



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

**Feitenrelaas rond de aspecten
'Gezondheid en Veiligheid'
van biovergisting**

RIVM Briefrapport 2014-0162
P.A.M. Heezen et al.



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Feitenrelaas rond de aspecten 'Gezondheid en Veiligheid' van biovergisting

RIVM Briefrapport 2014-0162
P.A.M. Heezen et al.

Colofon

© RIVM 2015

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Heezen, P.A.M.(auteur), RIVM
Schalk, J.A.C. (auteur), RIVM
Posthuma, L. (auteur), RIVM
Wintersen, A.M. (auteur), RIVM

Contact:
Arjen Wintersen
Duurzaamheid Milieu en Gezondheid
arjen.wintersen@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, in het kader van Project M/680716/10: 'Effecten covergisting'

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Feitenrelaas rond de aspecten 'Gezondheid en Veiligheid' van biovergisting

Biovergisting is de afbraak van organisch materiaal uit mest en andere restanten in speciaal daarvoor ingerichte installaties. Bij dit proces komt het energierijke biogas methaan (CH₄) vrij. Daarnaast ontstaat een product ('digestaat') dat gebruikt kan worden als meststof in de landbouw. Wanneer niet alleen mest maar ook andere organische materialen worden verwerkt in een vergister, spreken we van covergisting.

In 2014 heeft de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) in opdracht van het ministerie van Economische Zaken een evaluatie uitgevoerd van covergisting in Nederland. Het RIVM heeft hiervoor informatie verzameld over gezondheid en veiligheid. Hieruit blijkt dat de mensen bij mestvergisting niet in hogere mate aan pathogenen en antibiotica-resistente bacteriën blootstaan dan bij andere vormen van mestverwerking. Wel zijn incidenten en ongevallen met co-vergistingsinstallaties gevaarlijk geweest voor medewerkers, bijvoorbeeld vanwege explosie- en verstikkingsgevaar door gasvorming. Ook hebben ze omwonenden stankoverlast bezorgd. Verder blijkt dat de risico's onbekend zijn als de regelgeving voor co-vergisting niet wordt nageleefd, bijvoorbeeld door materialen bij te mengen die daarvoor niet zijn toegestaan. Een goede procescontrole is daarom van belang.

De bevindingen, waar meerdere partijen aan bijdragen, worden in 2015 gepubliceerd. Onderliggende rapportage bevat de uitgebreide informatie van het RIVM die wordt samengevat in het CDM-rapport. Voor het onderwerp gezondheid zijn de microbiologische risico's van mestvergisting nader beschouwd. Het onderwerp veiligheid betreft Arbo-regelgeving en externe veiligheidsrisico's.

Kernwoorden: Mestvergisting, biovergisting, gezondheidsrisico's, pathogenen, externe veiligheid

Synopsis

Health and safety aspects of biodigestion

Biodigestion is a process in which organic material from manure and other residues is degraded in specifically designed plants. In this process biogas is formed which contains the combustible gas methane (CH₄). The solid residue, termed 'digestate', is used as fertilizer. The process in which other organic materials are digested besides manure is called co-digestion.

Co-digestion is promoted in many EU countries as a source of renewable fuel. In The Netherlands, co-digestion is promoted and subsidized by national and regional authorities. There are now about 100 plants for the co-digestion of manure and other organic materials. Another three plants are dedicated to process manure only.

In 2014 the Dutch Ministry of Economic Affairs commissioned a broad evaluation of the practice of co-digestion in The Netherlands. The evaluation was performed by the Dutch Scientific Committee of the Manure Act and has resulted in a 'fact finding mission' and literature study based on existing information and data. The Dutch Institute for Public Health and the Environment (RIVM) has contributed information on the topics of health and external safety. For the health topic, the role of pathogens in the process of digestion was evaluated. The topic of safety deals with work place safety and external safety issues.

Many parties have contributed to the final report that covers economical and policy targets, environmental and spatial issues, health and safety and law enforcement. This overall report will appear in 2015. The information in this report forms the basis for the corresponding topics in the overall report by the Dutch Scientific Committee of the Manure Act.

Keywords: Biodigestion, health risks, pathogens, safety

Inhoudsopgave

Leeswijzer — 9

1 Microbiologische risico's van covergisting van mest — 11

- 1.1 Inleiding — 11
- 1.2 Blootstelling aan humane pathogenen — 11
- 1.3 Relevante pathogenen — 12
- 1.4 Hygiënisatie en aerobe digestie — 14
 - 1.4.1 Hygiënisatie — 14
 - 1.4.2 Inactivatie door het AD-proces — 14
 - 1.4.3 Effect van hygiënisatie op inactivatie van pathogenen en indicatoren: data uit de literatuur — 15
 - 1.4.4 Effect van AD op inactivatie van pathogenen en indicatoren: data uit de literatuur — 16
- 1.5 Aanwezigheid van pathogenen in biovergisters — 16
- 1.6 Antibiotica-resistente bacteriën — 17
- 1.7 Conclusies — 18
 - 1.7.1 Aanwezigheid van pathogenen en antibiotica-resistente bacteriën in digestaat — 18
 - 1.7.2 Risico's op verspreiding van botulisme — 18
 - 1.7.3 Risico's van het gebruik van digestaat als meststof op het land — 18
 - 1.7.4 Blootstelling tijdens transport — 19
 - 1.7.5 Blootstelling van omwonenden tijdens anaerobe digestie — 19
 - 1.7.6 Risico's van bijmenging van niet-toegestane covergistingmaterialen — 19

2 Arbeidsveiligheid, externe veiligheid en hinder — 21

- 2.1 Inleiding — 21
- 2.2 Algemeen — 21
 - 2.2.1 Covergisting versus mono-vergisting — 21
 - 2.2.2 Samenstelling biogas en gevaarsclassificatie — 22
 - 2.2.3 Gevaren van biogas — 23
- 2.3 Externe Veiligheid — 24
 - 2.3.1 Regelgeving Externe Veiligheid — 25
 - 2.3.2 Activiteitenbesluit — 25
 - 2.3.3 Bevi — 25
 - 2.3.4 Brzo 1999 — 25
 - 2.3.5 Wanneer wordt een QRA uitgevoerd — 25
- 2.4 Arbeidsveiligheid — 27
 - 2.4.1 ATEX — 27
 - 2.4.2 ARIE — 27
- 2.5 Overlast — 28
- 2.6 Risico's van falen — 33
- 2.7 Deelconclusies arbeidsveiligheid, externe veiligheid en hinder — 34

3 Mogelijke aanbevelingen om de risico's te verlagen — 35

Literatuur — 37

Leeswijzer

In 2014 heeft de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) een brede evaluatie uitgevoerd van covergisting in Nederland in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken. Deze evaluatie heeft het karakter van een uitgebreide literatuurstudie en 'factfinding'; er heeft geen nieuw onderzoek plaatsgevonden. Veel partijen hebben een bijdrage geleverd aan de rapportage die ingaat op aspecten met betrekking tot economie en beleidsdoelen, milieu en planologie, gezondheid en veiligheid en uitvoering, handhaving en naleving. Het rapport onder regie van de CDM zal in 2015 verschijnen. Het RIVM heeft voor de evaluatie informatie verzameld en aangeleverd met betrekking tot gezondheid en veiligheid. Voor het onderwerp gezondheid zijn de microbiologische risico's van mestvergisting nader beschouwd (hoofdstuk 1). Gezondheidseffecten die kunnen optreden als gevolg van de verspreiding van stoffen naar de bodem, zijn door de Technische Commissie Bodem beschouwd ten behoeve van de evaluatie. Het onderwerp veiligheid heeft betrekking op Arboregelgeving, externe veiligheidsrisico's en hinder (hoofdstuk 2). De informatie uit dit rapport vormt de basis voor de (samengevatte) informatie in het syntheserapport over deze onderwerpen. In het kader van de evaluatie is afgesproken dat aanleverende partijen de aangeleverde broninformatie voor het hoofdrapport in onverkorte vorm apart publiceren. Dit rapport is de weerslag van die afspraak. In de hoofdstukken 1 en 2 worden (deel)conclusies en deelonderwerpen gegeven. Voor overkoepelende conclusies wordt verwezen naar het syntheserapport dat wordt opgesteld onder regie van de CDM. In hoofdstuk 3 worden enkele aanbevelingen gedaan vanuit de domeinen microbiologische risico's en veiligheid.

1 Microbiologische risico's van covergisting van mest

1.1 Inleiding

Covergisting van mest is een proces waarbij via anaerobe digestie (AD) mest wordt omgezet in biogas (methaan en koolstofdioxide) en een digestaat. Het biogas kan worden gebruikt ten behoeve van energieproductie, of als brandstof. Het digestaat kan worden gebruikt als meststof. Om de productie van biogas efficiënter te laten verlopen worden er organische materialen bijgemengd in de biovergister. In tegenstelling tot aerobe digestie (bv composteren), komt er bij AD weinig warmte vrij. Tijdens AD wordt het oorspronkelijke, organische materiaal afgebroken door micro-organismen. De belangrijke stappen zijn: hydrolyse, acidogenese, acetogenese en methanogenese. Tijdens de laatste stap vindt de meeste productie van biogas plaats. De groei en activiteit van de anaerobe micro-organismen wordt beïnvloed door afwezigheid van zuurstof, temperatuur, pH, voedingsstoffen en aanwezigheid van remmers (bv ammonia). Het AD-proces kan plaatsvinden bij lage temperatuur (psychrofiel, < 25°C), gematigde temperatuur (mesofiel, 25°C - 45°C), en hoge temperatuur (45°C - 70°C). Hoe hoger de temperatuur, hoe sneller het proces verloopt.

In de uitvoeringsregeling Meststoffenwet, Bijlage Aa is vastgelegd welke producten als covergistingsmaterialen mogen worden gebruikt opdat het digestaat als meststof toegepast mag worden. Eis is hierbij dat minstens 50% van de meststoffen uit het digestaat afkomstig zijn van dierlijke mest. De covergistingsmaterialen die wettelijk zijn toegestaan, zijn onder andere: gewasproducten, (rest)stoffen afkomstig uit de voedingsmiddelenindustrie, stoffen van plantaardige herkomst, slib afkomstig van de productie van drinkwater uit grondwater of oppervlaktewater, en reststof verkregen bij de zuivering van afvalwater van een slachterij. Het digestaat kan verder opgewerkt worden: daarbij kan het worden gescheiden in een dikke en een dunne fractie. De dikke fractie wordt verwarmd zodat resterend vocht verwijderd wordt en stevige korrels ontstaan. De dunne fractie kan worden uitgereden, of verder ingedikd door verwarming (Uit: PHOV U039).

1.2 Blootstelling aan humane pathogenen

In dit rapport zijn de risico's van blootstelling aan humane pathogenen beoordeeld bij covergisting van mest, waarbij ervan uitgegaan is dat er alleen producten zijn toegevoegd aan de vergister die beschreven staan in Bijlage Aa van de uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Via mest kunnen zoönotische pathogenen terecht komen in de biovergister. Zoönotische pathogenen zijn ziekmakende micro-organismen die van dier op mens kunnen overgaan. Via dierlijke bijproducten en voedselresten die worden toegevoegd aan de vergister, kunnen respectievelijk zoönotische pathogenen en voedseloverdraagbare pathogenen in de biovergistingsinstallatie terecht komen. Onbedoeld of bedoeld kunnen er ook andere materialen worden toegevoegd aan de biovergister die niet zijn toegestaan volgens Bijlage Aa. Deze kunnen ook humane pathogenen bevatten. Omdat tot op heden geen onderzoek

is gedaan naar de microbiologische risico's van deze bijmengingen, is het niet mogelijk om daar een risico-beoordeling voor uit te voeren.

Mensen, maar ook dieren kunnen worden blootgesteld aan de pathogenen uit biovergistingsinstallaties. In dit rapport zijn de risico's voor mensen beoordeeld (echter niet van medewerkers van de installatie), en niet van dieren. Blootstelling kan plaatsvinden:

- Tijdens transport van de materialen naar de installatie;
- Tijdens het biovergistingsproces, bijvoorbeeld bij ontploffing of via onbedoelde emissie naar de lucht;
- Tijdens gebruik van het digestaat als meststof, bijvoorbeeld door verspreiding via de lucht of via uitspoeling naar het grondwater of oppervlaktewater;
- Tijdens gebruik van biogas.

De mate van blootstelling in deze stadia is vergeleken met de mate van blootstelling die kan plaatsvinden bij het gebruik van onbehandelde mest bij het uitrijden of injecteren. Er zijn aanwijzingen dat het aanbrengen van mest op het land kan leiden tot overdracht van pathogenen naar omwonenden (zie voor review Bicudo en Goyal, 2003). In dit rapport is ingeschat of de toepassing op het land van digestaat afkomstig van anaerobe digestie van mest en bijproducten, leidt tot toename of afname van het risico op verspreiding van of blootstelling aan pathogenen ten opzichte van toepassing van onbehandelde mest. Blootstelling aan pathogenen tijdens gebruik van biogas wordt heel klein geacht (LeAF, 2008) en wordt in deze beschouwing niet meegenomen.

1.3 Relevante pathogenen

In onderstaande tabel is aangegeven welke pathogenen aanwezig kunnen zijn in de biovergister, wat de herkomst kan zijn van deze pathogenen en welke eigenschappen ze hebben die relevant zijn voor het eventueel kunnen toenemen, persisteren of afsterven in de biovergister.

Tabel 1: Relevante pathogenen in grondstoffen van co-vergisters

Pathoogeen	Grondstof	Eigenschappen
Bacteriën		
<i>Salmonella</i> spp.	Kippenmest, varkensmest, rundermest, vlees, vis, eieren, rauwe groente, kiemgroente, fruit, schaal- en schelpdieren, bodem, water	Facultatief anaeroob
<i>Listeria</i> spp.	Producten van dierlijke oorsprong, plantaardige producten, bodem, water	Aerobe en anaerobe soorten
<i>Campylobacter</i> spp. (o.a. <i>Campylobacter jejuni</i> en <i>Campylobacter coli</i>)	Kippenmest, varkensmest, melkproducten, rauwe groente, schaal- en schelpdieren	
<i>E. coli</i> (o.a. O157)	Mest	Facultatief anaeroob

Pathofoon	Grondstof	Eigenschappen
Bacteriën		
<i>Clostridium</i> spp. (o.a. <i>Clostridium perfringens</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Clostridium difficile</i> en <i>Clostridium chauvoie</i>)	Mest, bodem, water	Anaeroob (echter, sommige soorten kunnen groeien in aanwezigheid van zuurstof), sporevormend
<i>Bacillus</i> spp. (o.a. <i>Bacillus anthracis</i> en <i>Bacillus cereus</i>)	Mest en dierlijke bijproducten, vlees, groente, melk, diverse voedselproducten	Facultatief anaeroob, sporevormend
<i>Coxiella burnetii</i>	Geiten, schapen, honden, katten, runderen	Aeroob, obligaaf intracellulair
ESBL*-producerende Enterobacteriaceae	Mest en dierlijke bijproducten	
VRE#	Mest en dierlijke bijproducten	
<i>Staphylococci</i> spp. (waaronder MRSA\$)	Mest, voedselproducten	Facultatief anaeroob
<i>Yersinia</i> spp.	Knaagdieren, groenten, fruit, melkproducten, varkensvlees, water	Facultatief anaeroob
Virussen		
Hepatitis E virussen	Varkens, koeien, schapen, voedsel, water	
Parasieten		
<i>Coccidae</i> spp.	Darmparasiet bij kippen, konijnen, kalveren	
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Rundermest, water	Obligaaf intracellulair
<i>Giardia</i> spp.		Anaeroob
<i>Ascaris</i> spp.	Varkens, rauwe groente, fruit, water	Spoelworm
<i>Trichostrongylidae</i> spp.		Rondworm

Bacteriën, virussen en parasieten hebben verschillende eigenschappen die kunnen bepalen hoe persistent ze zijn in een biovergister en of ze nog verder kunnen uitgroeien. Virussen hebben levende organismen nodig die in een biovergister niet voorkomen (met uitzondering van micro-organismen), om zich te vermenigvuldigen. Bacteriën kunnen aeroob of anaeroob zijn, dat wil zeggen dat ze groeien in de aan- of afwezigheid van zuurstof. Sommige bacteriën zijn facultatief anaeroob, wat wil zeggen dat ze zowel in aan- als in afwezigheid van zuurstof kunnen groeien. Alleen anaerobe of facultatief anaerobe bacteriën zouden zich kunnen vermeerderen in een biovergister. Sommige bacteriën zijn obligaaf intracellulair, zoals *Coxiella burnetii*, wat wil zeggen dat ze alleen in andere organismen kunnen groeien. Deze zijn hoogst waarschijnlijk niet in staat zich in een biovergister te vermeerderen. Sommige bacteriën kunnen sporen vormen, zoals *Clostridium* en *Bacillus*. De sporen zijn resistent tegen extreme omstandigheden, zoals uitdroging of hoge temperatuur. Parasieten kunnen cysten vormen die ook bestand zijn tegen uitdroging en hoge temperaturen. Veel bacteriën behoren tot de normale flora van de

darmen en mest van dieren, zoals *E. coli*, enterococcon, coliformen, salmonella, staphylococcon en ook clostridium en bacillus, zonder ziekteverwekkend te zijn. Sommige soorten kunnen voor de mens echter wel ziekteverwekkend zijn. Sommige soorten zijn ook voor dieren ziekteverwekkend (pathogeen), zoals *Coxiella burnetii* en *Clostridium botulinum*. Salmonella komt vaak bij pluimvee voor en kan overleven onder extreme milieu-condities (pH 4-8 en temperatuur 8 - 45°C) en kan lange tijd overleven in stof, bodem en water (review Bicudo en Goyal, 2003). Ook *E. coli* O157 kan overleven onder extreme condities (lage temperatuur en lage pH). Sommige bacteriën, zoals clostridium en bacillus komen van nature voor in het milieu, zoals in de bodem, en kunnen daar jarenlang overleven.

1.4 Hygiëniseratie en aerobe digestie

1.4.1

Hygiëniseratie

De Europese verordening Dierlijke bijproducten (EG) 1069/2009 regelt in combinatie met uitvoeringsverordening (EG) nr. 142/2011 sinds 4 maart 2011 het gebruik van dierlijke bijproducten. De NVWA ziet toe op uitvoering van genoemde verordeningen. Een bedrijf met een vergistingsinstallatie die dierlijke bijproducten vergist, dient hiervoor een vergunning te hebben.

Dierlijke bijproducten zijn onderverdeeld in drie categorieën afhankelijk van de risico's voor de gezondheid van mens of dier:

- Cat 1. Materiaal dat mogelijk prionen kan bevatten. Deze mogen niet gebruikt worden voor biogas productie.
- Cat 2. Hoog-risico materialen. Hieronder valt ook mest. Categorie-2-materialen mogen niet worden gebruikt voor biovergisting, met uitzondering van mest.
- Cat 3. Laag-risico-materialen. Deze mogen worden gebruikt voor biovergisting.

Digestaat dat wordt gevormd *na vergisting van dierlijke bijproducten*, dient te worden gepasteuriseerd. Het wordt dan 60 minuten verhit bij 70°C, of een gevalideerd proces met een vergelijkbaar resultaat. Dit wordt ook wel hygiëniseratie genoemd. Hygiëniseratie is gericht op inactivatie van pathogenen. Na hygiëniseratie wordt het digestaat als verwerkt beschouwd. Hier kan onder bepaalde voorwaarden van worden afgeweken indien het materiaal geen risico op verspreiding van ernstige op mens of dier overdraagbare ziekten inhoudt (Verordening (EU) Nr. 142/2011 Bijlage V, hoofdstuk III, afdeling 2, punt 2, onderdeel b). Het digestaat wordt dan als niet verwerkt beschouwd.

1.4.2

Inactivatie door het AD-proces

Naast hygiëniseratie kan ook het AD-proces zelf leiden tot inactivatie van virussen, bacteriën en parasieten. De inactivatie-efficiëntie hangt af van verblijftijd in de vergister, de temperatuur, roertechniek en type vergister. De beste inactivatie wordt bereikt bij thermofiele digestie. De temperatuur van 20 - 45°C bij mesofiele vergisting is gunstig voor bacteriën, virussen en parasieten voor overleving. Anaerobe bacteriën, zoals clostridium, zouden zich in principe kunnen vermenigvuldigen. Strict aerobe bacteriën, zoals sommige listeriasoorten, hebben zuurstof nodig en zullen zich niet kunnen vermenigvuldigen. Virussen kunnen zich niet vermenigvuldigen in de vergister. Deze hebben levende

organismen nodig om zich te vermenigvuldigen. Vorming van nieuwe virussen is daardoor niet mogelijk. Virussen kunnen mogelijk wel de hygiënisatie en het AD-proces overleven. Hepatitis E virus, dat aanwezig is in varkensmest, is hitte-stabiel en zou dus het proces kunnen overleven.

1.4.3 *Effect van hygiënisatie op inactivatie van pathogenen en indicatoren: data uit de literatuur*

In Zweden zijn enkele studies uitgevoerd naar het effect van hygiënisatie op aanwezigheid van pathogenen. In één studie is gekeken naar de aanwezigheid, groei en afsterving van bepaalde bacteriën, virussen en parasieten. Hygiënisatie van mest werd uitgevoerd door pasteurisatie (60 minuten bij 70°C) voorafgaand aan het AD-proces. Deze hygiënisatie stap van mest wordt in Nederland niet altijd toegepast. Door pasteurisatie werden de meeste bacteriën afgedood: vóór pasteurisatie zijn diverse pathogenen (*Listeria*, *campylobacter*, *salmonella*, *E. coli* O157) en indicatoren (*E. coli*, coliformen en enterococcen) aanwezig (indicatoren tot ca. , 4 - 5 log cfu/gr natgewicht) die niet meer te detecteren zijn na pasteurisatie (Bagge et al., 2005). Indicatoren zijn bacteriën die altijd en in redelijk hoge aantallen voorkomen in mest en zijn niet noodzakelijk pathogenen. Indicatoren geven een indicatie van de overleving van bacteriën gedurende het proces. De indicatoren coliformen en enterococcen waren na digestie en opslag wel weer te meten. Met name tijdens het transport was een toename te zien (tot 2 log cfu/gr voor coliformen en tot 3 log cfu/gr voor enterococcen) (Bagge et al., 2005). Het is mogelijk dat lage concentraties bacteriën de pasteurisatie overleven en vervolgens weer uitgroeien. Echter, ook contaminatie tijdens transport kan een verklaring zijn voor de toename. De sporevormende bacteriën *Clostridium perfringens* en *Bacillus* spp namen niet af door de pasteurisatie-stap en ook niet tijdens het AD-proces (niveau ca. 4 log cfu/gr natgewicht).

In een ander onderzoek van Bagge (2009) zijn monsters van mest, slachtafval en diverse stadia van het AD-proces onderzocht op clostridium en bacillus. Ook hieruit blijkt weer dat pasteurisatie geen effect heeft op de niveaus van clostridium en bacillus. Voor clostridium is een kleine afname gezien tijdens het AD-proces (minder dan 1 log). Voor bacillus is een kleine toename gezien. In een studie werden vijf pathogene clostridiumsoorten toegevoegd aan het substraat vóór anaerobe digestie en werd gemeten voor en na pasteurisatie. De impact verschilt per soort. Voor sommige soorten wordt een afname gezien, onder andere voor *Clostridium perfringens* type C. Voor andere soorten niet (Bagge, 2009).

In een andere Zweedse studie is biowaste onder laboratoriumcondities geïnoculeerd met bacteriën, virussen en parasieten en is vervolgens het effect van pasteurisatie bekeken. Pasteurisatie bij 55°C is vergeleken met 70°C (Sahlstrom et al., 2008). De condities 60' 55°C, 30' 70°C en 60' 70°C bleken effectief voor *Salmonella typhimurium*, *Listeria* spp., *Campylobacter jejuni* en *E. coli* O157. Enterococcen blijken behoorlijk hitte-tolerant en minimaal 30 minuten verhitten bij 70°C is nodig om tenminste 4 log reductie te verkrijgen tot onder de detectielimiet. Er werd geen reductie van *Clostridium perfringens* waargenomen wat

overeenkomt met de eerder beschreven studies. Porcine parvovirus (welke niet pathogeen is voor de mens) bleek een hitte-stabiel virus. Hiervoor werd 3,2 log reductie bereikt bij 60' 70°C. Volledige afdoding werd niet bereikt. Dit kan effect hebben op gebruik van rioolslib in biovergiostingsinstallaties, waarin humane parvovirussen aanwezig kunnen zijn. Ook als mest van asympomatische dieren wordt gebruikt kunnen deze virussen in de installatie terecht komen. Niveau's zullen echter niet hoger zijn dan in onbehandelde mest, omdat virussen zich niet in de installatie kunnen vermenigvuldigen. Voor swine vesicular disease virus (niet pathogeen voor de mens) werd 6,1 log reductie tot onder de detectiegrens bereikt. Voor *Ascaris suum* konden geen ontwikkelde larven worden gedetecteerd na behandeling gedurende 15', 30', en 60' bij 55°C (Sahlström et al., 2008).

1.4.4 *Effect van AD op inactivatie van pathogenen en indicatoren: data uit de literatuur*

Uit verschillende studies blijkt dat het proces van AD leidt tot inactivatie van indicator-organismen (zoals totale coliformen, *E. coli* en enterococcen) en pathogenen (zoals *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Yersinia enterocolitica*, cryptosporidium en giardia) (Borowski et al., 2014; Pandey en Soupir et al., 2011; Massé et al., 2011; Iwasaki et al., 2011; Côté et al., 2006; Salsali et al., 2006; Kumar et al., 1999). Het effect van inactivatie hangt af van de temperatuur waarbij de digestie plaatsvindt en de duur van de digestie; bij een hogere temperatuur en langere digestie treedt meer inactivatie op. Pandey en Soupir (2011) hebben tijdens moderate (25°C), mesofiele (37°C) en thermofiele (52,5°C) vergisting van rundermest de overleving van *E. coli* bestudeerd. Zij vonden dat de inactivatie van *E. coli* tijdens thermofiele AD (52,5°C) 17 en 15 maal sneller was dan tijdens respectievelijk moderate (25°C) en mesofiele (37°C) AD. 1 log-verwijdering (90%) werd bereikt na 9 - 10 dagen bij 25°C, 7 - 8 dagen bij 37°C en minder dan 1 dag bij 52,5°C. Ook Kumar et al. (1999) hebben het effect van de temperatuur waarbij de anearobe digestie van rundermest plaatsvindt, op inactivatie bestudeerd: bij vergisting bij 35°C overleefden *E. coli* en *Salmonella typhi* minder lang dan bij vergisting bij kamertemperatuur (18 - 25°C). Côté et al. (2006) zagen bij psychrofiele digestie van varkensmest op laboratoriumschaal een 2,5 - 4,2 log reductie van *E. coli*, salmonella, cryptosporidium, giardia werden gereduceerd tot niet-detecteerbaar niveau. Borowski et al (2014) hebben het effect van mesofiele AD op de indicatoren *E. coli* en Enterobacteriaceae bestudeerd. Het AD-proces leidde tot minder dan een log reductie van de indicatoren. Masse et al. (2011) observeerden in psychrofiele vergisters van varkensmest een reductie van *E. coli* van 0,9 - 2,9 log en voor *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp. en *Yersinia enterocolitica* reducties van 0,9 - 2,4 log, in de meeste samples tot niet-detecteerbare niveaus. Voor *Clostridium perfringens* en *Enterococcus* spp. werd echter geen afname waargenomen en bleven de niveau's hoog (105 CFU/g).

1.5 **Aanwezigheid van pathogenen in biovergisters**

De meest aangetroffen clostridiumsoort in mest, slachtafval en samples in de diverse stadia van het AD-proces is *Clostridium perfringens*. *Clostridium botulinum* werd gevonden voor en na pasteurisatie bij één bedrijf, maar niet na het AD-proces (Bagge, 2009). Dit is echter maar

één waarneming dus er kunnen op basis hiervan geen conclusies worden getrokken over overleving van *C. botulinum* tijdens het AD-proces. *Bacillus cereus* werd gevonden voor en na pasteurisatie en na AD. *Bacillus anthracis* werd niet gevonden (Bagge, 2009). In een Duits onderzoek van Neuhaus et al. (2014) werd afval van 203 biogasinstallaties onderzocht op de aanwezigheid van ziekteverwekkende clostridiumsoorten via kweek en PCR. Via kweek werd *Clostridium perfringens* het meest aangetroffen (58% van de installaties). *Clostridium botulinum* werd niet aangetroffen. Met qPCR werd wel *C. botulinum* DNA aangetroffen, echter de PCR kon geen onderscheid maken tussen *C. botulinum* en *C. sporogenes*, dus met zekerheid kon dit niet worden gesteld.

In een studie van Bonetta et al. (2011) werd verse koeienmest voor het AD-proces microbiologisch onderzocht evenals het digestaat en de vloeibare en vaste fractie. Bacteriën bleven vooral achter in de vaste fractie, behalve enterococconen welke gelijk verdeeld waren over beide fracties. *E. coli* O157 werd niet aangetroffen in de onderzochte digestaat monsters, evenmin yersinia. Salmonella werd een enkele keer aangetroffen (8%) en listeria en *Clostridium perfringens* werden regelmatig aangetroffen (resp 25% en 67%) in het digestaat. Voor de indicatoren *E. coli* en enterobacteriaceae werd een afname gemeten in de vaste fractie ten opzichte van onbehandelde mest. Voor enterococconen werd echter een toename waargenomen (1,4 log). De onderzoekers concludeerden dat de toepassing van digestaat als meststof microbiologisch veiliger is dan de toepassing van koeiemest (Bonetta et al., 2011).

1.6 Antibiotica-resistente bacteriën

Door het gebruik van antimicrobiële middelen bij mens en dier kan resistentie van bacteriën, virussen, parasieten of schimmels ontstaan tegen deze middelen waardoor deze minder effectief worden. Voor de behandeling van bacteriële infecties bij mens en dier worden antibiotica, zoals Penicilline, gebruikt. In dierlijke mest komen antibiotica-resistente bacteriën, zoals Extended Spectrum Beta Lactamase-producerende bacteriën, Vancomycine-resistente Enterobacteriaceae en Methicilline-resistente *Staphylococcus Aureus* voor. De typen bacteriën en de mate waarin bepaalde resistenties voorkomen in dierlijke mest, hangen samen met de diersoort en de toepassing van antibiotica (frequentie en soort). Er zijn vooralsnog weinig studies gedaan naar het gedrag van antibiotica-resistente bacteriën gedurende covergisting. Een studie naar anaerobe digestie van rundermest liet zien dat verschillende multidrug-resistente bacteriën in aantallen afnamen over 60 dagen (Resende et al. 2014). Ook Beneragama et al. (2013) lieten een afname zien van >90% van verschillende multidrug-resistente bacteriën door mesofiele digestie waarbij mest, melkmengsels en combinatie van beiden zelfde trends vertoonden. Na thermofiele digestie waren de multidrug-resistente bacteriën niet meer meetbaar. In Nederland is een studie gedaan naar de reductie van de aantallen ESBL-producerende *E. coli* door covergisting van dierlijke mest waarbij is gebleken dat meer dan 6 log₁₀ eenheden van deze antibiotica-resistente bacteriën kon worden bereikt (Duindam et al. 2012). Publicaties of rapportages van studies naar andere antibiotica-resistente bacteriën, zoals bijv. VRE konden niet worden gevonden en het is dus vooralsnog onduidelijk wat covergisting

van dierlijke mest voor reductie van deze antibiotica-resistente bacteriën betekent. Hoewel hier geen data over bekend zijn, is niet aannemelijk dat het AD-proces leidt tot toename van antibiotica-resistente bacteriën, omdat weinig groei van bacteriën wordt waargenomen tijdens het AD-proces. Het is niet uit te sluiten dat het AD-proces leidt tot een verschuiving in bacterie-populatie ten voordele van antibiotica-resistente bacteriën, indien resten antibiotica aanwezig zijn in de dierlijke mest. Een toename in de aantallen antibiotica-resistente bacteriën door covergisting van mest ten opzichte van het gebruik van onbehandelde mest is niet te verwachten.

1.7 Conclusies

1.7.1 *Aanwezigheid van pathogenen en antibiotica-resistente bacteriën in digestaat*

Uit de hierboven beschreven studies kan geconcludeerd worden dat digestaat, afkomstig uit AD van mest niet vrij is van pathogenen en antibiotica-resistente bacteriën. Het AD proces leidt echter niet tot significante toename van humane pathogenen en indicator-organismen en zelfs tot reductie van indicator-organismen, en een aantal pathogenen. Indien het AD-proces wordt voorafgegaan door pasteurisatie zal, dit leiden tot verdere reductie van pathogenen en indicatoren. In vergelijking tot onbehandelde mest zullen de aantallen humane pathogenen en antibiotica-resistente bacteriën dus lager zijn. Voor spore-vormende bacteriën, zoals clostridium en bacillus wordt geen afname waargenomen als gevolg van pasteurisatie en AD.

1.7.2 *Risico's op verspreiding van botulisme*

In Duitsland is onrust ontstaan over de risico's van het gebruik van digestaat als meststof toen koeien verschijnselen vertoonden van botulisme na het grazen op land waarop digestaat was uitgereden. Het is onduidelijk of het hierbij inderdaad botulisme betrof. In de onderzoeken die hierboven beschreven staan, waarbij onderzoek is uitgevoerd naar de aanwezigheid van clostridium in biovergistingsinstallaties, is *Clostridium botuline* slechts eenmaal aangetroffen in de biovergister en niet in digestaat. Het risico op introductie van *Clostridium botuline* in de biovergister wordt heel klein geacht, indien alleen producten worden bijgemengd uit de lijst van toegestane stoffen. Indien producten van zieke dieren worden bijgemengd, is een risico op verspreiding van *Clostridium botuline* denkbaar, aangezien pasteurisatiestappen en anaerobe digestie niet zullen leiden tot reductie van de aantallen clostridium.

1.7.3 *Risico's van het gebruik van digestaat als meststof op het land*

De verwachting is dat het gebruik van digestaat afkomstig uit anaerobe digestie van mest niet zal leiden tot grotere risico's op verspreiding van pathogenen dan bij het gebruik van onbewerkte mest op het land. Mogelijk dat het verder concentreren van het digestaat leidt tot een concentratie van pathogenen, maar of dit ook leidt tot een hogere concentratie bij bemesten, is niet duidelijk, omdat mogelijk minder meststof wordt gebruikt in vergelijking tot niet geconcentreerde digestaat of niet verwerkte mest. Een mogelijk risico van het gebruik van digestaat als meststof is dat pathogenen over een groter gebied verspreid kunnen worden indien het digestaat wordt toegepast over een

groter gebied dan mest. Een hoger aantal pathogenen ten opzichte van onbehandelde mest zou aanwezig kunnen zijn indien dierlijke bijproducten worden bijgemengd welke pathogenen bevatten. Bij het bijmengen van dierlijke bijproducten is pasteurisatie van het digestaat verplicht. Dit zal voor de meeste pathogenen tot een sterke reductie leiden, behalve voor sporevormende soorten, zoals clostridium en bacillus. Indien producten worden gebruikt van de lijst van toegestane stoffen, zal het risico hierop klein zijn.

1.7.4 *Blootstelling tijdens transport*

Blootstelling van omwonenden tijdens transport naar de installatie is niet helemaal ondenkbaar, maar de verwachting is dat dit niet groter is dan bij transport van mest, tenzij anaerobe digestie leidt tot een toename van het aantal transportbewegingen.

1.7.5 *Blootstelling van omwonenden tijdens anaerobe digestie*

Blootstelling van omwonenden aan pathogenen als gevolg van ontploffing van een installatie valt niet uit te sluiten. Hoe ver blootstelling reikt is niet te zeggen.

1.7.6 *Risico's van bijmenging van niet-toegestane covergistingsmaterialen*

Het gebruik van covergistingsmaterialen die wettelijk niet zijn toegestaan kan mogelijk wel leiden tot extra risico's bij het gebruik van het digestaat op het land ten opzichte van toepassing van enkel mest. Anaerobe digestie wordt bijvoorbeeld ook gebruikt voor het verwerken van rioolslib, ontstaan na aerobe behandeling van afvalwater. Rioolslib mag niet worden toegevoegd aan een installatie voor covergisting van mest. Indien dat wel gebeurt, zouden daarmee humane pathogenen kunnen worden toegevoegd en via het digestaat verspreid over landbouwgrond. Andere denkbare bijproducten die kunnen worden toegevoegd, zijn karkassen van zieke dieren, waarmee prionen of hoge concentraties pathogenen in de biovergister zouden kunnen komen. Op dit moment zijn er geen kwantitatieve gegevens beschikbaar over de aard en omvang van dit soort illegale bijmengingen in Nederland in relatie tot de specifieke samenstelling en kan ook geen uitspraak gedaan worden over het daadwerkelijke risico van dergelijke bijmengingen in de praktijk.

2 **Arbeidsveiligheid, externe veiligheid en hinder**

2.1 **Inleiding**

De gezondheidseffecten van covergisting worden in dit hoofdstuk geïnterpreteerd als de risico's voor de *arbeidsveiligheid*, de *externe veiligheid* (EV) en de *overlast* voor omwonenden ten gevolge van het vrijkomen van biogas.

In de praktijk van covergisting en biogas zijn voor de externe veiligheid doorgaans enkel de brandbare eigenschappen van biogas relevant. Voor de risico's op kortere afstand van de biogasininstallatie (arbo) zijn naast de brandbare eigenschappen van biogas ook de giftige en verstikkende eigenschappen van biogas relevant. Als het gaat om klachten en overlast uit de directe omgeving van een covergistingsinstallatie, gaat het met name om geuroverlast en zorgen over de gezondheid.

Onder de kop 'Algemeen' wordt een aantal aspecten van biogas en covergisting besproken die relevant zijn voor zowel de externe veiligheid (EV), de arbeidsveiligheid en situaties waarbij overlast door omwonenden wordt ondervonden. Daarna zal per thema externe veiligheid (EV), arbeidsveiligheid en overlast, de relatie tot covergisting en biogas in meer detail maar op hoofdlijn worden uitgewerkt. Hiervoor is gebruikgemaakt van de aanwezige kennis binnen het RIVM rond dit onderwerp.

2.2 **Algemeen**

2.2.1 *Covergisting versus mono-vergisting*

De risico's van het co-vergisten van mest staan in relatie met de risico's rond mono-vergisting van mest of organische reststromen, het 'opwerken' van biogas naar bijvoorbeeld 'aardgaskwaliteit' en het ontstaan van (onbedoeld) mestgas in mestopslag. Deze relatie wordt tevens benoemd in de kaderstelling van het onderzoek van de Onderzoeksraad voor Veiligheid naar de gevaren van mestgassen [OVV, 2014]. Er is gekozen om voor dit overzicht de focus te leggen op de risico's van covergisting van mest.

Het grote verschil tussen het co-vergisten van mest (mest met een ander organisch materiaal) ten opzichte van het mono-vergisten van mest (enkel mest) is dat het geheel van de biogasproductie en relevante regelgeving aanzienlijk complexer is. Het aanpassen van de samenstelling van het te vergisten materiaal heeft invloed op de samenstelling van het geproduceerde biogas (en het digestaat). De samenstelling van het biogas bepaalt de gevaarsclassificatie van het biogasmengsel. Het is dus van belang om juist bij een wisselende samenstelling van het te vergisten (co-)materiaal (en dat komt bij covergistingsinstallaties voor) de samenstelling van het biogas goed in de gaten te houden en daaraan de juiste gevaarsclassificatie te koppelen. De VROM-inspectie schrijft in haar onderzoek Afvalstoffen bij covergisting uit 2011, dat in diverse gevallen niet kan worden beoordeeld of de samenstelling van co-materiaal voldoet aan de Meststoffenwet en de Wet bodembescherming. '*Bovendien leidt de*

onduidelijkheid over de aard en samenstelling van de binnenkomende (afval)stromen bij co-vergisters tot potentiële externe veiligheidsrisico's. Dit omdat er mogelijk stoffen worden geaccepteerd bij de co-vergister, die leiden tot onvoorziene risico's (bijvoorbeeld de aanwezigheid respectievelijk vorming van hoge concentraties aan zwavelwaterstof). Dit kan ook van invloed zijn op de ruimtelijke inpassing van dergelijke ondernemingen' [VI, 2011].

2.2.2 Samenstelling biogas en gevaarsclassificatie

De samenstelling van biogas kan bepalend zijn of een installatie of inrichting wel of niet valt onder een bepaalde regeling, zoals Aanvullende RisicoInventarisatie en -Evaluatie (ARIE) of Brzo 1999. Echter, een éénduidige, constante en voorspelbare samenstelling van biogas bestaat niet. Biogas is een mengsel van veel verschillende stoffen. Vooralsnog lijken de stoffen zwavelwaterstof (H₂S) en methaan (CH₄) de risicobepalende stoffen te zijn voor de arbeidsveiligheid en de externe veiligheid. (Specifiek voor arbeidsrisico's ook het verstikkingsgevaar door zuurstofverdringing bij werkzaamheden in onvoldoende geventileerde ruimtes met biogas.) Voor iedere (nieuwe) productie-situatie dient vooraf onderzoek te worden verricht naar de te verwachten samenstelling van biogas. De uiteindelijke samenstelling van het biogas zal gemonitord moeten worden op de concentraties van de stoffen zwavelwaterstof (H₂S) en methaan (CH₄), zeker als de samenstelling van het te vergisten materiaal varieert [RIVM, 2011].

De wijze waarop de gevaarsclassificatie van een biogasmengsel wordt bepaald, is afhankelijk van het gehanteerde classificatiesysteem: de oude DPD of de nieuwe CLP. In 2015 vervangt de Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures (CLP; Regulation EC 1272/2008; EC, 2008) de Dangerous Preparation Directive (DPD; Directive 1999/45/EEC; EC, 1999). Het artikel 'Hazard Classification of Biogas and Risks of Large Scale Biogas Production' beschrijft de consequenties van deze verandering voor de gevaarsclassificatie van biogas [Heezen, 2013]. In dit artikel wordt achtereenvolgens de gevaarsclassificatie bepaald volgens CLP en DPD voor een voorbeeld biogasmengsel dat bestaat uit zwavelwaterstof (H₂S), methaan (CH₄) en koolstofdioxide (CO₂).

Wat betreft de gevaarsclassificatie ten gevolge van de ontvlambaarheid van biogas zal er niet veel veranderen. Gezien de ontvlambare eigenschappen van methaan zal het worden geclassificeerd als F+; R12 onder de DPD en als Flammable Gas Category 1 (H220) onder de CLP.

Wat betreft de gevaarsclassificatie ten gevolge van de acute toxische eigenschappen van biogas zijn er wel relevante veranderingen. De tabellen 1 en 2 geven de gevaarsclassificatie weer van biogas volgens de DPD en de CLP criteria voor verschillende percentages H₂S in biogas. Hiervoor is een LC₅₀-waarde voor H₂S van 444 ppm gebruikt (4-uurs blootstelling).

Tabel 1: Gevaarclassificatie van de acute toxiciteit van een biogasmengsel volgens de DPD criteria

H ₂ S in biogas Vol %	ppm	Classification of biogas	Seveso II entry and qualifying quantity (lower/higher tier in t)
≥1	≥10,000	T+; R26 (very toxic by inhalation)	VERY TOXIC (5/20)
0.2 to 1	2,000 to 10,000	T; R23 (toxic by inhalation)	TOXIC (50/200)
0.02 to 0.2	200 to 2,000	Xn; R20 (harmful by inhalation)	Not in scope
<0.02	<200	Not classified	Not in scope

Tabel 2: Gevaarclassificatie van de acute toxiciteit van een biogasmengsel volgens de CLP criteria

H ₂ S in biogas vol %	ppm	Classification of biogas	Seveso III entry and qualifying quantity (lower/higher tier in t)
Not applicable	Not applicable	Acute Tox 1 (H330)	H1 (5/20)
≥88.8	≥888,000	Acute Tox 2 (H330)	Named entry hydrogen sulphide (5/20)
17.8 to 88.8	178,000 to 888,000	Acute Tox 3 (H331)	H2 (50/200)
2.2 to 17.8	22,000 to 178,000	Acute Tox 4 (H332)	Not in scope
<2.2	<22,000	Not classified	Not in scope

Tabellen 1 en 2 laten zien dat het percentage H₂S dat leidt tot de classificatie van biogas als 'acute toxic' significant hoger is volgens de CLP criteria dan de DPD criteria [Heezen, 2013]. Voor de classificatie van toxische eigenschappen van biogas kan worden geconcludeerd dat de DPD veel conservatiever is dan de CLP.

2.2.3 Gevaren van biogas

Naast de studies van het RIVM [RIVM, 2010; RIVM 2011] zijn er diverse studies in Nederland uitgevoerd naar de fysieke risico's rond biogas, covergisting, ongevallen en incidenten bij biogasinstallaties en de oorzaken ervan [onder andere Weseman, 2012; VI, 2010; Kiwa, 2013; Middelkoop, 2012; AVIV, 2014; ODZOB, 2014; OVV, 2014]. De bij ons bekende incidenten en ongevallen bij covergistingsinstallaties (biogas, mestgas) leiden tot gevaarlijke situaties dicht bij de biogasinstallatie (arbeidsveiligheid) en/of tot overlast bij omwonenden. Tot nog toe is er geen ongeval bij ons bekend dat heeft geleid tot gevaren voor omwonenden in de zin van externe veiligheid. Daarnaast zijn er diverse initiatieven vanuit de overheid en de biogassector om de veiligheidssituatie en de verbondenheid van de biogasbranche te verbeteren. Bijvoorbeeld de ontwikkelingen van diverse handreikingen voor het co- en mono-vergisting van mest [InfoMil, 2010; InfoMil 2013], de organisatie van diverse nationale congressen/ontmoetingsdagen [RVO, 2014], de ontwikkeling van kennisplatforma over biogas en veilig werken [SGGNI, 2014; Stigas, 2014], ontwikkeling van normen [NEN, 2014] en de diverse initiatieven vanuit de praktijk om veiliger te werken [OVV, 2014]. Hieruit kan worden afgeleid dat de biogassector nog in ontwikkeling is, ook op het gebied van veiligheid.

In de discussie rond veiligheid is er een aantal onderwerpen die regelmatig terugkomen. Als oorzaak van het onbedoeld vrijkomen van biogas wordt regelmatig gewezen op (in willekeurige volgorde):

- het al dat niet beschikbaar zijn van een mobiele of stationaire fakkel;

- het onvoldoende gasdicht zijn van de gasopslag (boven de vergister of apart) ten gevolge van gebruik/slijtage;
- bedwelmings/verstikkingsgevaar dicht bij of in de installatie;
- het niet kunnen stoppen van het vergistingsproces tijdens een calamiteit;
- de betrouwbaarheid/integriteit van de installatie bij stroomuitval;
- de monitoring van de (veranderende) gassamenstelling;
- onvoldoende uitvoering gegeven aan de explosieveiligheid (ATEX);
- de niet afdoende kennis en kunde van de eigenaar/operator;
- de keuze voor een veilige afblaaslocatie van de overdrukbeveiliging/afblaasbeveiliging naar de buitenlucht.

Vanuit de betrokkenheid van het RIVM bij de Working Group on Biogas Safety and Regulation is bekend dat er vergelijkbare veiligheidsrisico's en overlast-kwesties spelen in andere EU-landen. Deze werkgroep is opgericht door de European Virtual Institute for Integrated Risk Management (EU-VRI). De doelstelling van deze Working Group is om Europese experts op het gebied van biogasproductie (zoals ontwerpers, bouwers, wetenschappers) bij elkaar te brengen en 'best practices' te delen om een veilige ontwikkeling van deze nieuwe energiebron te stimuleren [EU-VRI, 2011]. Om het delen van kennis op Europees niveau te verbeteren is vanuit deze Working Group een consortium gevormd dat hiervoor een projectplan heeft opgezet. Dit plan is recent als EU project (SafeBiogas) ingediend voor financiering via het EU HORIZON 2020 programma.

In het algemeen kan worden gesteld dat goede ruimtelijke ordening (RO) belangrijk is bij het vergunnen van activiteiten als covergisting. Het kiezen van een passende locatie en het houden van voldoende afstand tussen covergistinginstallaties en omwonenden kan overlast en risico's voor de omwonende beperken. Hierbij dient ook aandacht te zijn voor afstand tussen de biogasproductie en andere activiteiten die geen directe relatie hebben met de biogasproductie maar wel met de inrichting (bijv. camping, woonhuis op een agrarische bedrijf). Dit kwalitatieve aandachtspunt kan opgevat worden als 'open deur' maar kan onwenselijke situaties voorkomen. Biogas Handbook: *'The site should be located at suitable distance from residential areas in order to avoid inconveniences, nuisance and thereby conflicts related to odours and increased traffic to and from the biogas plant'* [Big-East, 2008].

2.3 Externe Veiligheid

Externe veiligheid (EV) is relevant wanneer op een bepaalde locatie (bedrijfsterreinen, transportroutes) gevaarlijke stoffen aanwezig zijn in hoeveelheden die bij vrijkomen kunnen leiden tot direct dodelijke slachtoffers bij omwonenden. Wat betreft stoffen gaat het om brandbare, explosieve en/of toxische stoffen. Met omwonenden worden mensen bedoeld buiten het terrein (extern) van een bedrijf (vandaar de naam externe veiligheid).

Of voor een installatie externe-veiligheidsregelgeving relevant is, hangt af van de classificatie van het geproduceerde biogas (zie boven) en de hoeveelheid biogas die op de inrichting aanwezig is. Bij veel situaties is

er sprake van een beperkte hoeveelheid aanwezig biogas omdat het geproduceerde biogas direct wordt gebruikt (verbrand) voor de productie van elektriciteit en warmte. Externe veiligheid wordt relevanter bij grote installaties waarbij meer biogas op enig moment aanwezig is (extra opslag of buffercapaciteit) of als het biogas ter plekke wordt opgewerkt en opgeslagen bijvoorbeeld als LNG.

2.3.1 *Regelgeving Externe Veiligheid*

De relevante besluiten voor de externe veiligheid zijn het Besluit externe veiligheid voor inrichtingen (Bevi) en het Besluit risico zware ongevallen 1999 (Brzo 1999). Beide besluiten zijn gekoppeld aan de Wet milieubeheer (Wm). Daarnaast is het Activiteitenbesluit mogelijk van belang, omdat hierin voor sommige typen bedrijven veiligheidsafstanden zijn vastgelegd.

2.3.2 *Activiteitenbesluit*

Het Activiteitenbesluit (Barim) bevat algemene milieuregels voor bedrijven. Bedrijven die vallen onder het Activiteitenbesluit, hebben meestal geen milieuvergunning nodig. Voor sommige typen bedrijven zijn in het activiteitenbesluit veiligheidsafstanden opgenomen. Dit geldt onder andere voor de opslag van propaan in reservoirs tot 13 m³ en voor de opslag van verpakte gevaarlijke stoffen tot 10 ton. Bij deze voorbeelden sluit de grens aan bij de reikwijdte van het Bevi (propaanreservoirs groter dan 13 m³ en opslag van verpakte gevaarlijke stoffen van meer dan 10 ton vallen beide onder het Bevi). Biogasinstallaties zijn niet als categorie opgenomen in het Activiteitenbesluit.

2.3.3 *Bevi*

Bedrijven die onder het Bevi vallen, dienen in het kader van de vergunningverlening een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) uit te voeren. (Co-)vergiftingsinstallaties zijn echter niet als categorie genoemd in het Bevi en vallen als zodanig niet onder het Bevi. Alleen als een inrichting waar (co-)vergiftiging plaatsvindt onder het Brzo 1999 valt, dan valt die inrichting wel onder het Bevi.

2.3.4 *Brzo 1999*

Het Besluit risico zware ongevallen (Brzo) is de Nederlandse implementatie van de Europese Seveso II richtlijn. Het Brzo 1999 is verdeeld in twee categorieën. Als bedrijven vallen binnen de lichte categorie, dan dienen zij een preventiebeleid zware ongevallen (PBZO) te voeren door middel van een veiligheidsbeheerssysteem (VBS). Dit zijn de zogeheten 'PBZO-bedrijven'. Bedrijven die vallen binnen de zwaardere categorie, moeten naast een preventiebeleid en een VBS ook een veiligheidsrapport (VR) opstellen. Dit zijn de zogeheten 'VR-plichtige bedrijven'. In een VR wordt uitgebreid ingegaan op de gevaren- en risico-inventarisaties. Het bevat onder meer gedetailleerde installatiebeschrijvingen, gedetailleerde ongevalsscenario's en analyses voor de externe veiligheid (QRA).

2.3.5 *Wanneer wordt een QRA uitgevoerd*

Een kwantitatieve risico analyse (QRA) voor het in kaart brengen van de risico's voor de externe veiligheid zal uitgevoerd worden als

1. Het bevoegd gezag de inrichting daarvoor aanwijst;
2. Een inrichting met biogas onder het Brzo valt.
Dit zal dan waarschijnlijk zijn op basis van een overschrijding van de bovenste BRZO-drempelhoeveelheid voor brandbare stoffen: 50 ton of in ieder geval op basis de brandbare eigenschappen van biogas. In het RIVM-rapport uit 2010 werd nog verwacht dat deze drempelhoeveelheid in de praktijk niet gehaald zou worden. Deze verwachting klopte niet: er zijn initiatieven bekend die deze drempel wel (gaan) halen;
3. Als een inrichting valt in categorie e, Artikel 1b van de REVI: inrichtingen waar een giftige of zeer giftige stof in een insluitsysteem met een inhoud van meer dan 1.000 liter aanwezig is.
Dit is mogelijk op basis van het bepalen van de toxische eigenschappen van biogas op basis van de (oude) DPD methodiek. Als de CLP methodiek hiervoor wordt gehanteerd, zal biogas hoogstwaarschijnlijk niet de relevante H-zinnen krijgen en daarmee ook niet in categorie e vallen.

Uitvoeren van een QRA

De Regeling externe veiligheid voor inrichtingen (Revi) schrijft voor hoe een QRA uitgevoerd moet worden. In 2010 heeft het RIVM in opdracht van de VROM-inspectie een aantal QRA berekeningen van fictieve inrichtingen uitgevoerd [RIVM, 2010]. De in deze studie berekende risicocontouren van 10^{-6} per jaar liggen maximaal op 50 meter van de bron (= middelpunt van de reactor/gashouder). Deze afstand is overgenomen in de Handreiking covergisting van mest [InfoMil, 2010]. Hierbij moet gewezen worden op het feit dat deze afstand berekend is met de generieke scenario's en faalkansen die bedoeld zijn voor het berekenen van de externe veiligheidsrisico's bij atmosferische opslag tanks. Voor de typische vergister of biogasopslag zijn geen faalcijfers bekend [RIVM, 2010; Heezen, 2013]. Het opstellen van specifieke faalscenario's en bijbehorende faalfrequenties heeft niet plaatsgevonden ondanks het feit dat er wel sprake in geweest van een dergelijke opdracht aan het RIVM [VROM, 2010]. Een aanzet daartoe is gedaan door Middelkoop maar dit traject is nooit afgerond [Middelkoop, 2012].

Bij hoge concentraties H_2S in biogas zou de giftigheid van zwavelwaterstof een extra risico voor de externe veiligheid kunnen betekenen naast de brandbare eigenschappen van biogas. Voor het beschouwen van de externe veiligheidsrisico's zou biogas met een H_2S -gehalte van maximaal 1 vol% beschouwd kunnen worden als enkel brandbaar. Voor deze situaties zullen de totale risico's voornamelijk worden bepaald door de brandbare eigenschappen van biogas. Voor biogas met een H_2S -gehalte hoger dan 1 vol% zouden naast de brandbare effecten ook de toxische effecten van biogas voor de omgeving in kaart moeten worden gebracht. Voor de praktijk is dit vaak een bruikbaar afkap-criterium aangezien in vergunningen meestal staat dat het biogas niet meer dan 250 - 300 ppm (0,025 - 0,030 vol%) H_2S mag bevatten [RIVM, 2010; Heezen, 2013].

Bij het uitvoeren van een QRA voor een inrichting met biogas zullen, praktisch gezien, enkel de brandbare eigenschappen van biogas worden beschouwd.

2.4 Arbeidsveiligheid

Bij arbeidsveiligheid zijn de ATEX-richtlijnen en de ARIE-richtlijn van belang, die beide gekoppeld zijn aan de Arbowet. Eén van de onduidelijkheden is of de Arbowet geldt voor boerenbedrijven waarvan de boer zelf de beheerder en operator van een vergistinginstallatie is. Hoe dit juridisch in elkaar zit zullen we hier niet beschouwen [RIVM, 2011].

2.4.1 ATEX

ATEX heeft betrekking op het minimaliseren van explosiegevaar, waarbij zonerings wordt gehanteerd. Hiervoor zijn richtlijnen uitgewerkt (ATEX 137 en NPR 7910:10) die in de praktijk worden gebruikt.

2.4.2 ARIE

De ARIE (Aanvullende RisicoInventarisatie en -Evaluatie) is algemeen van aard en is gericht op het gebruik van een veiligheidsmanagementsysteem. Voor de Arbeidsinspectie is de vraag van belang of een installatie juridisch valt onder de Aanvullende RisicoInventarisatie en Evaluatie-regeling (ARIE-regeling). Om tot die aanwijzing te komen dient de ARIE-aanwijsmethodiek gehanteerd te worden. Naast de samenstelling van het biogas moet ook de aanwezige hoeveelheid biogas bekend zijn om de beoordelingssystematiek correct te kunnen uitvoeren.

Recent heeft het RIVM in opdracht van het Ministerie van SZW aan AVIV de opdracht gegeven om een overzicht te maken van de interne veiligheidsaspecten van installaties waarin biomassa wordt vergist [AVIV, 2014]. Relevante conclusies uit deze studie zijn:

'Biovergisting wordt in veel verschillende branches toegepast. Het risicobewustzijn van de exploitanten van vergistingsinstallaties loopt sterk uiteen, afhankelijk van de mate van professionalisering en de eigen incidenthistorie. De arbocatalogus van de afvalbranche biedt voor de activiteit composteren en vergisten een breed toegankelijk en toepasbaar basisinstrument voor de beheersing van arbeidsveiligheidsrisico's van vergistingsinstallaties.

De totaal opgebouwde bedrijfservaring in Nederland ligt in de orde van 1000 bedrijfsjaren. Dit is nog onvoldoende om betekenisvolle conclusies over arbeidsongevallen op te baseren. De ervaringsbasis in Duitsland is ca. 60 maal groter. Een eerste schatting van het aantal gewonden per 100.000 werkenden per jaar wijst niet op een in negatieve zin van de industrie afwijkend beeld. Desalniettemin zijn er in de periode 2005-2013 bij arbeidsongevallen in Nederland en Duitsland zeven doden te betreuren geweest, waarvan één in Nederland. Vijf van deze zeven slachtoffers zijn gevallen ten gevolge van de vorming van H₂S in de substraatopslag en/of bij de menging van substraat.'

'Onderhouds- of reparatiewerkzaamheden hebben een aandeel van ca. 45% in de incidenten met een gasexplosie. De overige incidenten met

explosies gebeuren tijdens regulier bedrijf. Branden ontstaan merendeels tijdens regulier bedrijf. (80%, tegen 20% bij onderhouds- of reparatiewerkzaamheden).

Incidenten met biogasinstallaties worden niet systematisch geregistreerd. De ongevallendatabase die in 2011 is opgezet door J. Middelkoop (Brandweer Amsterdam Amstelland), is voor dit onderzoek aangevuld tot en met 2013. Deze bevat nu 229 incidenten wereldwijd in de periode 2001-2013, waarvan 14 in Nederland en 162 in Duitsland.' [AVIV, 2014]'

Ook de Onderzoeksraad voor Veiligheid wijst op de potentie van de reeds bestaande Arbocatalogi [OVV, 2014]. De Arboret bevat voorschriften voor veilig en gezond werken. Dit betreffen vooral doelvoorschriften die verder zijn uitgewerkt in het Arbobesluit en – regeling. De voorschriften zijn per bedrijfstak praktisch uitgewerkt in een arbocatalogus. Een aanbeveling van de OVV is om de relevante arbocatalogi met de branche verder te concretiseren.

Om de arbeidsveiligheid te vergroten zou doorontwikkeling van de bestaande arbocatalogi samen met de branche een mogelijkheid zijn. Tevens is het van belang om deze arbocatalogi (via branche organisaties) onder de aandacht te krijgen van de doelgroep om daarmee het gebruik ervan te bevorderen.

2.5 Overlast

In de media zijn diverse casussen beschreven over ervaren overlast door omwonenden door de productie van biogas. Het centrum voor Gezondheid en Milieu (cGM) van het RIVM heeft als taak om op verzoek de lokale GGD-en te ondersteunen met kennis. Via deze route komen diverse vragen binnen bij het RIVM rond het onderwerp biogas. Tabel 3 geeft een overzicht van vragen over mest/biovergisting die de afgelopen drie jaar door cGM in behandeling zijn genomen op verzoek van een lokale GGD.

Tabel 3: Overzicht van vragen over mest/biovergisting die de afgelopen drie jaar door het centrum voor Gezondheid en Milieu (cGM) van het RIVM in behandeling zijn genomen op verzoek van GGD-en

Datum verzoek voor ondersteuning	Onderwerp	Toelichting/gestelde vragen
Jan 2012	Biogaslekkage Coevorden	In de nacht van 19 januari 2012 vond in Coevorden een lekkage plaats in een biovergister waardoor zich biogas in de omgeving verspreide. Hierbij kwam zwavelwaterstof vrij, dat richting een nabijgelegen woonwijk dreef. Uit voorzorg zijn de bewoners van deze wijk direct geëvacueerd. Zij blijven echter bezorgd over de

Datum verzoek voor ondersteuning	Onderwerp	Toelichting/gestelde vragen
		concentratie zwavelwaterstof. Naar aanleiding daarvan heeft de GGD Drenthe aan het RIVM gevraagd te onderzoeken in welke mate stoffen in de omgeving hebben verspreid.
Juni 2012	Mestdrogerij	De provincie Flevoland heeft eind april een bewonersbrief ontvangen vanuit Villapark Ketelhaven in Dronten. De bewoners (met name een oud-huisarts) maken zich ongerust over de mogelijke bacteriële en virale besmettingsrisico's ten aanzien van de mestdrogerij Komeco in Ketelhaven. Daarnaast ondervinden zij hevige geuroverlast van de mestdrogerij. Wekelijks klagen veelvuldig mensen bij de provincie over geuroverlast ten aanzien van dit bedrijf. Door de ligging van de woonwijk ten oosten van de mestdrogerij ontstaan al snel klachten. In de milieuvergunning (verleend in 2007) zijn normen opgenomen voor de emissie van geur, stof en ammoniak. Op deze emissies wordt ook periodiek gecontroleerd door metingen.
Sept 2012	Geuronderzoek vergisting installatie Bunschoten	Uiteindelijk is geen ondersteuning door cGM geleverd.
Nov 2012	Geur visafval /co-producten Spakenburg	Wij hebben in de provincie Utrecht een bedrijf dat visafval met co-producten vergist voor het verkrijgen van groen gas. Zij hebben hier een vergunning voor van de provincie. Aangezien er de laatste maanden veel geurklachten zijn, die we

Datum verzoek voor ondersteuning	Onderwerp	Toelichting/gestelde vragen
		<p>niet rechtstreeks naar het bedrijf kunnen herleiden, gaan wij als provincie zelf een geuronderzoek laten uitvoeren. De bewoners/klagers zijn door deze geuroverlast bang geworden voor hun gezondheid. Om duidelijk te krijgen of deze vergister gezondheidsklachten kan Veroorzaken, heeft onze gedeputeerde toegezegd deze vraag neer te leggen bij het RIVM. Mijn vraag is of en wat het RIVM hierin kan betekenen? Bij een andere geurveroorzaker is de GGD jaren geleden ingeschakeld.</p>
Jan 2014	Interpretatie en accumulatie geurhinderberekeningen	<p>Wij hebben bijv. vragen over hoe je geurberekeningen van mestverwerkers (die onder industriële wetgeving vallen, gericht op 98 percentiel en rekening houdend met hedonische waarde) kunt laten congrueren met de geurberekeningen uit de wet geurhinder en veehouderij, die heel anders worden berekend. Omdat bij ons deze verwerkers staan in veedichte gebieden waar al veel geurhinder is; dit komt er bovenop, maar kan nu totaal niet vergeleken worden.</p>
Maart 2014	Botulisme, siloxanen en microbiële verontreinigingen (naar aanleiding van de informatiebijeenkomst van 3 februari 2014 bij het RIVM)	<p>Vraag 1: Er is tijdens de bijeenkomst gesproken over risico's van botulisme door vermenging van kippen- en varkensmest. Wat zijn de risico's daarvan bij verspreiding? Er vindt een scheidingsstap plaats waarbij dunne en</p>

Datum verzoek voor ondersteuning	Onderwerp	Toelichting/gestelde vragen
		<p>dikke fractie wordt gescheiden. De dunne fractie zou worden uitgereden over het grasland -> dit kan leiden tot besmetting bij koeien met botulisme. Wat betekent dit voor de risico voor mensen? En is bekend of dit ook bij de dikke fractie nog tot risico's kan leiden, zit het ook nog in de dikke fractie? Wordt bij de hygiënisiestap van 70 graden botulisme-bacteriën voldoende gedood? In eigen land mag de dikke fractie hergebruikt worden zonder hygiënisiestap? Wat zijn dan de risico's?</p> <p>Vraag 2: Een bewoner haalt de risico's van siloxanen in biogas aan als een gezondheidsrisico. Uit de bestaande literatuur zijn wij deze stof nog niet eerder tegengekomen. Weten jullie specialisten of dit een gezondheidsrisico is?</p> <p>Vraag 3: Gaat het RIVM of WUR nader onderzoek naar mestverwerking doen, zijn hier concrete onderzoeksprogramma's voor? Vanuit de GGD-en maken wij ons zorgen over de onbekendheid van risico's van microbiële verontreinigingen, resistente bacteriën en antibioticaresten bij de proces van mestverwerking en de verspreiding via de lucht als belangrijke blootstellingroute. Andere blootstellingsroutes zijn via</p>

Datum verzoek voor ondersteuning	Onderwerp	Toelichting/gestelde vragen
		het oppervlaktewater, via uitspoeling bodem en via producten die mestverwerking opleveren zoals mestkorrels.
April 2014	Brief huisarts aan GGD met aantal specifieke vragen	<p>Graag wil ik met u, namens de huisartsen van Gemert-Bakel, in contact treden over de problematiek van een mestvergistingsfabriek in Gemert.</p> <p>De toekomstige vestiging van een mestvergistingsfabriek, zeer dicht bij een woonwijk, heeft bij ons geleid tot een aantal kritische vragen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wat zijn de gezondheidsrisico's van een biovergistingsinstallatie? • Welke gevaarlijke gassen kunnen vrijkomen en overlast geven aan omwonenden? • Afvalstoffen worden in het water geloosd. Zijn er op langere termijn gegevens bekend over de waterkwaliteit, antibiotica en mogelijke resistentie? • Volgens rapporten is de bouw van een dergelijke fabriek technisch niet optimaal veilig. Wie ziet hier op toe? Welke normen worden gehanteerd indien de bouw plaats vindt dicht bij een woonwijk? <p>De huisartsen van Gemert-Bakel vinden dat veel gezondheidsrisico's niet in kaart gebracht zijn. We</p>

Datum verzoek voor ondersteuning	Onderwerp	Toelichting/gestelde vragen
		vinden ook dat de bevolking onvoldoende geïnformeerd is. De brief die we als waarschuwing verzonden hebben, stuur ik als bijlage mee. Ik richt me tot u, aangezien u op de hoogte bent van milieu en gezondheid. Mogelijk heeft u reeds contacten met de gemeente Gemert-Bakel.
Mei 2014	Mengen varkens- en kalvermest en hygiënisatie	Kunnen we iets zeggen over te verwachten gezondheidsrisico's als varkens- en kalvermest gemengd en verwerkt worden in een mestbewerkingsinstallatie (met als 1e stap dikke en dunne darm fractie scheiden en als 2e stap de dunne fractie via omgekeerde osmose omzetten in hoogwaardige meststof en water)? <.... > Is deze vorm van hygiënisatie geschikt om ziekteoverslag door vermenging van mest van diersoorten tegen te gaan?

Daarnaast ontvangt het cGM ook korte verzoeken over dit onderwerp. Deze worden niet als individuele ondersteuningsverzoeken geregistreerd en staan dus ook niet in Tabel 3. Echter, omdat er bij het cGM opvallend veel vragen hierover binnen komen, is er op 3 februari 2014 een 'Informatiebijeenkomst biovergisting voor GGD-en' gehouden bij het RIVM. De animo om hierbij aanwezig te zijn was hoger dan verwacht.

Uit bovenstaande komt het beeld naar voren dat de overlast (op korte termijn) die wordt ervaren door omwonenden vaak gaat over stank en dat de zorg (op lange termijn) vaak gaat over de mogelijke negatieve gezondheidseffecten door de blootstelling aan biologische agentia.

2.6 Risico's van falen

Zoals hierboven vermeldt zijn voor de typische vergister of biogasopslag zijn geen faalcijfers bekend. Dit kan, ook als ieder zich aan de wet houdt, een onderschatting van de externe veiligheid leiden als de biogasinstallaties steeds groter worden en de inrichtingen van landelijke

omgeving opschuiven naar (meer) bebouwde omgeving. De vraag of het toepassen van de generieke faalcijfers nog voldoende passen bij de werkelijke situatie, wordt dan belangrijker.

De samenstelling van het te vergisten materiaal heeft invloed op de samenstelling van het geproduceerde (ruwe) biogas en daarmee op de chemische eigenschappen van het biogas. Vandaar dat het van belang is om deze biochemische relatie, en de marges daarvan, goed te kennen. Dit is de taak van de inrichting en vormt een uitgangspunt voor de discussies over externe veiligheid, arbeidsveiligheid en eventuele overlast richting omwonenden. Als de samenstelling van het te vergisten materiaal (bij de inrichting houder) niet bekend is, kan niet bepaald worden welke samenstelling biogas verwacht kan worden.

2.7 Deelconclusies arbeidsveiligheid, externe veiligheid en hinder

- De bij ons bekende incidenten en ongevallen bij covergistingsinstallaties (biogas, mestgas) leiden tot gevaarlijke situaties dicht bij de biogasinstallatie (arbeidsveiligheid) en/of tot overlast bij omwonenden.
- Tot nog toe is er geen ongeval bij ons bekend dat heeft geleid tot gevaren voor omwonenden in de zin van externe veiligheid.
- Er zijn diverse initiatieven vanuit de overheid en de biogassector om de veiligheidssituatie en de verbondenheid van de biogasbranche te verbeteren.
- Het ontbreken van faalcijfers kan leiden tot een onderschatting van de externe veiligheid als de biogasinstallaties steeds groter worden en de inrichtingen van landelijke omgeving opschuiven naar (meer) bebouwde omgeving.
- Als de samenstelling van het te vergisten materiaal (bij de inrichting houder) niet bekend is, kan niet bepaald worden welke samenstelling biogas verwacht kan worden. Een goede procescontrole is daarom van belang.

3 **Mogelijke aanbevelingen om de risico's te verlagen**

Ons is verzocht om mogelijkheden aan te dragen om de veiligheid rond biogasinstallaties te verbeteren en de overlast en risico's ervan te beperken. Vanuit de domeinen microbiologische risico's en veiligheid kan hiervoor een aantal aandachtspunten worden genoemd:

- Vergroten van toezicht op het bijmengen van illegale co-materialen.
- Meer aandacht voor ruimtelijke ordening (RO) in het proces van de vergunningverlening voor (voornamelijk grootschalige) biogasprojecten;
- Bekendheid geven aan de bestaande wet- en regelgeving en relevante arbocatalogi;
- Stimuleren van de verdere organisatie en daarmee professionalisering van de biogasbranche in Nederland;
- Aandacht voor invloed van co-materiaal op de samenstelling van het biogas (ons vermoeden is dat het afwegingskader om een co-product toe te laten op de 'positieve lijst', gestoeld is op bodem en milieu en niet/minder op veiligheid);
- Meer aandacht voor het gasdicht uitvoeren van installaties en de veiligheid van de afblaaslocaties van afblaasbeveiligingen naar de buitenlucht;
- Aandacht voor het kwantitatief kennen van de samenstelling van het biogas in alle onderdelen van een biogasinstallatie.

Dit is geen volledige lijst maar is een opsomming van oplossingsrichtingen om de situatie te verbeteren. Aan diverse aandachtspunten wordt al uitvoering gegeven.

Literatuur

AVIV, 2014. AVIV, Interne veiligheidsanalyse biogasinstallaties, 1 mei 2014, Project: 132558 in opdracht van het RIVM. www.aviv.nl

Bagge et al., 2005 The effect of hygienic treatment on the microbial flora of biowaste at biogas plants. *Water Research* 39: 4879-4886

Bagge, 2009. Hygiene aspects of the biogas process with emphasis on spore-forming bacteria. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala

Beneragama et al., 2013. Survival of multidrug-resistant bacteria in thermophilic and mesophilic anaerobic co-digestion of dairy manure and waste milk. *Anim Sci J.* 84:426-33

Bicudo en Goyal, 2003. Pathogens and manure management systems: a review. *Environmental Technology*, 24: 115-130

Big-East, 2008. Big-East, Biogas Handbook, ISBN 978-87-992962-0-0, Published by University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark, 2008, Biogas for Eastern Europe

Bonetta, Si et al., 2011. Microbiological contamination of digested products from anaerobic co-digestion of bovine manure and agricultural by-products. *Letters Appl. Microbiol.* 53, 552-557

Borowski, S et al., 2014. Anaerobic co-digestion of swine and poultry manure with municipal sewage sludge. *Water Management* 34: 513-521

Côté et al., 2006. Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. *Bioresource Technology* 97: 686-691

Duindam, JW et al., 2012. Eindrapport van onderzoek naar afdoding ESBL in pluimveemest in composterings- en vergistingsinstallaties in Nederland. Ministerie van EL&I Rapportnummer: 20120501

EU-VRI, 2011. DRAFT Terms of Reference for the Working Group on BIOGAS SAFETY AND REGULATION, EUROPEAN VIRTUAL INSTITUTE for INTEGRATED RISK MANAGEMENT, Stuttgart, 22 March 2011

Heezen, P.A.M., Gooijer, L., Mahesh, S. (2011) Het veilig bouwen en beheren van covergistingsinstallaties voor de productie van biogas. RIVM Rapport nr. 620013001/2011. RIVM, Bilthoven

Heezen, P.A.M., Mahesh, S. (2010) Veiligheid grootschalige productie van biogas – Verkennend onderzoek risico's externe veiligheid. RIVM Rapport nr. 620201001. RIVM, Bilthoven

Heezen, Petrus A. M., Sjöfn Gunnarsdóttir, Leendert Gooijer, Soedesh Mahesh (2013), Hazard Classification of Biogas and Risks of Large Scale Biogas Production, Proceedings of International Symposium on Loss Prevention and Safety promotion in the process industry 2013

InfoMil, 2010 InfoMil, Handreiking (co-)vergisting van mest, september 2010, [http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/mest/handreiking-\(co-](http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/mest/handreiking-(co-), geraadpleegd op 11 juni 2014)

InfoMil, 2013. InfoMil, Handreiking monovergisting van mest, Biologische verwerking van dierlijke mest en biogasopwerking op boerderijschaal, Augustus 2013

Iwasaki et al., 2011. The effect of temperature on survival of pathogenic bacteria in biogas plants. *Animal science Journal* 82: 707-712

Kiwa, 2013. Onderzoek oorzaak explosie RWZI Raalte EindrapportGT-120438, 21 januari 2013 Kiwa Technology B.V. Apeldoorn

Kuma et al., 1999. Fate of bacterial pathogens in cattle dung slurry subjected to anaerobic digestion. *World J. Microbiol. Technology* 15: 335-338

LeAF 2008. Inventarisatie van het risico van transmissie van pathogenen uit biogas

Massé et al., 2011. Pathogen removal in farm-scale psychrophilic anaerobic vergisters processing swine manure. *Bioresource Technology* 102: 641-646

NEN, 2014. Ontwerp NTA 9766, Veiligheidsaspecten van installaties voor monovergisting, mestverwerking en vergistingsgasopwerking op boerderijschaal, ontwerp van april 2014, Publicatie uitsluitend voor commentaar, commentaar kon worden geleverd voor 2014-05-28

Middelkoop J., 2012. Gasgevaren van biogasinstallaties, TU Delft

Neuhaus et al., 2014 *Folia Microbiol.* DOI 10.1007/s12223-014-0334-2

ODZOB, 2014. Tussentijdse evaluatie onderzoeksproject handhaving eisen covergisting, Omgevingsdienst Zuidoost-Brabant, 30 april 2014 CONCEPT

OVV, 2014. Dodelijk ongeval in mestsilo te Makkinga, Den Haag Februari 2014, Onderzoeksraad voor Veiligheid

Pandey, PK en Soupir, ML. 2011. *Escherichia coli* inactivation kinetics in anaerobic digestion of dairy manure under moderate, mesophilic and thermophilic temperatures. *AMB Express* 1: 18

Resende, JA et al., 2014. Prevalence and persistence of potentially pathogenic and antibiotic resistant bacteria during anaerobic digestion treatment of cattle manure. *Bioresour Technol.* 153:284-91

RVO, 2014. Verslag: Succesvolle Praktijkdag Bio-Energie 2014 gehouden op 6 februari 2014, Rotterdam, Organisator: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland; <http://www.rvo.nl/actueel/evenementen/succesvolle-praktijkdag-bio-energie-2014>; geraadpleegd op 13 juni 2014

Salsali et al., 2006. Impact of concentration, temperature, and pH on inactivation of Salmonella spp. by volatile fatty acids in anaerobic digestion. Can. J. Microbiol. 52: 279-286

Sahlström et al., 2008. A laboratory study of survival of selected microorganisms after heat treatment of biowaste used in biogas plants. Bioresource Technology 99: 7859-7865.

SGNI, 2014. Stichting Groen gas Nederland. <http://groengas.nl/> (geraadpleegd op 11 juni 2014)

Stigas, 2013. <http://www.stigas.nl/> (geraadpleegd op 11 juni 2014)

VROM, 2010. Brief van de Minister van VROM aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, betreft: Covergisting, Kenmerk DP2010004301, 2010-03-16

VROM Inspectie, 2010. Covergisting van mest in Nederland, Beperking van risico's voor de leefomgeving, Pub.nr. 0005, Den Haag

VROM Inspectie, 2011. Afvalstoffen bij covergisting, VROM-Inspectie Directie Uitvoering Programma Bodem en Afval nationaal, 23 februari 2011, Publicatienummer: VI-2011-59, www.vrominspectie.nl

Wesemann S., Vergistingsrisico's of vergissing in risico's, Stichting post hoger onderwijs veiligheidskunde, Utrecht 2012

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag