Modelopzet, uitgangspunten en invoergegevens zijn afgestemd binnen een voor dit project ingestelde begeleidingsgroep. Gezien deze inspanning lijkt het gerechtvaardigd om het Ecofys-model te gebruiken bij het beantwoorden van de deelvragen over emissieprognoses met en zonder maatregelen.

Omdat de studie een 'theoretische' benadering van het probleem betreft en het met name ging om inzicht te verschaffen in de omvang van mogelijk optredende emissies, is gewerkt met drie scenario's (een hoog, realistisch en laag emissie scenario). Hiermee kon de gevoeligheid van veranderingen van specifieke parameters op de uitkomsten van de berekeningen duidelijk worden gemaakt. De parameters die het meest van belang zijn voor de berekeningen en de uitkomsten zijn de afvalhoeveelheden, afvalsamenstelling en ouderdom van de stortplaatsen alsmede de mate van invloed van oxidatie in de afdeklaag en de invloed van beluchten. Ook deze benadering kan worden gevolgd bij het beoordelen van de effectiviteit van eventueel in te zetten maatregelen.

De Ecofys studie heeft uitgewezen dat de extra methaanemissie ten gevolge van Duurzaam Stortbeheer in algemene zin beperkt is. Echter voor de uitstellocaties is gewerkt met een gemodificeerde stortplaats, zodat in specifieke situaties 'uitschieters' kunnen optreden zowel naar boven als beneden. Voor de pilotlocaties is zoals genoemd wel gewerkt met een op de specifieke stortplaats geënt model.

Beantwoording deelvraag 1:

Om de eerste deelvraag te beantwoorden wordt voor elke uitstellocatie afzonderlijk de volgende procedure voorgesteld:

1. Per stortplaats wordt beschouwd welke inputvariabelen (zie bovenstaand) duiden op een significant andere stortgasvorming dan de gemiddelde inputvariabelen gebruikt in de Ecofys studie. Indien alle locatie specifieke input variabelen duiden op een gelijke en/of lagere stortgasvorming dan mag worden aangenomen dat de locatie een geringere methaanemissie veroorzaakt dan het gemiddelde beeld in de Ecofys studie. Daarmee kan de methaanemissie van de specifieke locatie ook als beperkt aangemerkt worden en behoeven de vervolgstappen niet te worden doorlopen. Een dergelijke kwalitatieve vergelijking kan als volgt worden gepresenteerd.

Tabel: Voorbeeld vergelijking inputvariabelen

Relevante inputvariabelen	Referentie-situatie	Stort A	Stort B	Stort C	Stort D	Stort X
1.	waarde	+	-	-	0	--
2.	waarde	0	0	--	-	0
3.	waarde	+	+	--	-	+
4.	waarde	0	0	-	-	-
5. ...	waarde	+	0	--	-	-
Eindoordeel	0 (=neutraal)	+	+/-	--	-	-

2. Voor de overige stortplaatsen dienen voor elk geschikt geachte (cluster van) stortvak(ken) een methaan emissie prognose te worden gemaakt voor de looptijd van het experiment voor het scenario dat conform de huidige verwachting zal worden afgedicht en het scenario waarbij tot 2023 (2025) uitstel van afdichting zal worden verleend. De prognose dient daarbij aan te

sluiten bij de methode en de uitgangspunten die Ecofys heeft gehanteerd. Enerzijds om vergelijking mogelijk te maken, anderzijds om discussie over de resultaten zoveel mogelijk te beperken. In eerste instantie kan in deze stap worden volstaan met een vergelijking van de van belang zijnde inputgegevens voor het Ecofys-model van de specifieke situatie met die van de gemodelleerde situatie voor de vijftien uitstellocaties. Op stortplaatsen waar locatiespecifieke informatie aanwezig is (afvalsamenstelling, winningsrendement, e.d.) wordt bij voorkeur die informatie gebruikt. Afwijking van de Ecofys-default wordt alleen toegestaan als er een goede onderbouwing voor is. Indien de locatiespecifieke informatie op een goede manier is gedocumenteerd wordt het resultaat beter, terwijl de methode transparant blijft;

3. Aan de hand van de vergelijking van de inputgegevens of van de opgestelde prognose vaststellen of de specifieke situatie zal leiden tot een hogere of lagere emissie dan berekend voor de gemiddelde situatie van de vijftien locaties;
4. Indien de emissie op basis van deze analyse lager is dan berekend met het generieke model, dan hoeven geen nieuwe berekeningen te worden uitgevoerd voor die situatie en kan worden overgegaan tot de beoordeling of emissie reducerende maatregelen desondanks zinvol zijn (deelvraag 6);
5. Indien de emissie voor de specifieke situatie naar verwachting hoger is dan voor de gemodificeerde situatie, dient een kwalificatie te worden gegeven of het een marginale of relevante verhoging betreft.

Bij een geprognostiseerde lagere of marginaal hogere methaanemissie dan berekend voor de gemiddelde situatie van de vijftien stortlocaties kan vanwege het te verwachten beperkte milieurendement worden aangenomen, dat het niet kosteneffectief is om aanvullende maatregelen te treffen. De kwalificering marginaal of relevant kan worden gebaseerd op de resultaten van de Ecofys studie. Richtinggevend kan ervan worden uitgegaan dat een extra ingeschatte methaanemissie van meer dan 50% ten opzichte van de gemodificeerde situatie in elk geval als relevant wordt beoordeeld.

De eindrapportage van Ecofys inzake de stortgasemissies ten gevolge van de Introductie van Duurzaam Stortbeheer (Ecofys, 2011) geeft aan dat de extra methaanemissie als gevolg van het verduurzamen voor alle daarvoor in aanmerking komende stortplaatsen vergeleken met de jaarlijkse emissie van methaan in 2009 voor het realistische scenario ongeveer 0,7% bedraagt (1,5 kton versus 219 kton). Ecofys concludeert tevens dat de emissies per stortplaats sterk kunnen verschillen en dat ook in de tijd gezien de emissies niet constant zijn. Met deze aspecten kan rekening worden gehouden bij de afweging en keuze over de eventuele inzet van aanvullende maatregelen. Op locatieniveau kan bijvoorbeeld een hoog afvalpakket, relatief jong afval, veel afbreekbaar organisch materiaal in het afvalpakket tot hoger dan gemiddelde methaanemissie leiden. Een groot aandeel van de biologisch afbreekbare afvalstoffen is vooral in de jaren zestig, zeventig en tachtig en in beperkte mate in de jaren negentig gestort. Er is sprake van een daling van methaanemissies in de tijd uit de stort, die mogelijk iets minder groot is dan zonder verduurzaming. Daar staat tegenover dat door de verduurzamingsmaatregelen de methaanproductie beter beheerst en gecontroleerd kan worden en daarmee de methaanemissies voldoende kunnen worden beheerst.

Bij de beoordeling marginaal of relevant dient een vergelijking van de absolute omvang van de extra emissie met de absolute omvang van de totale methaanemissie van de stortplaats te worden betrokken. Het is niet uit te sluiten dat de uitgedrukt in een percentage de toename van de methaanemissie relevant lijkt, terwijl de methaanemissie in het autonome scenario in absolute zin zo laag is, dat de toename ook als zeer klein beoordeeld moet worden.

Opgemerkt wordt dat er geen harde grenswaarden bestaan voor methaanemissie. De voornaamste belemmering voor het vaststellen van methaanemissiegrenswaarden komt voornamelijk omdat er geen meetmethoden zijn met voldoende nauwkeurigheid en betrouwbaarheid om juridisch stand te houden. Methaanemissiegrenswaarden zijn daarom praktisch niet handhaafbaar. Tot dit standpunt is in een vergadering van de 'Committee for the adaptation to scientific and technical progress of Directive 1999/33/EC on landfill of waste' door een ruime meerderheid van de EU lidstaten gekomen. Er worden door een aantal EU lidstaten echter wel richtwaarden (Bijlage 1) gehanteerd voor het staken van actieve methaanemissie reducerende maatregelen en tot het overgaan op passieve maatregelen.

Indien de extra emissie voor een specifieke locatie als relevant wordt aangemerkt en dit wordt bevestigd door de resultaten van het Ecofys-model dan wordt overgegaan tot beantwoording van de overige deelvragen.

Beantwoording deelvraag 2

Voor de beantwoording van deze vraag wordt in eerste instantie op basis van een beschrijving en een tekening van de bestaande emissie reducerende maatregelen beoordeeld of deze voldoen aan de stand der techniek. In tweede instantie wordt beoordeeld welke (aanvullende) maatregelen die zich in de praktijk reeds hebben bewezen in het reduceren van de emissies geschikt zouden zijn voor de betreffende stortplaats. Hierbij wordt gebruik gemaakt van bestaande informatiebronnen. De belangrijkste informatiebronnen zijn:

- de Handreiking Methaanreductie Stortplaatsen (SenterNovem, 2007) en
- Potentiële maatregelen voor de reductie van methaanemissies uit stortplaatsen - Kansen en obstakels (SenterNovem, 2009).

De in deze documenten genoemde belangrijkste aanvullende maatregelen betreffen, het bijplaatsen van extra gasonttrekkingsbronnen, emissie reductie op taluds, extra aandacht voor onttrekken tijdens exploitatie, onttrekken en verwerken van stortgas met lage kwaliteit en het stimuleren van methaanoxidatie in de toplaag.

Beantwoording deelvragen 3 en 4

Voor de geïnventariseerde aanvullende maatregelen worden kostenindicaties opgesteld van die maatregelen per ton vermeden CO₂-equivalent. Dit wordt gedaan conform de Handreiking Methaanreductie Stortplaatsen (SenterNovem, 2007). Hiermee wordt antwoord gegeven op de gecombineerde vraag van kosten en effectiviteit van de betreffende maatregelen voor de specifieke situatie(s).

Beantwoording deelvraag 5

Bij kosteneffectiviteit gaat het niet alleen om het oordeel over de kosten van aanvullende maatregelen versus de effectiviteit ervan, maar over een beschouwing over het totaal aan baten en lasten. De kosten (voor investering, beheer, onderhoud en beëindiging) en de hoeveelheid gereduceerde methaanemissie spelen daarbij weliswaar een belangrijke rol maar zijn niet alleen bepalend.

Voor de beantwoording van deelvraag 5 moet worden nagegaan of voor het begrip 'kosteneffectiviteit' kan worden aangesloten bij het gestelde hierover in Bijlage 3 van het rapport Handreiking Methaanreductie Stortplaatsen.

Beantwoording deelvraag 6

Als laatste dient te worden beoordeeld of de aanvullende maatregelen, gelet op de te verwachten baten en de daarmee gepaard gaande lasten als kosteneffectief kunnen worden beschouwd. Vooralsnog wordt de Handreiking Methaanreductie Stortplaatsen, Bijlage 3 kosteneffectiviteit en voorbeeldberekeningen hiervoor als vertrekpunt genomen.

Hierin staat: "Op basis van dit soort informatie zouden stortplaatsbeheerder en vergunningverlener ervoor kunnen kiezen om maatregelen met een lage kosteneffectiviteit van € 3 tot € 5 per ton CO₂-equivalenten als zinvol te beschouwen en maatregelen met een kosteneffectiviteit van € 15 tot € 30 per ton CO₂-equivalenten als niet zinvol."

Bijlage 1: Internationale bronnen voor toetsing van gasemissie

In **Oostenrijk** kunnen methaan oxiderende deklagen worden toegepast als de hoeveelheid methaan die uit het afvalpakket in de deklaag treedt groter is dan $5 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{ha.h}$ ($>3,1 \text{ kg}$ methaan per m^2 en jaar). Bij belastingen lager dan $5 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{ha.h}$ ($<3,1 \text{ kg}$ methaan per m^2 en jaar) wordt aangenomen dat wegens natuurlijke oxidatie de emissie marginaal zal zijn. Gedurende de operationele periode mag de emissie niet groter zijn dan 5 kg methaan per m^2 en jaar. De emissie van hot-spots mag niet groter zijn dan 10 kg methaan per m^2 en jaar.

Bron: Huber-Humer, M., (2008) Technischer Leitfaden: Methanoxidationsschichten, ÖVA, Wien, Austria. Deze waarden zijn opgenomen in de Oosterrijkse regelgeving inzake stortplaatsen.

In **Duitsland** wordt passieve stortgas onttrekking en behandeling acceptabel geacht wanneer:

- de methaanbelasting van de deklaag minder dan $5 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{ha.h}$ ($<3,1 \text{ kgCH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$) bedraagt en;
- de oppervlakte concentraties van koolwaterstoffen gemeten middels een FID onderzoek lager dan 25 ppm zijn.

Een stortplaats kan van nazorgverplichtingen op het gebied van stortgas ontslagen worden indien dit gedurende meerdere jaren optreed. In deze situatie zorgt methaan oxidatie in de deklaag van de stortplaats voor voldoende emissiebeheersing. Literatuur genoemd in onderstaande bron toont aan dat in het gematigde West-Europese klimaat een (niet-geoptimaliseerde) deklaag in staat is om $10\text{-}80 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{ha.h}$ ($6,2\text{-}49,6 \text{ kgCH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$), te oxideren. Uit veiligheidsoverwegingen is de helft van de ondergrens aangehouden.

Bron: Stegmann, R., K.-U. Heyer, K. Hupe, A. Willand (2006) Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge, UFOPLAN-Nr. 203 34 327, IFAS, Hamburg, Germany. Dit document is opgesteld in opdracht van het Duitse Bundesumweltamt. Het document wordt genoemd in het Duitse stortbesluit en kan zodoende niet door stortplaatsbeheerders en bevoegd gezag worden genegeerd. Het document wordt ook genoemd in een richtlijn voor vergunningverleners: Bräcker, W. (2010) Deponieentgasung bei rückläufigen Deponiegasmengen, Abfallwirtschaftsfakten 19, Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim und Landesamt Niedersachsen für Bergbau, Energie und Geologie, Hildesheim.

In **Finland** wordt de noodzaak tot emissie reducerende maatregelen beperkt geacht wanneer de stortgasvorming kleiner is dan $5 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{ha.h}$ ($<3,1 \text{ kgCH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$) en de methaan concentratie aan het oppervlak van de stortplaats kleiner is dan 100 ppm . Biologische behandeling van stortgas wordt toegestaan wanneer de stortgasvorming $5\text{-}25 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{ha.h}$ ($3,1\text{-}15,5 \text{ kgCH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$) bedraagt.

Bron: Finnish Environment Institute (2001) Environment Guide 89: Guide for closing landfills (in Finnish), ISSN 1238-8602, ISBN 952-11-1021-X and 952-11-1022-8 (PDF), Helsinki, Finland. Dit is onderdeel van de vigerende Finse stortplaats regelgeving.

In **Frankrijk** is voorgesteld op voormalige stortplaatsen te volstaan met een deklaag bestaand uit grond wanneer de hoeveelheid stortgas die uit het afvalpakket in de deklaag treedt minder bedraagt dan $10 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{ha.h}$ ($<6,2 \text{ kgCH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$).

Bron : Bour, O., C. Couturier, S. Berger, L. Riquier (2005) Evaluation des risques liés aux émissions gazeuses des décharges : propositions de seuils de captages, INERIS-DRC-05-46533/DESP-R01, France. De voorstellen uit dit document zijn overgenomen in de Franse regels voor voormalige stortplaatsen.

BIJLAGE 2
RAPPORTAGE FASE 1

Bijlage 2: Extra methaanemissies als gevolg van uitstel van afdichting van PDS-locaties: Selectie van locaties met bovengemiddelde methaanvorming.

Hans Oonk, OonkAY!

René Boerboom, Royal Haskoning DHV

Luchien Luning, Sustec

1. Inleiding

In het kader van het project Introductie Duurzaam Stortbeheer (IDS) wordt onderzocht of de risico's voor verontreiniging uit stortplaatsen kunnen worden teruggebracht tot een acceptabel niveau door implementatie van zogenoemde verduurzamingsmaatregelen. In het kader hiervan zijn een drietal pilots in voorbereiding. Verduurzaming van stortplaatsen zal naar verwachting tien jaar in beslag nemen. Hierdoor zal uiteindelijk in 2023 definitief een conclusie kunnen worden getrokken of en onder welke voorwaarden verduurzaming een alternatief is voor het afdichten van stortplaatsen, conform het stortbesluit.

In afwachting van de resultaten van het project IDS zal voor een groep aan potentiële duurzaam stortbeheer (PDS) locaties uitstel worden verleend van de verplichting tot het aanleggen van een bovenafdichting. Hierdoor blijft voor deze stortplaatsen de mogelijkheid bestaan om uiteindelijk verduurzaamd te worden. Consequentie van dit uitstel is een verhoogde methaanemissie uit deze stortplaatsen in vergelijking met de emissies in een scenario waarbij de stortplaatsen wel worden afdicht.

Bij de Tweede Kamerbehandeling van de experimentenparagraaf Duurzaam Stortbeheer is een motie van Veldhoven aangenomen. Deze motie vraagt om te onderzoeken met welke maatregelen de extra methaanemissie op kosteneffectieve wijze nog verder kan worden teruggebracht. In het onderzoeksvoorstel 'Aanvullende maatregelen methaanemissies reductie IDS' (zie bijlage 1) kiest het Ministerie van I&M ervoor om de vraag in een iets breder perspectief te plaatsen. Voorgesteld wordt om als eerste antwoord te geven op de vraag of er praktisch en uitvoeringstechnisch gezien mogelijkheden zijn om de methaanemissie bij de PDS locaties (in belangrijke mate) te reduceren. Vervolgens zal worden nagegaan of dit op 'kosteneffectieve' wijze kan gebeuren en met welke maatregelen. Om hierop antwoord te geven, zijn de volgende deelvragen van belang:

- 1) Hoe groot is de jaarlijkse methaanemissie per PDS-locatie, dan wel per (cluster van) stortvak(ken)?
- 2) Welke maatregelen komen naast de genoemde oxidatielaag (uitvoerings)technisch in aanmerking voor effectieve methaanreductie?
- 3) Wat is de effectiviteit van de oxidatielaag bij de optredende methaanemissie en van de overige in aanmerking komende maatregelen?
- 4) Wat zijn de totale kosten van de maatregelen uitgesplitst naar investeringskosten, kosten voor beheer en onderhoud en eventuele kosten bij ontmanteling na functie beëindiging?;
- 5) Hoe dient met het begrip 'kosteneffectiviteit' te worden omgegaan en kan hiervoor worden aangesloten bij al bestaande uitwerkingen ervan?

6) Bij welke verhouding tussen baten en kosten wordt een maatregel als kosteneffectief beoordeeld?

De beantwoording van deze vragen wordt gecoördineerd door de Stichting Duurzaam Storten. Deze stichting wil dit in twee fases nader invullen:

- In de eerste fase wordt alleen deelvraag 1a) van het onderzoeksvoorstel nader ingevuld. Doel van deelvraag 1a) is om die stortplaatsen te identificeren, waarvan de methaanemissies als beperkt of marginaal kan worden aangemerkt. Voor deze stortplaatsen behoeven de vervolgstappen niet te worden doorlopen.
- In een tweede fase wordt vervolgens voor de overige stortplaatsen bovenstaande vragen nader ingevuld.

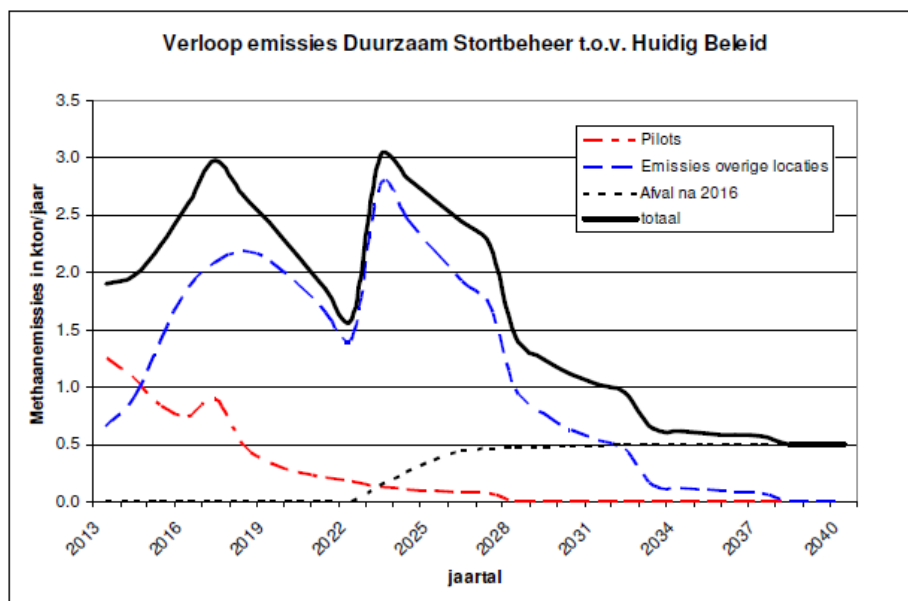
In het voorliggende rapport wordt ingegaan op de deelvraag 1a). In het onderzoeksvoorstel van het Ministerie wordt voor invulling van deelvraag 1a de volgende procedure voorgesteld: (i) per PDS-locatie wordt beschouwd, welke inputvariabelen voor gasvormingsprognose duiden op een significant andere stortgasvorming dan de gemiddelde inputvariabelen gebruikt in de Ecofys studie. (ii) indien alle locatie specifieke input variabelen duiden op een gelijke en/of lagere stortgasvorming dan mag worden aangenomen dat de locatie een geringere methaanemissie veroorzaakt dan het gemiddelde beeld in de Ecofys studie. Richtinggevend kan ervan worden uitgegaan dat een extra ingeschatte methaanemissie van meer dan 50% ten opzichte van de gemodificeerde situatie in elk geval als relevant wordt beoordeeld.

2. Achtergrond en methodiek

2.1 Resultaten Ecofysstudie 2011

Ecofys heeft in 2011 de extra methaanemissies als gevolg van duurzaam stortbeheer nader gekwantificeerd (Luning en Oonk, 2011). Figuur 1 geeft de resultaten van deze studie weer. In deze studie kunnen vier soorten extra methaanemissies worden onderscheiden. Extra methaanemissies kunnen optreden als gevolg van:

- het uitvoeren van vier verduurzamingspilots (N.B. ten tijde van de Ecofys-studie was er nog sprake van een pilot op de stortplaats Vlagheide. Deze pilot is inmiddels afgevallen). Deze emissie van de pilots is weergegeven in figuur in rood;
- uitstel van afdichting van de PDS-locaties. Deze methaanemissies zijn in weergegeven door de blauwe lijn tot het jaar 2023;
- verduurzaming van de PDS-locaties. Deze verduurzamingsmaatregelen zullen na 2023 worden geïmplementeerd en zorgen voor de tweede piek in de blauwe lijn.
- uitstel van afdichting en verduurzaming van afval, dat na 2016 nog wordt gestort. Deze emissie is weergegeven door de zwarte stippellijn.

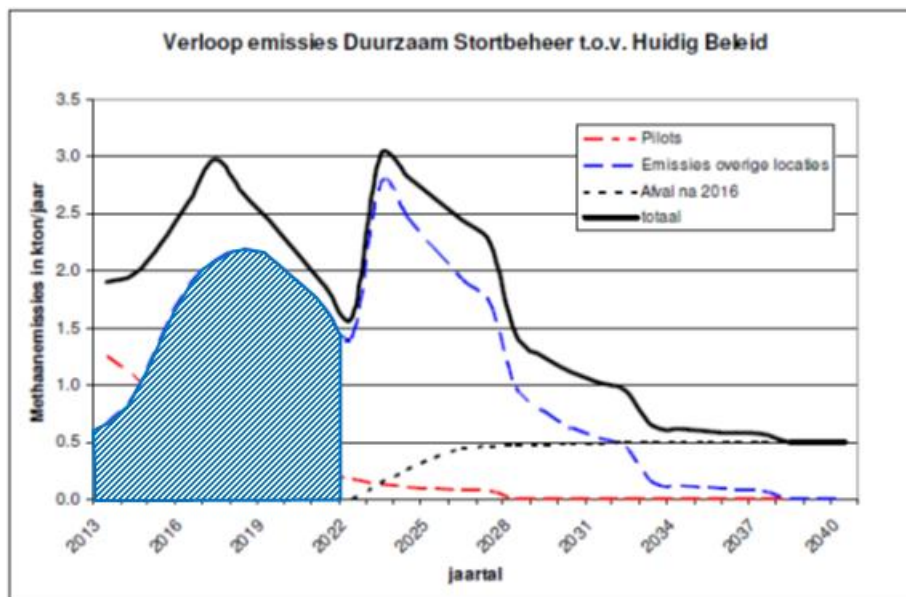


Figuur 1: extra methaanemissies als gevolg van duurzaam storten in het hoge emissie-scenario (Luning en Oonk, 2011)

De totale extra methaanemissie als gevolg van duurzaam storten bedraagt volgens Ecofys (Luning en Oonk, 2011) 1,5 kton methaan per jaar in het “realistische scenario” en maximaal 3 kton aan methaan per jaar in het “hoge emissies-scenario”. Door I&M wordt de maximale extra methaanemissie als marginaal gekarakteriseerd ten opzichte van de huidige emissies van methaan uit stortplaatsen (Staatsblad, 2012, 350).

De studie, als geformuleerd in het onderzoeksvoorstel van I&M, richt zich uitsluitend op de extra methaanemissies van de PDS-locaties (zie voor toelichting de opsomming boven figuur 1). In figuur 2 zijn deze emissies nog eens extra gearceerd. De methaanemissiereductie bij de pilots

zelf (de rode lijn), zal nader worden uitgewerkt in de plannen van aanpak voor de individuele pilots. Minimalisatie van de methaanemissies bij verduurzaming van de PDS-locatie na 2023 en de extra emissies als gevolg van verduurzaming van afval gestort na 2016 is onderdeel van de besluitvorming rond 2023.



Figuur 2: in blauw gearceerd het aandachtsgebied van deze studie: de methaanemissies als gevolg van uitstel van afdichting op een aantal stortplaatsen.

2.2 Aanpak deelvraag 1a)

Om de deelvraag 1a) te beantwoorden, wordt in het onderzoeksvoorstel van I&M voor elke uitstellocatie afzonderlijk de volgende procedure voorgesteld:

- Per stortplaats wordt beschouwd welke inputvariabelen (zie bovenstaand) duiden op een significant andere stortgasvorming dan de gemiddelde inputvariabelen gebruikt in de Ecofys studie.
- Indien alle locatie specifieke input variabelen duiden op een gelijke en/of lagere stortgasvorming dan mag worden aangenomen dat de locatie een geringere methaanemissie veroorzaakt dan het gemiddelde beeld in de Ecofys studie. Daarmee kan de methaanemissie van de specifieke locatie ook als beperkt aangemerkt worden en behoeven de vervolgstappen niet te worden doorlopen. Een dergelijke kwalitatieve vergelijking kan als volgt worden gepresenteerd.

Tabel 1: Voorbeeld vergelijking inputvariabelen

Relevante inputvariabelen	Referentie-situatie	Stort A	Stort B	Stort C	Stort D	Stort X
1.	waarde	+	-	-	0	--
2.	waarde	0	0	--	-	0
3.	waarde	+	+	--	-	+
4.	waarde	0	0	-	-	-
5. ...	waarde	+	0	--	-	-
Eindoordeel	0 (=neutraal)	+	+/-	--	-	-

Bij uitwerking van de deelvraag bleek echter, dat een dergelijke kwalitatieve vergelijking op basis van meerdere inputparameters afzonderlijk niet tot bruikbare conclusies leidt. Dit komt vooral, doordat het beperkte aantal inputvariabelen (drie, waarbij het belang van één, de dikte van het afvalpakket, discutabel is). Daarnaast blijken de andere twee inputparameters (de hoeveelheid organische koolstof in het materiaal op moment van storten en de ouderdom van het afval) onderling correleren. Dit valt goed te verklaren vanuit het afvalbeleid in de afgelopen 20 jaar. Gevolg hiervan is, dat de methode weinig effectief is. Er zijn geen stortplaatsen, waar de ouderdom en de hoeveelheid organische koolstof op moment van storten beide 'ongunstig'¹ zijn. In de meeste andere gevallen wordt een ongunstige ouderdom gecompenseerd door een gunstig gehalte aan organische koolstof en andersom (zie voor verdere uitwerking hoofdstuk 3.1).

2.3 Voorstel voor alternatieve aanpak: toetsing op BMP(t)

Tegelijkertijd is er wel vrij veel ervaring met voorspellen van de methaangasvorming, bijvoorbeeld voor dimensionering van projecten voor stortgaswinning. Modellen voor vorming van methaan zijn algemeen geaccepteerd en bijvoorbeeld ook toegepast voor kwantificering en rapportage van methaanemissies. Een voorbeeld hiervan is het model van Afvalzorg. Dit model is in de Ecofys studie (Luning en Oonk, 2011) aangepast om de extra methaanemissies als gevolg van verduurzaming of uitstel te kwantificeren.

Een dergelijk stortgasmodel kan ook worden gebruikt om een toetsingscriterium te definiëren en te kwantificeren: het resterend methaanpotentieel ('biological methane potential', BMP(t), in kg methaan per ton afval) van een stortplaats (zie bijlage 3). Dit BMP(t) is de hoeveelheid methaan, die in de loop van de tijd nog gevormd zal gaan worden. BMP(t) correleert met de hoeveelheid afbreekbare organische koolstof die is gestort, maar dan gecorrigeerd voor afbraak in de tijd. In BMP(t) zijn de inputvariabelen in tabel 1 gecombineerd tot één eenduidig getal. Hierdoor kan een kwantitatieve vergelijking worden gemaakt met BMP(t) die wordt vastgesteld voor het totaal van PDS-locaties uit de Ecofys studie.

Het resterend methaanpotentieel (BMP(t)) lijkt een goede als een hanteerbare indicator van actuele methaanvorming. Voorgesteld wordt om de selectie van PDS-locaties, die bovengemiddeld bijdragen (meer dan 50% hoger dan het gemiddelde van de Ecofys studie (2011)) te baseren op dit resterend methaanpotentieel.

2.4 Gegevensverzameling en berekeningen

Gegevens over afvalstromen per jaar, gestort op de individuele stortplaatsen zijn als volgt verkregen:

- Agentschap NL heeft afvalstromen per jaar geaggregeerd, conform instructies van de onderzoekers en op identieke wijze als afvalgegevens in de Ecofys-studie. Agentschap NL heeft voldoende nauwkeurige gegevens aangeleverd over afvalsamenstelling en ouderdom, voor het afval gestort na 1994.
- Voor afval gestort voor 1994 zijn de exploitant van de PDS-locaties gevraagd gegevens aan te vullen.

¹ Gunstig of ongunstig in deze context betekent neigend tot een lage, resp. hoge methaanvorming.

Het resultaat is een spreadsheet met daarin per stortplaats informatie over hoeveelheden afval gestort, per specifieke afvalstroom per jaar. Deze gegevens staan zowel aan de basis van de multicriterium-analyse in hoofdstuk 3.1, als de toetsing op BMT(t) in hoofdstuk 3.2. BMP(t)) kan worden berekend conform de methode beschreven in bijlage 3.

3 Uitwerking en resultaten

3.1 Multicriterium-analyse

Relevante inputvariabelen

In de Ecofysstudie (Luning en Oonk, 2011) worden 10 inputvariabelen beschreven, waarmee uiteindelijk de methaanemissie wordt bepaald. Voor de PDS-locaties heeft de Ecofysstudie een aanname gedaan voor de gemiddelde dikte van het afvalpakket. Indien PDS-locaties individueel beschouwd worden kan de dikte van het afvalpakket als elfde variabele worden toegevoegd. Deze variabelen worden weergegeven in onderstaand schema:

I	Afvalsamenstelling	stortspecifiek	bekend
II	Jaar van storten	stortspecifiek	bekend
III	Koolstofwaarden (DOC_0)	generieke modelparameter	
IV	Dissimilatie (DOC_f en F)	generieke modelparameter	
V	Afbraaksnelheid (k)	generieke modelparameter	
VI	Verdeling snelheden over de fracties	generieke modelparameter	
VII	Oxidatie	stortspecifiek	onbekend
VIII	Winningsrendement	stortspecifiek	onbekend
IX	Invloed van infiltratie	n.v.t. op PDS-locaties	
X	Invloed van beluchting		
XI	Dikte afvalpakket	stortspecifiek	bekend

Over deze parameters kan het volgende worden gezegd:

- De inputvariabelen IX en X zijn gedurende de onderzoeksperiode (tot 2023) alleen van toepassing op de pilotlocaties en derhalve in dit stadium niet relevant voor de PDS-locaties.
- Ten aanzien van de input variabelen VII (oxidatie in de deklaag) en VIII (winningsrendement) zijn (een enkele uitzondering daargelaten) geen locatie specifieke gegevens voorhanden. Beide kunnen hooguit worden geschat: de oxidatie uit een prognose van de gasvorming en de karakteristieken van de toplaag; het winningsrendement uit de verhouding van de gerealiseerde gaswinning en een prognose voor de gasvorming. Gezien de onzekerheid van deze mogelijkheden voor schatting, leveren deze geen meerwaarde op in deze studie. Daarom wordt voor beantwoording van deelvraag 1a) aangenomen, dat toezicht door het bevoegd gezag ertoe heeft geleid dat stand der techniek is geïmplementeerd. Als gevolg daarvan zal er geen belangrijk onderscheid zijn tussen stortplaatsen.
- Het belangrijkste onderscheid tussen de verschillende PDS-locaties zal worden gevormd door de samenstelling van het afval en de ouderdom van het afval (inputvariabelen I en II). Hiervoor is ook gedetailleerde informatie beschikbaar. Agentschap NL heeft de bij haar beschikbare afvalgegevens van de PDS-locaties geaggregeerd naar de afvalcategorieën als gehanteerd in de Ecofysstudie per jaartal van verwerking. De ouderdomsopbouw is zodoende bekend. Waar nodig zijn de gegevens aangevuld met informatie van de stortplaatsexploitant.
- De inputvariabelen III t/m VI (koolstofgehalte, dissimilatie, verdeling snelheid over fracties en snelheid van afbraak) zijn modelparameters. Hiervoor zijn in de modellen (Afvalzorg-model voor prognose van methaanvorming uit stortplaatsen, Ecofys-model voor de

voorspelling van effecten van verduurzaming) waarden aangenomen, die generiek worden toegepast op alle stortplaatsen. Dat wil niet zeggen, dat waarden niet kunnen verschillen van locatie tot locatie. Mogelijke afwijkingen van de modelparameters ten opzichte van de werkelijke situatie komen tot uitdrukking in de onzekerheid van de prognose (zie ook hoofdstuk 4.1).

- De inputvariabele XI (dikte van afvalpakket) kan worden afgeleid uit de totale hoeveelheid afval gestort op de stortplaats en het oppervlak van de stortplaats exclusief de stortvakken waar uitsluitend sterk uitloogbare afvalstoffen zijn gestort. Deze stortvakken zijn uitgesloten van IDS. De sterk uitloogbare afvalstoffen bevatten hoegenaamd geen afbreekbaar koolstof. Voor de bepaling van de BPM en een onderling vergelijk via BPM heeft dat zodoende geen effect. Bepaald op deze wijze wordt de dikte van het afvalpakket uitgedrukt in ton afval per m². Hiermee wordt tevens vermeden dat lastig te verkrijgen informatie over de dichtheid van het afval nodig is. Uit de tonnen per m² kan rechtstreeks een BMP per m² worden berekend.

Toepasbare inputvariabelen

De enige hanteerbare inputvariabelen, die kunnen worden gebruikt in een multicriteriumanalyse zijn ouderdom van het afval (hoeveelheid afval gestort per jaar); afvalsamenstelling (herkomst van het afval: huishoudelijk afval, bedrijfsafval, etc.) en dikte van het afvalpakket. Om voor alle drie een eenduidig getal te krijgen, worden deze parameters als volgt verwerkt:

- Informatie over hoeveelheid van iedere afzonderlijke afvalstroom (huishoudelijk afval, bedrijfsafval, etc.), gestort per jaar, is omgerekend naar een **gemiddeld gehalte aan organische koolstof op moment van storten**. Dit is gebeurd door berekening en sommatie van hoeveelheid organische koolstof (DOC), die met iedere afzonderlijke stroom is gestort. Hiervoor is een aanname gedaan voor de gemiddelde hoeveelheid DOC₀ per fractie (inputvariabele III), waarbij is gecorrigeerd voor het inert zijn van een deel van de DOC. De aangenomen gehalten aan DOC₀ zijn dezelfde als de aangenomen hoeveelheden in de Ecofys-studie (zie tabel 2).

Tabel 2: Totaal DOC en inert-fracties in de DOC

	Inert	
	DOC/totaal	Totaal DOC
Grond- en grondreinigingsresiduen	79%	18
Bouw- en sloopafval	53%	34
KWD-afval	34%	128
Shredder	55%	44
Reinigingsdienstenaafval	33%	43
Grof huishoudelijk afval	38%	192
Slib en composteerafval	38%	60
Huishoudelijk afval	25%	182

- Informatie over hoeveelheid gestort materiaal voor ieder afzonderlijk jaar is omgerekend naar de **gemiddelde ouderdom in 2013**. Deze gemiddelde ouderdom is bepaald als een gewogen gemiddelde. Hiervoor is voor ieder jaar de ouderdom van het afval vermenigvuldigd met de hoeveelheid afval, die in dat jaar is gestort. Dit product is

voor alle jaren gesommeerd en vervolgens weer gedeeld door de totale hoeveelheid afval.

- De **gemiddelde dikte van het afvalpakket** is berekend door de totale hoeveelheid afval op een locatie te delen door het totale oppervlak. Strikt genomen is dit de gemiddelde hoeveelheid afval per m². Bij een specifiek gewicht van het afval van 1 ton per m³ komt 1 ton per m² overeen met 1 m dikte.

Resultaat

Tabel 3 geeft het resultaat van de multi-criterium analyse. Waarden die minimaal 20% (3 jaar) ongunstiger zijn (leidend tot hogere methaanvorming) voor methaanvorming zijn rood weergegeven. Waarden die minimaal 20% (3 jaar) gunstiger zijn, zijn groen weergegeven.

Voor wat betreft de gemiddelde dikte van het afvalpakket wordt minder afval per m² als gunstig gezien. Dit behoeft nog wel enige nuancering. De dikte van het afvalpakket heeft geen invloed op de vorming van methaan, uitgedrukt in kg methaan per ton afval per jaar. De invloed van de dikte van het afvalpakket op de daadwerkelijke emissie van methaan (in kg methaan per ton afval per jaar) is onduidelijk (zie ook bijlage 4). De emissie is in de regel niet gelijk aan de vorming van methaan omdat een deel van de methaan wordt afgevangen of biologisch wordt geoxideerd in de toplaag. Bij een dikker afvalpakket zal relatief minder methaan worden geoxideerd. Echter het rendement voor stortgaswinning neemt echter waarschijnlijk toe. Het is onduidelijk welk effect de bovenhand heeft, dus is onduidelijk of een dikker afvalpakket gunstig of ongunstig is voor methaanemissie in kg per ton afval per jaar.

Vorming en emissie van methaan kan echter ook worden uitgedrukt in kg per m² per jaar. Als dit het criterium is, dan is een dikker afvalpakket ongunstig voor zowel de vorming als emissie van methaan (Zie verder ook de discussie, direct onder de tabel).

Tabel 3. Resultaat van de multi-criteriumanalyse

	Gemiddeld gehalte aan organische kool- stof op moment van storten (kg C/ton)	gemiddelde ouderdom in 2013 (jaar)	Gemiddelde dikte afvalpakket ¹⁾ (ton/m ²)
<i>pilot Kragge II</i>	85	12	9
Landgraaf	44	12	14
Elhorst-Vloedbelt	64	15	7
N-enM-Zeeland	65	17	21
de Wierde	47	11	14
Haps	78	17	11
Vink	42	12	10
Stainkoeln2	38	11	14
Spinder	68	18	18
Sluiner	36	12	12
Wijster	92	20	25
Boeldershoek	69	19	16
Schinnen	75	21	14
Wieringermeer	53	18	10
Braambergen	48	16	9
Zeeasterweg	60	21	8
Montfort	56	20	15
Zweekhorst	26	11	12
Kanaaldijk	31	15	8
<i>pilot Wieringermeer</i>	55	17	11
ARN	29	15	18
Nauerna	24	15	18
<i>pilot Braambergen</i>	17	9	10
Ecofys	57	14	10,6

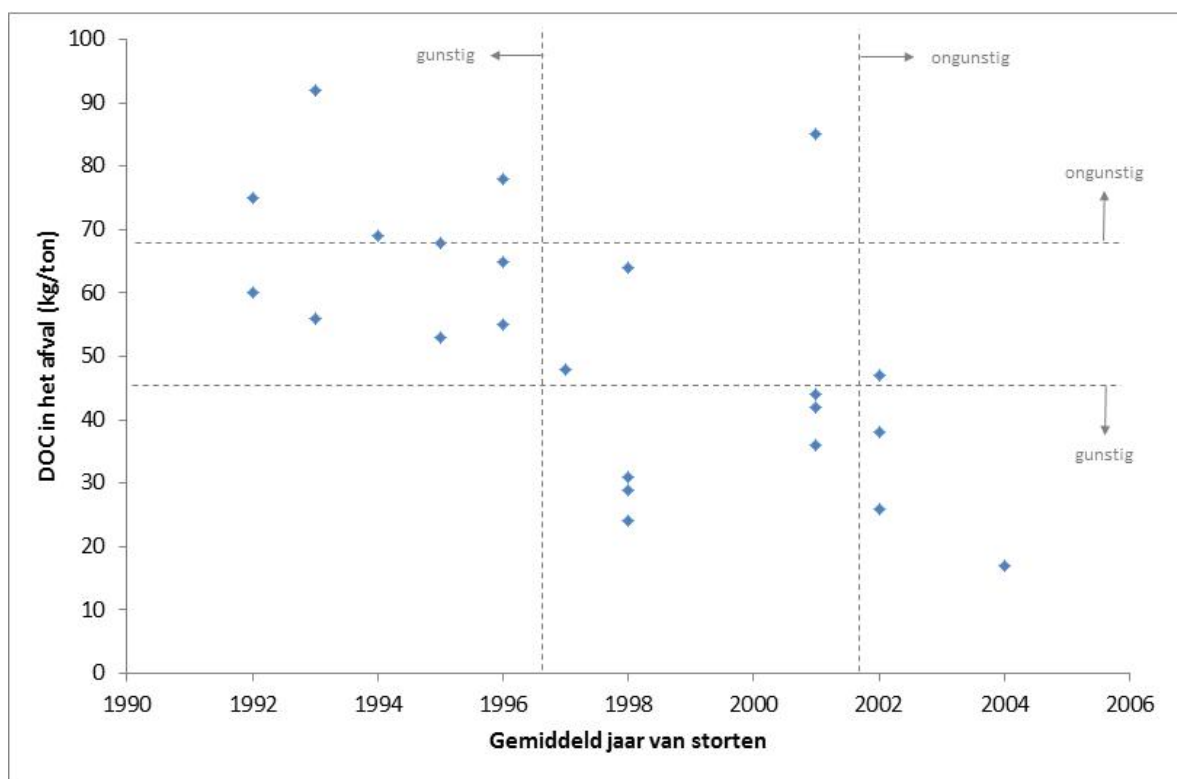
¹⁾ strikt genomen is dit de gemiddelde hoeveelheid afval per m². Bij een specifiek gewicht van het afval van 1 ton per m³ komt iedere ton per m² overeen met één m dikte. Voor het gunstig of ongunstig zijn van de dikte van het afvalpakket voor de methaanvorming en emissie wordt verwezen naar de tekst direct boven de tabel.

Discussie

Voor de multi-criterium analyse zijn slechts drie inputvariabelen beschikbaar. Van die drie parameters is de gemiddelde dikte van het afvalpakket er één. Zoals boven tabel 3 al is aangegeven, heeft de dikte van het afvalpakket geen invloed op de vorming van methaan en is de invloed op de emissie van methaan onzeker, wanneer vorming en emissie worden uitgedrukt in kg per ton afval per jaar. Wanneer methaanvorming en emissie worden uitgedrukt in kg per m² stortoppervlak per jaar, heeft dikte wel invloed. Voor waardering van de invloed van dikte is dus van belang wat de primaire toetsparameter is: de vorming/emissie per ton afval of de vorming/emissie per m². Uiteindelijk is de emissie van methaan uit een ton afval niet minder erg, als deze uit een minder dik afvalpakket komt, dus lijkt een toeting op vorming/emissie van methaan per ton afval het meest logisch. Als echter blijkt, dat voor dikkere afvalpakketten een

groter deel van de methaan wordt geëmitteerd, of als blijkt dat voor dikkere afvalpakketten maatregelen kosteneffectiever zijn, dan ligt toetsing op vorming/emissie per m² wel voor de hand.

De overige twee parameters zijn gemiddeld gehalte aan organische koolstof (DOC) op moment van storten en de gemiddelde ouderdom van het afvalpakket. Deze twee parameters blijken omgekeerd gecorreleerd, zoals ook aangegeven in figuur 3. Deze valt goed te begrijpen vanuit het afvalbeleid in de afgelopen 20 jaar. Door verbeterde gescheiden inzameling van o.a. GFT, textiel en papier en door de stortverboden is het gehalte aan organisch koolstof in het gestorte afval in de loop van de tijd afgenomen. Gevolg hiervan is wel, dat er niet of nauwelijks stortplaatsen zijn, waar zowel de ouderdom als de hoeveelheid organische koolstof op moment van storten beide 'gunstig' of beide 'ongunstig' zijn. In de meeste gevallen wordt een ongunstige ouderdom gecompenseerd door een gunstige samenstelling of andersom. Er zijn slechts twee locaties (de pilotlocatie De Kragge 2 en de PDS-locatie De Wierde), waar een combinatie 'ongunstig-neutraal' wordt verkregen en die conform de multi-criteriumanalyse als verdacht moeten worden aangemerkt.



Figuur 3: relatie tussen gemiddeld gehalte aan organische koolstof (DOC) op moment van storten en de gemiddelde ouderdom van het afvalpakket

3.2 Toetsing op BMP(t)

Zoals in hoofdstuk 2 is aangegeven is toetsing op BMP(t) een alternatief voor de multi-criterium analyse. BMP(t) wordt berekend uit zowel de ouderdom, als de oorspronkelijke hoeveelheid organische koolstof in het afval (zie ook bijlage 3). BMP(t) houdt niet alleen rekening met de gemiddelde ouderdom, maar met de gehele ouderdomsopbouw van het afvalpakket. Voor de PDS-locaties is BMP(t) nader gekwantificeerd, waarbij zowel de waarde per ton afval is bepaald,

als de waarde per m² stortoppervlak. Bij de berekening van BMP(t) in deze studie, zijn de modelparameters (DOC voor de individuele fracties, DOC_f en F) zodanig gekozen, dat ze in overeenstemming zijn met waarden gekozen in de Ecofysstudie. Voor k (inputvariabele V) wordt een waarde van 0,1 per jaar aangehouden. Dat is de gemiddelde waarde van de afbraaksnelheden van de individuele fracties in de Ecofysstudie en is ook in overeenstemming met de waarden van IPCC (2006) en uit Coops et al. (1995). De resulterende BMP(t) zijn weergegeven in tabellen 4a en b worden vergeleken met het gemiddelde BMP(t) voor de PDS-locaties uit de Ecofysstudie.

Tabel 4a. Resultaten van de analyse, gemiddelde resterende methaanpotentieel in 2013, uitgedrukt in kg/ton (beste schatting). De pilotlocaties zijn hierin cursief aangegeven. Op Wieringermeer en Braambergen zal een deel van het afvalpakket als pilot dienstdoen. Om die reden staan het deel waarop de pilot wordt uitgevoerd en het deel, waar geen pilot wordt uitgevoerd, separaat weergegeven.

Locatie	BMP (in 2013) (kg/ton)	T.o.v. gemiddelde Ecofys
<i>pilot Kragge II</i>	13,2	216%
Landgraaf	7	115%
Elhorst-Vloedbelt	6,9	113%
N-en M-Zeeland	6,7	110%
de Wierde	6,5	107%
Haps	6,5	107%
Vink	6,4	105%
Stainkoeln2	6,4	105%
Spinder	6	98%
Sluiner	5,6	92%
Wijster	5,2	85%
Boeldershoek	4,9	80%
Schinnen	4,5	74%
Wieringermeer	4,4	72%
Braambergen	4,4	72%
Zeeasterweg	4,1	67%
Montfort	4,1	67%
Zweekhorst	4	66%
Kanaaldijk	3,6	59%
<i>pilot Wieringermeer</i>	3,6	59%
ARN	3,2	52%
Nauerna	2,5	41%
<i>pilot Braambergen</i>	2,5	41%
Alle PDS-locaties in Ecofys-studie	6,1	100%

Tabel 4b. Idem, alleen gemiddeld methaanpotentieel in 2013 uitgedrukt in kg/m² (beste schatting).

Locatie	Afvalpakket (ton/m ²)	BMP (in 2013) (kg/m ²)	T.o.v. gemiddelde Ecofys
N-en M-Zeeland	21	141,5	217%
Wijster	25	129,4	199%
<i>pilot Kragge II</i>	9	118,4	182%
Spinder	18	107,2	165%
Landgraaf	14	98,1	151%
de Wierde	14	90,9	140%
Stainkoeln2	14	89,4	137%
Boeldershoek	16	78,4	120%
Haps	11	71,0	109%
Sluiner	12	67,4	104%
Vink	10	64,5	99%
Schinnen	14	62,3	96%
Montfort	15	61,3	94%
ARN	18	57,6	88%
Zweekhorst	12	48,6	75%
Elhorst-Vloedbelt	7	48,3	74%
Nauerna	18	45,0	69%
Wieringermeer	10	44,2	68%
Braambergen	9	39,4	60%
<i>pilot Wieringermeer</i>	11	39,1	60%
Zeeasterweg	8	33,1	51%
Kanaaldijk	8	28,9	44%
<i>pilot Braambergen</i>	10	25,2	39%
Alle PDS-locaties in Ecofys-studie	10,6	65,1	100%

4. Discussie en vervolg

4.1 Onzekerheden in de berekende BMP

De methode om BMP te bepalen is een variant van het vormingsmodel voor methaan uit stortplaatsen. Toepassing van een dergelijk model gaat gepaard met onzekerheden in (i) de gestorte hoeveelheden afval, (ii) samenstelling van het afval en (iii) modelonzekerheden.

De onzekerheid geldt niet alleen voor het berekende BMP op de individuele stortplaatsen, maar ook voor het totaal van de PDS-locaties. Alleen voor het totaal van de PDS-locaties mag een wat kleinere spreiding worden verwacht, als gevolg van de wet van de grote getallen (de statistische wetmatigheid, dat wanneer de steekproef wordt vergroot, de onzekerheid kleiner wordt). In de Ecofysstudie (Luning en Oonk, 2011), is bij het hoge emissiescenario gerekend met de modelparameters in tabel 5. Voor toepassing bij individuele stortplaatsen zullen de modelparameters wat onzekerder zijn. De IPCC-guidelines (2006) geven een handreiking over onzekerheid van 'default'-modelparameters, toegepast in situaties waarbij geen directe analyses beschikbaar zijn. In tabel 5 worden de onzekerheden voor individuele stortplaatsen weergegeven, gebaseerd op de IPCC-guidelines.

Tabel 5: onzekerheden bij kwantificering van BMP

	Realistisch scenario Ecofysstudie	Hoge emissie-scenario Ecofysstudie (totaal PDS-locaties)	Worst-case individuele stortplaatsen (gebaseerd op IPCC, 2006)
dissimilatie	70%	80%	84% ¹⁾
DOC _f	Als in tabel	10% hoger	20% hoger
k	0,1 y ⁻¹	0,08 y ⁻¹	0,08 y ⁻¹ ²⁾

¹⁾ Definitie van DOC_f in IPCC is wat anders dan de definitie van DOC_f in het Ecofys-model. Zie hiervoor het Ecofysrapport (Luning en Oonk, 2011, paragraaf 3.2.3). Volgens IPCC is de onzekerheid in DOC_f bij defaulttoepassingen 20%.

²⁾ IPCC geeft een ondergrens voor afbraak in 'wet, temperate zones', van 6 jaar (2006). Dit komt neer op k=0,086 y⁻¹ en dit ligt boven de waarde van k in het hoge-emissiescenario in de Ecofysstudie. Om die reden is in deze vergelijking de ondergrens van de Ecofysstudie aangenomen.

Een alternatief voor het beoordelen van de meest waarschijnlijke waarde voor BMP(t), is beoordeling van BMP(t) in de worst-case situatie en een vergelijking met het BMP van het totaal van de PDS-locaties in de Ecofysstudie onder het hoge emissie-scenario. Het is namelijk voor de extra methaanemissies in het hoge-emissiescenario, waarvoor I&M de conclusie heeft getrokken, dat extra emissies marginaal zijn (zie inleiding). Tabel 6a en b geeft deze vergelijking.

Tabel 6a. Resultaten van de analyse, gemiddelde resterende methaanpotentieel in 2013 in de worst-case situatie, en vergeleken met het hoge emissie-scenario in de Ecofysstudie (Luning en Oonk, 2011). De pilotlocaties zijn hierin cursief aangegeven. Op Wieringermeer en Braambergen zal een deel van het afvalpakket als pilot dienstdoen. Om die reden staan het deel waarop de pilot wordt uitgevoerd en het deel, waar geen pilot wordt uitgevoerd, separaat weergegeven.

Locatie	BMP (in 2013) (kg/ton)	T.o.v. gemiddelde Ecofys
<i>pilot Kragge II</i>	23,5	205%
Landgraaf	13,2	131%
Elhorst-Vloedbelt	12,9	129%
N-en M-Zeeland	12,6	126%
de Wierde	12,2	122%
Haps	11,7	117%
Vink	11,6	116%
Stainkoeln2	11,3	113%
Spinder	11,2	111%
Sluiner	11,1	111%
Wijster	10	100%
Boeldershoek	9,9	99%
Schinnen	9,6	96%
Wieringermeer	9	90%
Braambergen	8,4	84%
Zeeasterweg	8,4	83%
Montfort	8,2	82%
Zweekhorst	7,3	73%
Kanaaldijk	7,1	71%
<i>pilot Wieringermeer</i>	6,6	66%
ARN	6	60%
Nauerna	4,7	47%
<i>pilot Braambergen</i>	4,6	45%
Alle PDS-locaties in Ecofys-studie	10	100%

Tabel 6b. *Idem, alleen gemiddeld methaanpotentieel in 2013 uitgedrukt in kg/m² (worst-case en hoge emissie scenario).*

Locatie	Afvalpakket (ton/m ²)	BMP (in 2013) (kg/m ²)	T.o.v. gemiddelde Ecofys
N-en M-Zeeland	21	264,6	250%
Wijster	25	250,0	236%
<i>pilot Kragge II</i>	9	211,5	200%
Spinder	18	201,6	190%
Landgraaf	14	184,8	174%
de Wierde	14	170,8	161%
Boeldershoek	16	158,4	149%
Stainkoeln2	14	158,2	149%
Schinnen	14	134,4	127%
Sluiner	12	133,2	126%
Haps	11	128,7	121%
Montfort	15	123,0	116%
Vink	10	116,0	109%
ARN	18	108,0	102%
Elhorst-Vloedbelt	7	90,3	85%
Wieringermeer	10	90,0	85%
Zweekhorst	12	87,6	83%
Nauerna	18	84,6	80%
Braambergen	9	75,6	71%
<i>pilot Wieringermeer</i>	11	72,6	68%
Zeeasterweg	8	67,2	63%
Kanaaldijk	8	56,8	54%
<i>pilot Braambergen</i>	10	46,0	43%
Alle PDS-locaties in Ecofys-studie	10,6	106	100%

Het BMP ten opzichte van het Ecofys-gemiddelde is in tabel 6 wat gestegen ten opzichte van tabel 4. Dat komt doordat DOC_0 en DOC_f voor de individuele stortplaatsen meer zijn gestegen, dan voor de PDS-locaties in de Ecofysstudie (als gevolg van de grotere onzekerheden, zie ook tabel 5). Ook is de ranglijst iets veranderd. Het BMP(t) op oudere stortplaatsen wordt wat sterker beïnvloed door de aanname van een iets lagere vormingssnelheid, dan BMP(t) op wat jonger afval.

4.2 Selectie voor fase 2

Het resterend methaanpotentieel BMP(t) wordt hier voorgesteld als een maat voor actuele stortgasvorming. Voordeel van BMP(t) is, dat ze eenvoudig is vast te stellen op basis van beschikbare afvalgegevens. Voor individuele stortplaatsen kan de nauwkeurigheid van BMP(t)

worden gekwantificeerd door vergelijking van tabel 2a en tabel 4a. Bijvoorbeeld voor Elhorst-Vloedbelt is de beste schatting $BMP(t)=6,9$ kg/ton en geldt een worst-case van 12,9 kg/ton (+ 90%). Door uit te gaan van de worst-case is de kans nihil dat door toedoen van stap 1 een PDS-locatie ten onrechte niet wordt meegenomen in stap 2.

Behalve $BMP(t)$, uitgedrukt in kg methaan/ton afval (Tabel 4a en 6a), kan ook worden overwogen om te toetsen op $BMP(t)$ in kg methaan per m^2 (Tabel 4b en 6b). Hierbij zullen stortplaatsen met een relatief dik afvalpakket de ranglijsten in tabel 4 en 6 gaan overheersen. Uiteindelijk gaat het om het tegengaan van emissies als gevolg van het niet afdichten van oppervlakten stortoppervlak in ha. Door te selecteren op BMP/m^2 , worden stortplaatsen geselecteerd, waar per niet afgedichte ha de meeste effecten zijn te verwachten. De kosten voor een aantal maatregelen voor methaanemissiereductie, correleren met het oppervlak, waar de maatregel wordt toegepast. Door te selecteren op afval met een hoge $BMP(t)$ in kg per m^2 , worden stortplaatsen geselecteerd, waar waarschijnlijk het meest kosteneffectief maatregelen te treffen zijn.

Uitgangspunt van selectie van stortplaatsen voor stap 2 is de conclusie dat voor een specifieke PDS-locatie de combinatie van inputparameters (weergegeven door de $BMP(t)$) tenminste 50% hoger ligt dan de combinatie van inputparameters van de groep van PDS-locaties uit de Ecofysstudie, ook in het hoge-emissie scenario. Er wordt daarom gekozen de selectie te baseren op zowel tabel 6a en tabel 6b. Hieruit volgt dat een zestal locaties voor stap 2 geselecteerd zou moeten worden:

- De Kragge 2 (pilotlocatie, geen PDS-locatie)
- N-en M-Zeeland (onderafdichtingen na 1987; maximaal benodigd uitstel tot 2023: 7 jaar).
- Wijster (onderafdichtingen na 1995; maximaal benodigd uitstel tot 2023: 0 jaar).
- Spinder (onderafdichtingen na 1989; maximaal benodigd uitstel tot 2023: 5 jaar).
- Landgraaf (onderafdichtingen na 1994; maximaal benodigd uitstel tot 2023: 0 jaar).
- de Wierde (onderafdichtingen na 1992; maximaal benodigd uitstel tot 2023: 2 jaar).

De Kragge 2 is een pilot-locatie en geen PDS-locatie. Bij verduurzaming van De Kragge 2 bestaat ook een risico voor verhoogde methaanemissies. Aan reductie van deze methaanemissies zal echter aandacht worden besteed in het Deelplan van Aanpak voor uitvoer van de pilot op De Kragge 2. Voorstel is echter om maatregelen voor emissiereductie van methaan bij deze locatie daarom niet mee te nemen in dit onderzoek. Tussen de vijf overige locaties bevinden zich twee locaties die strikt genomen geen uitstel nodig hebben, wanneer tot na 2023 wordt gewacht met het aanbrengen van de bovenafdichting. Dit is vanwege de leeftijd van de onderafdichtingsconstructie. Het is dan betwistbaar of hier sprake is van extra emissie ten gevolge van uitstel van bovenafdichting. Om die reden wordt voorgesteld stap 2 in eerste instantie uit te voeren met de locaties N-en M-Zeeland, De Wierde en Spinder.

3. Referenties

Afvalzorg (2013): Multiphase landfill gas generation and emission model, via http://www.afvalzorg.nl/en/Landfill-sites/Emissions-management/Methane-emissions/Download_MLGGR_Model.aspx

Coops, O., L.Luning, H. Oonk, and A. Weenk, Validation of Landfill Gas Formation Models, Proceedings from Sardinia '95, Fifth International Landfill Symposium, CISA, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 2-6 October 1995.

Gebert J., Pfeiffer E.-M., (2012): Mikrobielle Methanoxidation in Deponie-abdeckschichten. Abschluss-Workshop., Hamburger bodenkundige Arbeiten, Band 68.

IPCC (2000): Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, International Panel on Climate Change, Task Force on National Greenhouse Gas Inventories, Hayama, Japan, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/index.html>.

IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, International Panel on Climate Change, Task Force on National Greenhouse Gas Inventories, Hayama, Japan, <http://www.ipcc-ggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.

Luning L., Oonk H. (2011): Stortgasemissies duurzaam stortbeheer, Ecofys, Utrecht.

Oonk H. (2010): Oxidatie van methaan in toplagen van stortplaatsen, naar een betere kwantificering, OonkAY!, Apeldoorn, the Netherlands.

Oonk H. (2012): Efficiency of landfill gas collection for methane emission reduction, Greenhouse Gas Measurement and Management, Vol. 2 (2-3), pp. 129-145.

Staatsblad (2012): Besluit van 12 juli 2012 tot wijziging van het Besluit uitvoering Crisis- en herstelwet, Bijlage II bij de Crisis- en herstelwet en het Stortbesluit bodembescherming (Besluit uitvoering Crisis- en herstelwet, derde tranche), Staatsblad, 2012-350.

Bijlage 3: berekening van BMP(t)

De methaanemissies uit een stortplaats worden gekwantificeerd als:

$$\text{emissie} = \text{vorming} - \text{winning} - \text{oxidatie} \quad (\text{vgl. 1})$$

De vorming van methaan vindt plaats gedurende langere tijd. Er is vrij veel ervaring met stortgasvorming, bijvoorbeeld uit projecten voor stortgaswinning. De vorming van methaan wordt meestal gekwantificeerd met een eerste orde-model. Dit geldt zowel voor kwantificering van nationale emissies (IPCC, 2006), als dimensionering van winning en kwantificering van emissies op individuele stortplaatsen (bijvoorbeeld Coops et al., 1995; Afvalzorg 2013).

Met zo'n eerste-ordemodel kan ook het resterend methaanvormingspotentieel (BMP(t), in kg methaan per ton afval) worden ingeschat. Dit BMP(t) is de hoeveelheid methaan, die in de loop van de tijd nog gevormd zal gaan worden. Het is dus het methaanpotentieel op moment van storten min de hoeveelheid methaan, die in de loop van de tijd al is gevormd. Volgens een eerste orde-model kan de actuele methaanvorming worden berekend als

$$\text{vorming} = k * \text{BMP}(t) \quad (\text{vgl. 2})$$

waarbij het resterend methaanpotentieel op moment van storten (BMP(0)) kan worden berekend als:

$$\text{BMP}(0) = 16/12 * F * \text{DOC}_0 * \text{DOC}_f \quad (\text{vgl. 3})$$

Hierin is k de reactiesnelheidsconstante is voor biodegradatie van afval (in j^{-1}); F het gehalte aan methaan is in het gevormde gas (volume%); DOC_0 is de totale hoeveelheid afbreekbaar organische koolstof op moment van storten (in kg per ton afval) en DOC_f is de fractie van DOC, dat daadwerkelijk afbreekt (dimensieloos).

Uitwerking van vergelijking 2) en 3) levert vergelijking 4)

$$\text{BMP}(t) = 16/12 * F * (e^{-k})^{t*} * \text{DOC}_f * \text{DOC}_0 \quad (\text{vgl. 4})$$

Waarin t de ouderdom van het afval is, uitgedrukt in jaren.

De parameters in vergelijking 4, zijn bekend uit modellen voor stortgasvorming, zoals bijvoorbeeld het Afvalzorgmodel en zijn ook gebruikt in de modellering van Ecofys (Luning en Oonk, 2011). Wanneer voor een specifieke stortplaats gegevens bekend zijn over ouderdom en samenstelling van het afval, kan hiermee BMP(t) worden ingeschat.

Bijlage 4: Resterend methaanvormingspotentieel en methaanemissies

De potentiële methaanemissies zijn niet alleen afhankelijk van de methaanvorming per ton afval, maar ook van de hoogte van het afvalpakket en de dichtheid van het afval. Voor de daadwerkelijke methaanemissie zijn daarnaast winning en oxidatie van belang (zie vgl. 1). Winning en oxidatie zijn onder meer afhankelijk van de dikte van het afvalpakket, soort toplaag en de kwaliteit van de stortgaswinning. De uiteindelijke effecten hiervan op de methaanemissies zijn echter onzeker:

- De *dikte van het afvalpakket* heeft effect op zowel de oxidatie als het winningsrendement. Wanneer per m² meer afval is gestort, dan is de flux aan methaan naar de toplaag groter en neemt de oxidatie (uitgedrukt in procent van de methaanflux naar de toplaag) af. Bij een dikker afvalpakket neemt de effectiviteit van gaswinning echter toe. Deze effecten zullen elkaar in de praktijk in ieder geval deels compenseren.
- Zowel winningsrendement als oxidatie zijn beide deels afhankelijk van de *leeftijd* van het afvalpakket. De som van beide zal waarschijnlijk toenemen, als het afvalpakket ouder wordt. Ook BMP correleert met de ouderdom van het afvalpakket; hoe ouder het afvalpakket, des te lager het BMP. Gevolg van beide is, dat bij een laag BMP een kleiner deel van de methaanemissies vrijkomt naar de atmosfeer. Dit is een extra argument om aan stortplaatsen met een laag BMP minder aandacht te besteden.
- Soort *afwerking* heeft ook effect op *zowel* oxidatie als winningsrendement. De keuze voor een laagporeuze *afwerking* (bijvoorbeeld kleiachtig materiaal) leidt tot een afname van de methaanoxidatie (bijvoorbeeld Gebert et al., 2012). Tegelijkertijd wordt het winningsrendement positief beïnvloed. Ook hier zullen de effecten elkaar in de praktijk voor een belangrijk deel compenseren.
- De kwaliteit van de stortgaswinning: het rendement van stortgaswinning van zowel operationele stortplaatsen als gesloten stortplaatsen² kan variëren van 10-90%. Wanneer echter een systeem van stortgaswinning is geïmplementeerd, conform stand der techniek, lijkt een rendement van 45-65 % gegarandeerd (voor delen, daadwerkelijk uitgerust met gaswinning: Oonk, 2012), afhankelijk van dikte van het afvalpakket en soort toplaag.

² Een operationele stortplaats accepteert nog steeds afval. Wanneer een stortplaats geen nieuw afval meer accepteert, maar nog niet is afgedicht conform stortbesluit, spreken we van een gesloten stortplaats.

BIJLAGE 3
STUK OVER EMISSIEMETINGEN

Bijlage 3: emissiemetingen

Het meten van methaanemissies uit een stortplaats is relevant voor een aantal van de in deze studie beschreven emissiereducerende maatregelen. Emissies kunnen worden gemeten:

- als onderdeel van de maatregel. Bijvoorbeeld in de voorbereiding van een maatregel om plaatsen te identificeren met een verhoogde methaanuittreding (bijvoorbeeld in geval van hot-spot remediation of het bijplaatsen van onttrekkingsbronnen) of bij het beheer van de maatregel (in geval van methaanoxidatie in een toplaag of bij evaluatie van de werking van het onttrekkingsstelsel);
- om effecten van een maatregel vast te stellen. Dit is vooral relevant voor het al dan niet bewezen zijn van een maatregel.

Probleem bij het meten van emissies is, dat methaan niet homogeen door het oppervlak vrijkomt, maar vooral door zogenoemde hot-spots (kleine oppervlaktes, één tot enkele m² groot, waar een grote hoeveelheid methaan vrijkomt, bijvoorbeeld via scheuren in het oppervlak) of hot-area's (delen van het oppervlak, enkele tientallen m² groot, met verhoogde methaanemissies, bijvoorbeeld een deel van het afvalpakket, waar toevallig afval ligt waar veel methaan wordt geproduceerd en die net buiten het bereik van onttrekkingsbronnen valt).

Op de pilotlocatie voor methaanoxidatie in Wieringermeer is bijvoorbeeld een verdeellaag aangebracht onder de toplaag, maar ook daar bleven emissies erg heterogeen. 80% van de emissies vond plaats op 15% van het oppervlak (Röwer et al., 2012). Op een reguliere, niet afgedekte stortplaats zal de emissie op nog meer heterogene wijze plaatsvinden. Hierbij zal een nog kleiner deel van het oppervlak voor een nog groter deel van de emissies zorgen.

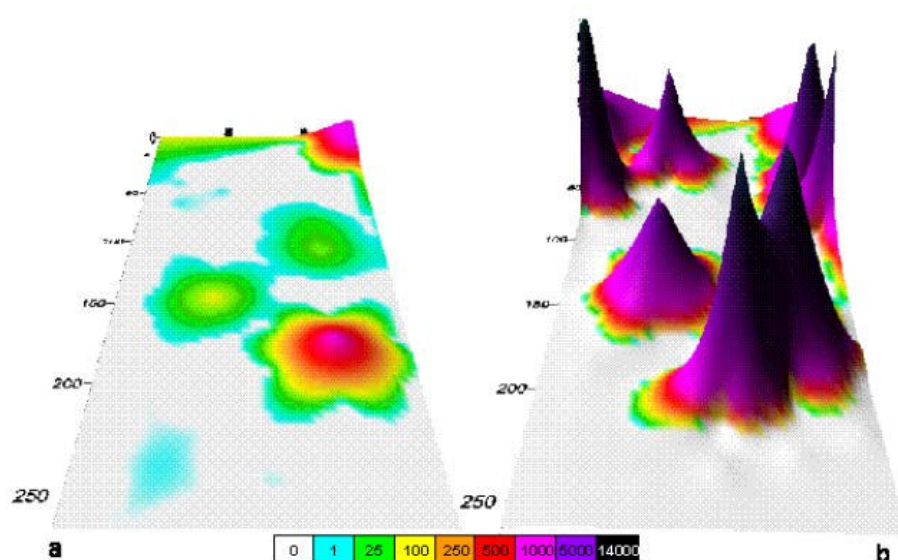
Er is een aantal mogelijkheden voor het meten van methaanemissies. Een evaluatie van verschillende methoden wordt gegeven in Oonk (2010) De meest relevante methoden voor emissiemeting zijn:

- *FID-screening volgens vooraf vastgesteld patroon*. Hierbij worden de methaanconcentraties direct boven het oppervlak vastgesteld volgens een vooraf vastgesteld patroon (meestal een 'grid' van 10 x 10 meter tot 30 x 30 m). Deze methode is inmiddels gestandaardiseerd in het Verenigd Koninkrijk UK en in de USA. In Duitsland is standaardisering in voorbereiding. Voordeel van de methode is, dat ze betaalbaar is en dat de resultaten hanteerbaar zijn. Er kunnen bijvoorbeeld eisen worden gesteld aan maximale concentraties boven het stortoppervlak. Wanneer deze maximale concentraties worden overschreden volgt nader onderzoek of dienen aanvullende maatregelen worden getroffen. Nadeel van de methode is, dat concentraties boven het afvalpakket niet direct kunnen worden omgerekend naar emissies. Daarnaast is er geen echte zekerheid, dat via een dergelijk patroonsgewijze screening alle hot spots worden gevonden. Een dergelijke FID-screening levert dan ook op zijn best een indicatie voor methaanemissies. Maar ook een dergelijke indicatie kan nuttig zijn in het kader van handhaving of om bijvoorbeeld een verandering van de emissiesituatie in kaart te brengen.
- *FID-screening op hotspots*. Ook hierbij worden methaanconcentraties boven het oppervlak in kaart gebracht. Alleen wordt nu actief gezocht naar uittredend methaan, door bijvoorbeeld extra aandacht te geven aan mogelijke hot-areas, zoals taluds of plaatsen waar vegetatieschade optreedt. Wanneer ergens verhoogde concentraties worden gemeten, wordt de bron van de verhoogde concentraties (de plaats waar concentraties het meest verhoogd zijn) actief opgezocht en de omgeving daarvan in

kaart gebracht. Voordeel van deze methode is, dat het een beter beeld geeft van de delen van het afvalpakket, waar de meeste emissies plaatsvinden. Nadeel van de methode is, is dat ze niet eenvoudig te standaardiseren is. De resultaten hangen af van de ervaring en motivatie van degenen, die de FID-screening uitvoeren.

Het verschil in resultaat van een patroonsgewijze FID-screening en een grondige zoektocht naar hot spots kan aanzienlijk zijn. Röwer et al. (2011) hebben voor een stortplaats in Duitsland (met een oppervlak van 1,5 ha) het verschil van beide aanpakken in kaart gebracht. Conclusie is dat bij een FID-screening volgens vooraf vastgesteld patroon het merendeel van de methaanemissies niet in kaart worden gebracht.

Het verschil in resultaat van een gridgewijze FID-screening en een grondige zoektocht naar hotspots kan aanzienlijk zijn. Röwer et al. (2011) hebben voor een stortplaats in Duitsland (met een oppervlak van 1,5 ha) het verschil van beide aanpakken in kaart gebracht. Conclusie is dat bij een FID-screening volgens vooraf vastgesteld grid het merendeel van de methaanemissies niet in kaart worden gebracht.



Figuur: methaanconcentraties boven een stortplaats in Duitsland. Links, bij a), gebeurde dit volgens een vooraf vastgesteld grid met een afstand van 25 m tussen de meetpunten. Rechts bij b) is actief gezocht naar locaties met verhoogde methaanemissies buiten het grid (Röwer et al., 2011).

- *Boxmetingen.* Hierbij wordt de toename van methaanconcentraties in de tijd gemeten in een doos op het stortoppervlak. Hieruit kunnen vervolgens methaanemissies worden berekend, uit het oppervlak, dat door de doos wordt bedekt. Voordeel van de methode is, dat ze geen concentraties geeft, maar daadwerkelijke emissies. Nadeel van de methode is, dat het bemeten oppervlak zeer beperkt is. Hierdoor is een zeer groot aantal boxmetingen nodig om een representatief beeld te krijgen van de daadwerkelijke emissies uit een stortplaats. Door alleen boxmetingen uit te voeren op hot-areas (vastgesteld door FID-screenings) kan de meting weliswaar nog wat effectiever worden uitgevoerd, maar met de huidige stand der techniek is het niet haalbaar om op deze manier een nauwkeurig (bruikbaar) beeld te krijgen van emissies van een reguliere, niet afgedekte stortplaats.

- *Massabalans en pluimmetingen.* Hiervoor bestaat een aantal mogelijkheden, in het verleden ontwikkeld door onderzoeksinstituten met de nodige meetervaring met emissies uit diffuse bronnen (in Nederland TNO en ECN, maar verder ook universiteiten en wetenschappelijke instellingen in Zweden, Denemarken, UK, USA en Frankrijk). Voordeel van de methoden is, dat in de regel emissies worden gemeten van grotere delen van het afvalpakket tot aan de hele stortplaats. Nadeel is dat de methoden kostbaar zijn, waarbij de kwaliteit van het resultaat niet altijd gewaarborgd is. Een onderlinge vergelijking van meetmethoden (Babilotte et al.) gaf aan dat verschillen tussen de methoden aanzienlijk kunnen zijn. Onder wetenschappers bestaat dan ook geen overeenstemming, welke meetmethode het meest realistische beeld geeft van emissies. Een ander nadeel is dat de methoden emissies meten van een groter oppervlak. De methoden zijn dus niet geschikt voor vaststellen van methaanemissies van proefvelden of proefvakken met een beperkter omvang, tegen de achtergrond van emissies van de gehele stortplaats.

Een ideale manier om methaanemissies te meten van stortplaatsen is zoals uit bovenstaande blijkt nog niet voorhanden. De gekozen meetmethode hangt in belangrijke mate af van de precieze vraagstelling en situatie. Demonstraties van methaanoxidatie, bijvoorbeeld, vinden vaak plaats op proefvelden op een stortplaats. Daarbij zijn massabalans en pluimmeetmethoden niet toepasbaar. Voor identificeren van hotspots als onderdeel van een maatregel (bijvoorbeeld hot-spot remediation of verbeteren van het onttrekkingsrendement) kan een afvalpakket worden gescreend op hotspots.