

Mest en mestbewerking

Versie 2, 5 februari 2019

Algemene samenvatting

Mest in Nederland

Mestbewerking en emissies

Zoönosen en antibioticumresistentie

Fijnstof en endotoxinen

Geur

Vergunningverlening en risicoreductie

Veiligheid omwonenden

Mest in Nederland

Na een daling over de periode 1980-2008 stijgt de hoeveelheid in Nederland geproduceerde mest sinds 2008 weer. Door de aanscherping van de milieunormen kon minder mest worden aangewend op het land waardoor het overschot eveneens toenam. In 2015 werd bijna driekwart van de mest op eigen land toegepast, een vijfde deel werd toegepast op andere landbouwbedrijven en ongeveer 7% werd afgezet naar bedrijven die mest verwerken (afzet buiten Nederland) of naar mestbewerkingsinstallaties .

Mestbewerkingstechnieken

Er zijn verschillende mestbewerkingstechnieken ontwikkeld, zoals scheiden, vergisten, composteren en hygiëniseren. Deze kunnen in verschillende combinaties worden toegepast in mestbewerkingsinstallaties. De technieken zijn onderverdeeld in open en gesloten systemen. Bij open systemen vindt (een deel van het) proces in contact met het milieu plaats. Bij gesloten systemen is het proces daar (volledig) van geïsoleerd. Voor elke techniek is in dit kennisbericht een korte beschrijving van de werking gegeven en is beoordeeld wat er bekend is over emissies naar de lucht van fijnstof, endotoxinen, micro-organismen, ammoniak en geuroverlast en over de invloed van die techniek op de aanwezigheid van micro-organismen in de mest. Omdat er zeer uiteenlopende technieken worden toegepast is het moeilijk een algemene conclusie te trekken. Open systemen kunnen tot emissies naar de lucht van fijnstof, endotoxinen, micro-organismen, ammoniak en geuroverlast leiden. Bij gesloten systemen spelen deze emissies veel minder een rol, maar ook daar kan emissie optreden bij het vullen en legen van de installaties en bij opslag van de grondstoffen of eindproducten.

Zorgen omwonenden

Omwonenden maken zich zorgen over toenemende belasting op de (landelijke) leefomgeving en het milieu door schaalvergroting, concentratie van veebedrijven en een groeiend mestoverschot. Wat betreft de mest gaan de zorgen over de mogelijke risico's voor de volksgezondheid door blootstelling via lucht of water aan fijnstof, endotoxinen, zoönoseverwekkers, antibioticumresiduen, resistente bacteriën en schadelijke micro-organismen. Daarnaast ervaren bewoners hinder door geur of geluid. Ook de belasting van de



omgeving met veel en zwaar transport van veehouderijen naar de mestbewerkingsinstallaties is reden tot zorg. Tot slot bestaan er zorgen over de veiligheid van de mestbewerkingsinstallaties. Dan gaat het vooral om mogelijke calamiteiten en risico's van gasvorming (explosiegevaar).

Zoönosen en antibioticumresistentie

Mest bevat zoönoseverwekkers. Onder deze zoönoseverwekkers bevinden zich bacteriën die resistent kunnen zijn tegen antibiotica. Over de mogelijke volksgezondheidsrisico's van zoönoseverwekkers in mest en mestproducten is op dit moment te weinig bekend om een inschatting van de risico's voor de gezondheid te kunnen maken. Uitbraken van infectieziekten rond mestbewerkingsinstallaties zijn niet gerapporteerd.

Het opslaan van mest zorgt, net als vergisten en composteren, voor een afname van zoönoseverwekkers. Omdat in Nederland de meeste mest niet bewerkt wordt, maar na opslag wordt uitgereden op het land, is deze afname belangrijk uit oogpunt van het volksgezondheidsrisico.

Een aantal mestbewerkingstechnieken hebben een reducerend effect op de overleving van zoönoseverwekkers. In sommige situaties (composteren) kunnen bepaalde micro-organismen zoals thermofiele bacteriën en schimmels in opgeslagen mest juist beter gedijen.

Vier transmissieroutes van zoönoseverwekkers zijn belangrijk: direct contact met dieren, mest- of mestproducten, het eten van besmet voedsel, het inademen van zoönoseverwekkers en het blootgesteld worden aan zoönoseverwekkers in oppervlaktewater. Hoe deze transmissieroutes zich tot elkaar verhouden, is niet precies bekend. Wel blijkt uit het recent gepubliceerde VGO-onderzoek dat zoönoseverwekkers aanwezig waren in de stallucht en dat niet-ziekteverwekkende micro-organismen naar de buitenlucht werden uitgestoten.

Fijnstof en endotoxinen

Er zijn aanwijzingen dat er bij het aanwenden van mest en bij composteren en drogen/indikken van mest emissies van fijnstof naar de buitenlucht kunnen optreden. Dit fijnstof kan micro-organismen en endotoxinen bevatten. Op dit moment is de hoeveelheid gegevens beperkt. Bovendien zijn de beschikbare gegevens niet representatief voor de Nederlandse situatie. Daarom is het niet mogelijk om vast te stellen welke gezondheidseffecten de eventuele emissies van fijnstof en endotoxinen kunnen hebben. Om de emissies uit deze processen vast te kunnen stellen is een verdere ontwikkeling van meetmethoden vereist en zijn meer metingen nodig.

Geur

Mest bestaat uit een groot aantal verbindingen, waarvan sommige bij zeer lage concentraties al geurhinder kunnen opleveren. Bij elke handeling met mest kan daarom geurhinder ontstaan. Mestopslag in de stal of elders op het bedrijf is mogelijk van belang voor de geuruitstoot, maar gedetailleerde meetgegevens ontbreken. Voor de mestbewerking lijken vooral drogen/indikken en composteren van belang, maar ook daarvan zijn geen representatieve metingen beschikbaar. Ook over de manier waarop omwonenden geur beleven en beoordelen is onvoldoende kennis.

Vergunningverlening, draagvlak en afname van emissies

De voorwaarden waaraan moet worden voldaan bij het aanwenden en verwerken van mest worden in een vergunningstraject geregeld.



Er is een aantal flankerende maatregelen mogelijk die het bevoegd gezag kan (laten) nemen om tot een betere bedrijfsvoering, emissiereductie en risicoreductie te komen. Via een zorgvuldige bedrijfsvoering en extra maatregelen, die verder gaan dan wat wettelijk verplicht is, kan ook de ondernemer aan maatschappelijke acceptatie van zijn bedrijf werken. Het kan daarbij gaan om maatregelen op het gebied van emissiereductie, verbeteren van de fysieke veiligheid, monitoring en controle, verkeersmaatregelen en communicatie met omwonenden.

Veiligheid omwonenden

Bij mestbewerkingsinstallaties kunnen incidenten en ongevallen optreden. In het verleden is dat ook gebeurd. Bij de meeste mestbewerkingstechnieken zijn er door de aard en hoeveelheid van de aanwezige stoffen geen ongevallen met (ernstige) gevolgen voor omwonenden te verwachten. Het vergisten van mest vormt hierop een uitzondering. Bij grootschalige installaties zijn grote hoeveelheden ontvlambaar en explosief vergistingsgas (biogas) aanwezig. Risicoschattingen voor vergisting geven aan dat de risicocontour voor typische installaties op maximaal 50 meter van de installatie ligt. Meestal zal de risicocontour binnen de grenzen van het bedrijf liggen, maar het is niet uitgesloten dat er binnen die afstand mensen wonen of verblijven.



Inhoudsopgave

1.	Inleiding en leeswijzer.....	6
2.	Mest in Nederland.....	7
	Samenvatting	7
2.1	Hoe groot is de mestproductie in Nederland?	7
2.2	Wat wordt er met de mest gedaan?	8
2.3	Waarom wordt mestbewerking toegepast?	8
2.4	Welke mest wordt verwerkt?	9
2.5	Wat is het verschil tussen mest bewerken en mest verwerken?	9
2.6	Waarover maken mensen zich zorgen?	10
3.	Mestbewerking, bewerkingsproducten en emissies.....	11
	Samenvatting	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Wanneer wordt mest uitgereden op het land?	11
3.3	Welke open mestbewerkingssystemen zijn er?	11
3.3.1	Droging of compostering	11
3.3.2	Biologische zuivering	12
3.3.3	Scheiding	12
3.3.4	Neerslag van fosfaat	13
3.4	Welke gesloten mestbewerkingssystemen zijn er?	13
3.4.1	Hygiënisatie	13
3.4.2	Vergisting	13
3.4.3	Productie van mineralenconcentraat	14
3.4.4	Indamping/strippen van ammoniak	14
3.4.5	Verbranding	15
3.4.6	Raffinage	15
3.5	Welke emissies kunnen optreden?	16
3.5.1	Algemene emissies vanuit mest naar het milieu	16
3.5.2	Emissies door mestopslag en –overslag	16
3.5.3	Emissies door aanwenden van mest op land	17
3.5.4	Emissies vanuit open bewerkingssystemen	17
3.5.5	Emissies vanuit gesloten verwerkingssystemen	17
4.	Zoönoseverwekkers en antibioticumresistentie	19
	Samenvatting	19
4.1	Inleiding	20
4.2	Welke zoönoseverwekkers en resistente bacteriën kunnen in mest voorkomen?	20
4.3	Welk effect heeft mestbewerking op zoönoseverwekkers en bacteriën?	21
4.4	Op welke manier kunnen mensen worden blootgesteld en mogelijk besmet?	24
4.4.1	Emissie uit stallen	24
4.4.2	Emissie uit opgeslagen mest	24
4.4.3	Emissie tijdens mesttransport	25



4.4.4	Emissie tijdens of na het uitrijden	25
4.4.5	Blootstelling vanaf bemeste akkers	26
4.4.6	Blootstelling via besmet water	26
4.5	Welke kennis ontbreekt op dit moment?	26
5.	Fijnstof en endotoxinen.....	27
	Samenvatting	27
5.1	Inleiding	27
5.2	Hoe groot zijn de emissies van fijnstof en endotoxinen uit mest?	27
5.2.1	Aanwenden van mest	27
5.2.2	Mestopslag en mestoverslag	28
5.2.3	Emissies uit mestbehandelingsinstallaties	28
5.3.4	Overzichtstabel emissies fijnstof en endotoxinen	30
5.3	Welke kennis ontbreekt op dit moment?	31
6.	Geur.....	32
	Samenvatting	32
6.1	Inleiding	32
6.2	Wat is de bijdrage van mest op- en overslag aan de geuruitstoot?	32
6.3	Wat is de bijdrage van het uitrijden van mest aan de geuruitstoot?	33
6.4	Wat is de bijdrage van mestbehandelingsinstallaties aan de geuruitstoot?	33
6.5	Welke kennis ontbreekt op dit moment?	34
7.	Hoe kan de vergunningverlening emissies en mogelijke risico's reduceren?	35
	Samenvatting	35
7.1	Inleiding	35
7.2	Emissiereductie	35
7.3	Verbeteren fysieke veiligheid	36
7.4	Monitoring en controle	36
7.5	Verkeersmaatregelen	37
7.6	Communicatie met omwonenden	37
8.	Veiligheid omwonenden.....	38
	Samenvatting	38
8.1	Inleiding	38
8.2	Risico inschatting	38
8.3	Veiligheidsafstanden bij mestvergifters	40
8.4	Transport	41
8.5	Welke kennis ontbreekt?	42
9.	Referenties	43



1. Inleiding en leeswijzer

Mest is een actueel thema binnen en buiten de veehouderij. Veehouderijbedrijven produceren meer mest dan in Nederland toegepast mag worden. Sinds 2014 zijn bedrijven met een mestoverschot wettelijk verplicht een deel van dit overschot te (laten) verwerken. Met deze verplichting wil de overheid te sterke eutrofiëring van oppervlaktewater en bodem voorkomen. De Q-koortsepandemie en recente inzichten over gezondheidsrisico's bij omwonenden van intensieve veehouderijen hebben geleid tot een toename in zorgen van omwonenden. Daarbij gaat het óók over mogelijke risico's van mestbewerking.

Deze zorgen van omwonenden vormen de belangrijkste aanleiding voor dit kennisbericht. Deze zorgen hebben vooral betrekking op mogelijke verspreiding van geur, fijnstof, endotoxinen, zoönoseverwekkers, antibioticumresiduen, resistente bacteriën en andere schadelijke micro-organismen via de lucht en het oppervlaktewater. Daarnaast zijn omwonenden bezorgd over ongelukken die in mestbewerkingsinstallaties kunnen optreden, zoals explosiegevaar en het gevaar van ongewenste gasvorming. Dergelijke incidenten zijn de afgelopen decennia inderdaad voorgekomen. De schaalgrootte van mestbewerking is de laatste jaren sterk toegenomen. Omwonenden vragen zich af wat mengen van mest van verschillende diercategorieën of het bijmengen van andere reststromen betekent. Tot slot zijn omwonenden bang voor overlast door zwaar transport van en naar de mestbewerkingsinstallaties.

Dit kennisbericht bevat na deze inleiding de volgende hoofdstukken:

- Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de omvang van de mestproblematiek, wat er met de mest wordt gedaan en waar omwonenden zich zorgen over maken.
- Hoofdstuk 3 beschrijft de verschillende technieken voor bewerking van mest en de mogelijke emissies die daarbij kunnen optreden.
- Hoofdstuk 4 focust op zoönoseverwekkers en resistente bacteriën in mest: welke komen er voor, welke invloed heeft mestbewerking op hun overleving en hoe kunnen mensen via mest of mestbewerking worden blootgesteld?
- Hoofdstuk 5 gaat over fijnstof en endotoxinen, met daarin een inventarisatie van welke emissies kunnen ontstaan door mest en mestbewerking en hoe omwonenden kunnen worden blootgesteld.
- In hoofdstuk 6 wordt beschreven wat de bijdrage van mest en mestbewerking is aan de geuruitstoot.
- In hoofdstuk 7 wordt beoordeeld hoe het bevoegde gezag in samenwerking met de ondernemer en de GGD de overlast van mest en mestbewerkingsinstallaties kan reduceren.
- Hoofdstuk 8, tot slot, bevat een inschatting van de risico's op calamiteiten bij de mestbewerking.

Het kennisbericht is primair opgesteld voor professionals, die betrokken zijn bij beleids- en besluitvorming en uitvoering op dit terrein.



2. Mest in Nederland

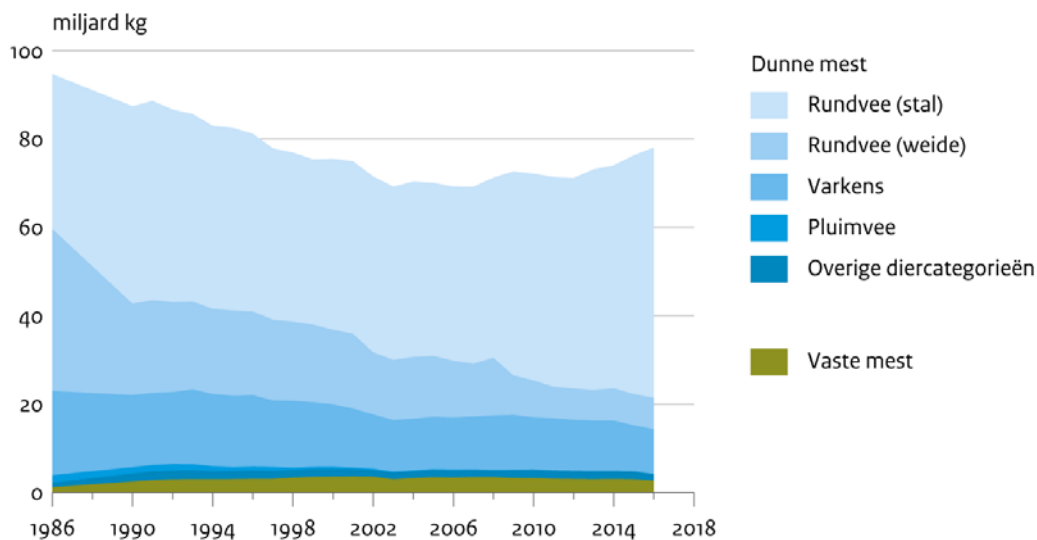
Samenvatting

In 2016 produceerde de Nederlandse veehouderijsector ruim 78 miljoen ton mest. Door de aanscherping van milieunormen neemt het mestoverschot toe en daardoor de behoefte dit overschot te verwerken tot nieuwe producten. Vooral varkensmest en pluimveemest wordt voor mestbewerking aangeboden. Omwonenden maken zich echter zorgen over mogelijke gezondheidsrisico's van mestbewerking, hinder door geur of geluid, over transport en over de veiligheid van de mestbewerkingsinstallaties.

2.1 Hoe groot is de mestproductie in Nederland?

De Nederlandse veehouderijsector produceerde in 2016 ruim 78 miljoen ton mest. Daarmee ligt de totale Nederlandse mestproductie ongeveer op het niveau van 1970 (CBS, 2016). Figuur 1 laat de ontwikkeling van de mestproductie in de veehouderij over de afgelopen 20 jaar zien. Sinds 2008 laat de hoeveelheid mest van rundvee op stal een stijging zien. Uit Figuur 1 wordt ook duidelijk dat ongeveer 95% van de geproduceerde mest drijfmest is. Vooral deze fractie wordt voor mestbewerking aangeboden.

Productie dierlijke mest

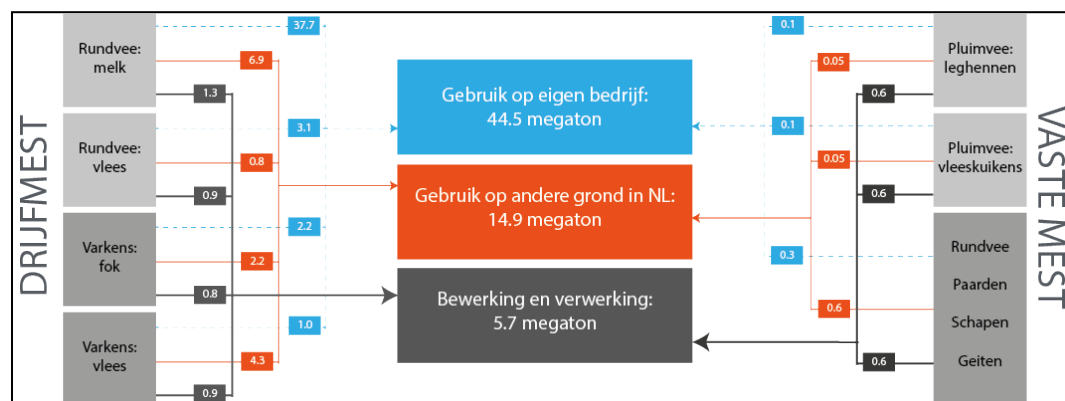


Figuur 1 Ontwikkeling van de mestproductie in de verschillende takken van de veehouderij over de periode 1986-2016. Bron: Compendium voor de Leefomgeving, [mestproductie](#)



2.2 Wat wordt er met de mest gedaan?

In 2015 werd bijna driekwart (73%) van de mest op eigen land aangewend, een vijfde deel (20%) werd aangewend op andere landbouwbedrijven en de rest (7%) werd afgezet naar bedrijven die mest bewerken of verwerken (Figuur 2).



Figuur 2 Overzicht van mestproductie en aanwending in Nederland in 2015 (RIVM, 2017). Cijfers afkomstig van CBS (2016).

De meeste dierlijke mest wordt direct door het vee op het land gedeponeerd of wordt op een later moment, na opslag, op het land aangewend. De overige mest gaat naar een mestbewerkingsinstallatie (Figuur 2).

2.3 Waarom wordt mestbewerking toegepast?

In Nederland gelden regels voor het uitrijden en aanwenden van mest om overmatige uitspoeling van mestmineralen naar oppervlakte en grondwater (eutrofiëring) te voorkomen. Veehouderijen die meer mest produceren dan onder deze regelgeving uitgereden of elders aangewend kan worden, moeten (een deel van) hun mest aanbieden aan een mestbewerkingsinstallatie. Omdat er door de aanscherping van de milieunormen minder mest naar akkerbouwgebieden wordt getransporteerd is de hoeveelheid mest die voor verwerking wordt aangeboden de afgelopen jaren toegenomen.

De belangrijkste wet- en regelgeving voor het verwerken van mest is:

- De Meststoffenwet (1986; Uitvoeringsregeling meststoffenwet, 2005). De Meststoffenwet legt gebruiksnormen vast voor de hoeveelheid stikstof en fosfaat die op een hectare landbouwgrond mag worden gebracht (170 kg N per ha grasland). Deze gebruiksnormen zijn de laatste 10 jaar aangescherpt (Compendium voor de Leefomgeving, gebruiksnormen).
- De Europese Nitraatrichtlijn (1991). Deze richtlijn legt een maximum vast voor de hoeveelheid stikstof die per jaar op het land mag worden gebracht. Nederland heeft van de Europese Commissie sinds 2006 verruiming van deze norm gekregen (derogatie, 230/250 kg N per ha afhankelijk van grondsoort). Daardoor bedraagt het



mestproductieplafond voor Nederland 504 miljoen kg stikstof en 173 miljoen kg fosfaat. In 2015 ligt de stikstofproductie daar met 498 miljoen kg (inclusief gasvormige verliezen) onder, maar de fosfaatproductie (180 miljoen kg) ligt er boven.

- De Mestverwerkingsplicht (2014). De Mestverwerkingsplicht regelt de verwerking van de overschotmest van een bedrijf. Een deel van het overschot moet geschikt gemaakt worden (op het eigen bedrijf of elders) voor export. Hier gelden strenge hygiënische regels voor; daarom is 'hoogwaardige' mestbewerking nodig. De percentages van het overschot die, op basis van fosfaat, verwerkt moet worden zijn voor 2017: 59 % (regio Zuid), 52 % (regio Oost) en 10 % (overig Nederland). De Mestverwerkingsplicht beoogt op termijn een evenwicht te bereiken tussen fosfaatproductie, beschikbare plaatsingsruimte in Nederland en geëxporteerde mest(producten).

2.4 Welke mest wordt verwerkt?

Het mestoverschot betrof in het verleden vooral varkens- en pluimveemest, omdat deze bedrijven meestal niet beschikken over eigen landbouwgrond. Sinds 2008 is het overschot aan rundermest toegenomen (Figuur 1). Rundermest bevordert de groei van akkerbouwgewassen beter dan varkensmest (betere stikstof/fosfaat verhouding, hoger organisch stofgehalte). Hierdoor verdringt rundermest de toepassing van varkensmest in de akkerbouw. Het economische gegeven van een 'mestmarkt' speelt hier echter doorheen: wanneer een akkerbouwer goedkoper varkensmest kan aanwenden dan rundermest, wordt gekozen voor varkensmest. De verdringing van de toepassing van varkensmest in de akkerbouw betekent dat vooral varkensmest verwerkt moet worden op centrale locaties en wordt aangeboden aan de mestbewerkers. Van alle in Nederland geproduceerde pluimveemest wordt ongeveer 40% verbrand in de BioMassaCentrale (BMC) in Moerdijk en dus verwerkt. De rest van de pluimveemest wordt geëxporteerd (na hygiënisatie) of in de akkerbouw aangewend.

2.5 Wat is het verschil tussen mest bewerken en mest verwerken?

De Nederlandse wetgeving kent twee verschillende definities van mestbewerking en mestverwerking. In dit kennisbericht wordt gebruik gemaakt van de definities in de Meststoffenwet. Deze verstaat onder mestbewerking alle behandelingen van mest die erop gericht zijn de aard of samenstelling van mest te wijzigen, zoals scheiden, vergisten, composteren, pasteuriseren, etc. Onder mestverwerking verstaat de Meststoffenwet: het afzetten van mest buiten de Nederlandse landbouw.

Het eindproduct van mestverwerking moet voldoen aan EU wetgeving om te mogen worden afgezet in het buitenland. Voor de eindproducten van mestbewerking geldt dat niet. Deze eindproducten voldoen niet automatisch aan de EU wetgeving en export is dan niet mogelijk.

De wet milieubeheer hanteert een andere definitie van mestbewerking en mestverwerking (zie kader).



Mestverwerking en mestbewerking in de Wet milieubeheer

Bewerken van mest

Het bewerken van mest is het behandelen van dierlijke mest zonder het product noemenswaardig te veranderen. Bijvoorbeeld: het mengen, roeren of homogeniseren van mest en het mechanisch scheiden van mest in een dunne en een dikke fractie. Ook het drogen van mest en het hygiëniseren van mest vallen onder de definitie 'bewerken van mest'. Daarnaast vallen ook technieken zoals ultrafiltratie, elektrolyse of omgekeerde osmose, die gebruikt worden om mineralen te concentreren en (helder) water af te scheiden, onder de definitie 'bewerken'.

Verwerken van mest

Bij het verwerken van mest past de ondernemer technieken of combinaties toe, die de aard en de hoedanigheid van de dierlijke mest wijzigen. Bijvoorbeeld: het vergisten van mest of het composteren van mest.

(zie ook infomil.nl, [mest](#))

2.6 Waarover maken mensen zich zorgen?

Omwonenden maken zich zorgen over toenemende belasting op de (landelijke) leefomgeving en het milieu door schaalvergroting, concentratie van veebedrijven en een groeiend mestoverschot. De Q-koortsepidemie en incidenten zoals vogelgriep leiden ook tot zorgen over de gezondheid. Wat betreft mestbewerking gaan die zorgen over mogelijke gezondheidsrisico's door verspreiding van fijnstof, endotoxinen, zoönoseverwekkers, antibioticumresiduen, resistente bacteriën en andere schadelijke micro-organismen via de lucht en het oppervlaktewater. Daarnaast ervaren omwonenden hinder door geur of geluid. Ook maken bewoners zich zorgen over de belasting van de omgeving met veel en zwaar transport van de veehouderijen naar de mestbewerkingsinstallaties. Tot slot bestaan er zorgen over de veiligheid van de mestbewerkingsinstallaties. Dan gaat het vooral om onzorgvuldige bedrijfsvoering, calamiteiten, risico's van gasvorming en explosiegevaar. Ongelukken met grootschalige mestbewerkingsinstallaties kunnen grote gevolgen hebben voor het milieu en de volksgezondheid.



3. Mestbewerking, bewerkingsproducten en emissies

Samenvatting

Er zijn verschillende mestbewerkingstechnieken ontwikkeld. Deze worden, eventueel gecombineerd, toegepast in mestbewerkingsinstallaties. De technieken zijn onderverdeeld in open en gesloten systemen. Voor elke techniek is een korte beschrijving van de werking gegeven en is beoordeeld wat bekend is over mogelijke emissies naar water en lucht. Omdat er in Nederland zeer uiteenlopende technieken worden toegepast kunnen geen algemene conclusie over de emissies worden getrokken. Open systemen kunnen leiden tot emissies naar de lucht van fijnstof, endotoxinen, micro-organismen, ammoniak en geuroverlast. Bij gesloten systemen treden deze emissies veel minder op, maar ook daar kan bij aan- en afvoer, het vullen en legen van de installaties en bij opslag van de grondstoffen of eindproducten emissie optreden.

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een beknopte beschrijving van de verschillende mestbewerkingstechnieken. De technieken worden onderverdeeld in open en gesloten systemen, omdat die andere effecten op de omgeving hebben. Sommige technieken worden afhankelijk van de schaalgrootte (op het eigen bedrijf of in een industriële installatie) zowel in een open als in een gesloten systeem toegepast. Als een techniek zowel open als gesloten wordt toegepast, wordt hij onder de open systemen beschreven. Paragraaf 3.5 geeft een algemeen overzicht van de product- en afvalstromen en per techniek een overzicht van de emissies.

3.2 Wanneer wordt mest uitgereden op het land?

In Nederland wordt meer dan 90% van de geproduceerde drijfmest emissiearm uitgereden op het land. Dit houdt in dat de mest zodanig aangebracht moet worden dat zo min mogelijk stoffen uit de mest in de lucht of het grondwater terecht komen. Dit kan door de mest in sleufjes in de bodem aan te brengen, door de mest onder het gras op de bodem aan te brengen of door de mest direct bij het uitrijden onder te werken. Vaste mest moet op bouwland emissiearm worden aangewend, maar op grasland kan en hoeft dit niet.

Meer informatie hierover: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mest-en-grond>.

3.3 Welke open mestbewerkingssystemen zijn er?

3.3.1 Droging of compostering

Droging of compostering ('biothermisch drogen') van vaste pluimveemest of de dikke fracties uit mestscheiding vindt meestal plaats op centrale locaties en niet op het eigen bedrijf. Het vochtgehalte in de mest daalt en het gehalte aan nutriënten stijgt. Droging wordt ook toegepast voor de productie van mestkorrels (drogestofgehalte 60-80%). De gedroogde producten worden geëxporteerd. In 2015 kwam hierdoor in Nederland 5,7 miljoen ton minder mest op



landbouwgrond terecht (CBS, 2016). De export is de afgelopen jaren sterk toegenomen, maar in 2017 lijkt sprake van stagnatie.

Droging en compostering bij voldoende hoge temperatuur en tijdsduur (1 uur bij 70°C of *gelijkwaardig*) zijn wettelijk erkend als hygiëniserende stap ten behoeve van de productie van een exportwaardig mestproduct.

3.3.2 *Biologische zuivering*

Biologische zuivering wordt in Nederland toegepast op dunne mest van vleeskalveren. Incidenteel wordt het ook toegepast op zeugenmest of op de dunne fractie van varkensdrijfmest. Jaarlijks wordt ongeveer 700.000 ton mest biologisch gezuiverd, waarmee de in mest aanwezige stikstof vrijwel volledig verwijderd wordt als stikstofgas. Het fosfaat komt grotendeels terecht in het slib, dat bruikbaar is als meststof op landbouwgrond of met andere bewerkingstechnieken verder verwerkt kan worden. Het waterige effluent gaat naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) voor verdere zuivering en wordt uiteindelijk geloosd op het oppervlaktewater. Enkele mestbewerkingsinstallaties combineren biologische zuivering met ultrafiltratie in een zogenaamde membraanbioreactor (MBR). Het waterige effluent hiervan bevat vrijwel geen stikstof of fosfaat en wordt direct geloosd op het oppervlaktewater.

3.3.3 *Scheiding*

Scheiding van drijfmest en digestaat¹ resulteert in een dikke fractie (15-20 gewichtsprocent) met een verhoogd gehalte drogestof en een waterige, dunne fractie (80-85 gewichtsprocent). De dikke fractie bevat een groot deel van het fosfaat, de dunne fractie bevat het overgrote deel van de stikstof en het kalium.

Mestscheiding wordt voor de volgende doelen ingezet:

- Afscheiding van zoveel mogelijk fosfaat voor het voldoen aan de verplichte afvoer van het fosfaatoverschot;
- Afscheiding van zo droog mogelijk, vezelig materiaal te gebruiken als strooisel in een koeienstal;
- Productie van een gezuiverde dunne fractie voor de productie van mineralenconcentraat door middel van omgekeerde osmose (zie 3.4.2).

Gangbare typen mestscheiders zijn vijzelpersen, centrifuges (decanter) en zeefbandpersen. Bij de laatste worden vaak chemische hulpstoffen toegepast om het scheidingsresultaat te verbeteren, zoals zwavelzuur, metaalchloriden, metaalsulfaten en polyacrylamide. Bij een eenvoudige vijzelpers komt minder dan de helft van het fosfaat uit de drijfmest in de dikke fractie terecht. Centrifuges en zeefbandpersen halen een veel groter deel van het fosfaat uit de mest.

In Nederland is sprake van een toenemende trend als het gaat om het aantal mobiele mestscheiders. Dit zijn centrifuges op opleggers die tijdelijk bij een veehouderij worden opgesteld om daar mest te scheiden. Mobiele mestscheiders hebben een capaciteit tot 100 kubieke meter per uur. De dunne fractie wordt vooral uitgereden op Nederlandse landbouwgrond. De dikke fractie wordt meestal afgevoerd naar een mestbewerker en is dan

¹ Digestaat is een drijfmest die overblijft na het vergisten of co-vergisten van mest.



bestemd voor export. Door het scheiden van mest op de veehouderij vindt veel minder transport van mest plaats.

Jaarlijks wordt op deze manier ongeveer 3 à 4 miljoen ton drijfmest en digestaat gescheiden (RVO, 2016). Op deze manier kunnen veehouderijen voldoen aan de verplichting om het bedrijfsoverschot aan fosfaat af te voeren en eventueel te exporteren.

3.3.4 *Neerslag van fosfaat*

Het in de dunne fractie van drijfmest opgeloste fosfaat kan met magnesium- of calciumzouten in een bezonken (slib)fractie worden geconcentreerd. Hierbij ontstaan een neerslag van struvietkristallen bestaande uit ofwel kalium, magnesium, en fosfaat ofwel ammonium, magnesium en fosfaat ofwel calciumfosfaat. De neerslag komt terecht in een zogenaamd MAP-slib of CaPO_4 -slib dat van de vloeistof is af te scheiden. Wat overblijft, is een dunne mestfractie met een verlaagd fosfaatgehalte.

Het is technisch niet mogelijk de fosfaatverbindingen in zuivere vorm af te scheiden van de organische stof. Het slib is daarom toepasbaar als dierlijke meststof met een verhoogd fosfaatgehalte.

De enige grootschalige toepassing in Nederland van fosfaatprecipitatie bij dierlijke mest is bij de na-zuivering van het effluent van de biologische zuivering (zie 3.3.2) van kalvergier.

3.4 **Welke gesloten mestbewerkingssystemen zijn er?**

3.4.1 *Hygiëniseren*

Volgens de EU-verordening Dierlijke Bijproducten is voor export van rundvee- en varkensmest een hygiëniseren stap vereist om een microbiologisch veilig exportproduct te waarborgen. Daarvoor dient de temperatuur van de mest gedurende minimaal een uur minstens 70°C te zijn. Afwijkende temperatuur/tijd combinaties kunnen worden erkend als gelijkwaardig. Hygiëniseren wordt steeds vaker toegepast, omdat de afzetmogelijkheden van mest en mestproducten binnen Nederland beperkt zijn en deze vaker worden geëxporteerd.

3.4.2 *Vergisting*

Mestvergisting is een anaeroob biologisch proces dat een deel van de organische stof uit de mest omzet in biogas. De hoofdbestanddelen van biogas zijn methaan (CH_4) en kooldioxide (CO_2). Alle nutriënten (stikstof, fosfaat, kalium, etc.) blijven achter in het eindproduct, het digestaat. Bij mono-vergisting wordt alleen drijfmest als grondstof gebruikt. Bij co-vergisting worden naast mest voor maximaal 50% andere stoffen bijgemengd. In Nederland zijn er ongeveer 100 co-vergisters en enkele mono-vergisters. De bijmenging bij co-vergisting bestaat uit producten met een hogere biogasopbrengst, bijvoorbeeld snijmais, glycerine, vet of retourstromen van levensmiddelen uit de retail. Welke producten dit zijn is bepaald in de Meststoffenwet (bijlage Aa).

Vergisting vindt plaats bij een temperatuur van ca. 35-40°C (*mesofiel*) of bij ca. 50-55°C (*thermofiel*). Het overblijvende digestaat lijkt op de gebruikte drijfmest, met als belangrijkste verschillen dat het vergiste product minder organische stof bevat en een iets hoger gehalte gemineraliseerde stikstof (ammonium). Door toevoeging van co-producten wordt meer



digestaat geproduceerd dan er mest aanwezig was (1,2 tot 1,8 keer zo veel). Digestaat is geschikt als meststof of kan verder worden bewerkt (zie 3.3.3).

In Nederland waren in 2016 80 co-vergisters operationeel met een gezamenlijke input van ongeveer 1,4 miljoen ton mest en 0,5 miljoen ton co-producten. De jaarlijks geproduceerde hoeveelheid digestaat bedraagt circa 1,7 miljoen ton. Er zijn in Nederland slechts enkele, meestal kleinschalige mono-mestvergisters, veelal op bedrijfsniveau. De hoeveelheid digestaat uit mono-vergisting is slechts een fractie van de totale hoeveelheid digestaat in Nederland.

3.4.3 Productie van mineralenconcentraat

Mineralenconcentraat is een vloeibare stikstof/kalium-meststof, met ongeveer evenveel stikstof als kalium. De productie van mineralenconcentraat uit drijfmest omvat drie processtappen:

1. Mechanische scheiding van de drijfmest in een dikke en dunne fractie met behulp van een vijzelpers of een zeeffbandpers.
2. Aanvullende scheidingstechnieken, zoals ultrafiltratie (UF) of flotatie (Dissolved Air Flotation, DAF) op de dunne fractie. Deze technieken verwijderen zoveel mogelijk vaste delen en organische stof uit de dunne fractie. Bij UF wordt mest onder verhoogde druk door een fijn filter geperst. Bij DAF worden kleine luchtbelletjes van onderaf in een reservoir met de dunne mestfractie geblazen. De opstijgende luchtbelletjes nemen organische deeltjes mee naar boven in een drijf laag die van de oppervlakte wordt afgeschraapt. Daarna gaat de vloeistof, zowel bij UF als bij DAF, door filters met een zeer kleine maaswijdte.
3. Omgekeerde osmose. Hierbij worden watermoleculen uit de mest onder hoge druk (40 à 80 bar) door een semipermeabel membraan met kleine poriën (kleiner dan 0,01 micrometer) geperst. Opgeloste zouten en bacteriën blijven achter in het concentraat. Het concentraat bevat vooral stikstof en kalium, maar ook natrium, chloride en sulfaat.

Installaties voor de productie van mineralenconcentraat uit (varkens)drijfmest staan momenteel vooral in de zuidelijke helft van Nederland. Jaarlijks verwerken zij ongeveer 600.000 ton drijfmest tot 120.000 ton dikke fractie, 180.000 ton mineralenconcentraat en 300.000 m³ vrijwel steriel water dat op het oppervlaktewater mag worden geloosd (Hoeksma et al, 2011).

3.4.4 Indamping/strippen van ammoniak

Indampen of strippen van ammoniak uit vloeibare mest vindt plaats bij verhoogde temperatuur (60-90°C). Door toevoeging van loog of kalkmelk, die de mest minder zuur maakt, komt gasvormig ammoniak vrij. Dat wordt opgevangen in verdund zwavelzuur. De zo verkregen oplossing van ammoniumsulfaat is een (erkende) kunstmestvervanger. De ingedamppte/gestripte mest is een organische meststof met minder ammonium en stikstof. Verder zijn alle nutriënten nog aanwezig.

Indampen en strippen van mest worden in Nederland in één grootschalige installatie in Odiliapeel toegepast.



3.4.5 *Verbranding*

BMC Moerdijk is de enige grootschalige installatie voor de verbranding van droge pluimveemest in Nederland. Jaarlijks wordt hier maximaal 450.000 ton mest verbrand. Het eindproduct van dit proces is - naast elektrische energie - een fosfaat- en kalirijke as (60.000 ton/jaar), die wordt geëxporteerd als grondstof voor meststoffen.

Op dit moment staat de EU-regelgeving (EU 592/2014) op het veehouderijbedrijf alleen verbranding van pluimveemest toe. Er zijn plannen voor kleinschalige mestverbrandingsinstallaties voor pluimveemest en voor varkensmest. Knelpunt voor dergelijke kleinschalige installaties is om aan de geldende emissie-eisen te voldoen.

3.4.6 *Raffinage*

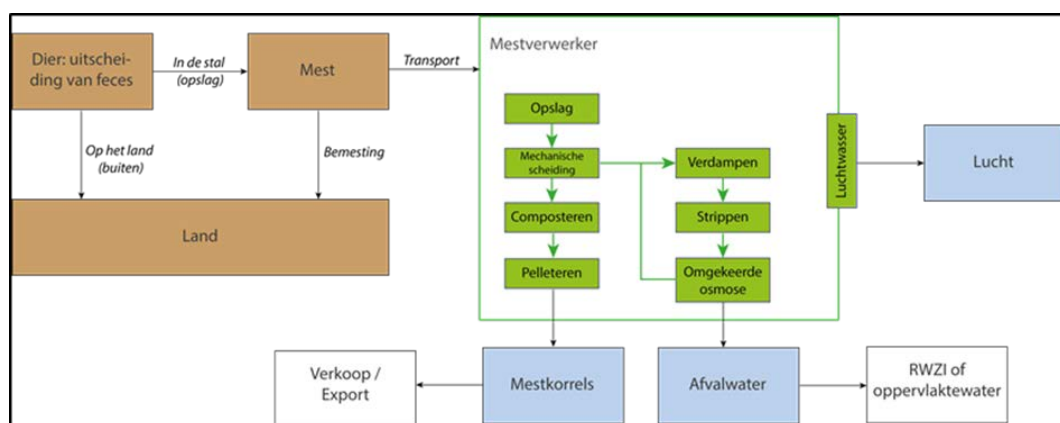
Bij raffinage wordt mest ontleed tot chemisch zuivere componenten. Mest is een heterogene mix van feces, urine, water, voerresten, mineralen, levende en dode micro-organismen, waarvan de samenstelling continu verandert. Daardoor is raffinage een zeer gecompliceerd proces dat op dit moment alleen op experimentele basis wordt toegepast. Grote doorbraken worden in de nabije toekomst niet verwacht.



3.5 Welke emissies kunnen optreden?

3.5.1 Algemene emissies vanuit mest naar het milieu

Drijfmest in open mestopslagen onder veestallen (diepe kelders onder roostervloeren) zijn een belangrijke bron van ammoniakemissie, evenals open opslagen van vaste mest. Mest die op het land gebracht wordt kan direct tot emissies van ammoniak, fijnstof, endotoxinen en micro-organismen naar lucht, grond en oppervlaktewater leiden. Daarnaast leidt ook mestbewerking tot emissie naar het milieu, op het water via de riolering of direct op het oppervlaktewater, of naar de buitenlucht. Figuur 3 laat zien hoe de feces en urine van het dier via de verschillende verwerkingsroutes in het milieu terecht komen.



Figuur 3 Transport van aan mest gekoppelde emissie in relatie tot het milieu.

Bron: Van Leuken en Hoeksma (2016)

3.5.2 Emissies door mestopslag en -overslag

Voordat mest wordt uitgereden of voordat het in een mestbewerkingsinstallatie terecht komt vindt opslag en overslag van mest plaats. Ook de producten uit de mestbewerking worden opgeslagen en overgeslagen voor transport. Dit kan tot emissie naar lucht en naar grond- en oppervlaktewater leiden van fijnstof, ammoniak, geur, endotoxinen en mogelijk micro-organismen. Het gaat daarbij vooral om de volgende bedrijfsstappen:

- opslag van onafgedekte mest op het bedrijf;
- opslag van mest op kopakkers voordat de mest wordt uitgereden;
- mechanische handelingen met mest, zoals het storten of het laden van mest;
- mestopslag die gedeeltelijk open is of geventileerd wordt;
- opslag voor vaste mest of voor dikke fracties, verkregen uit mestscheiding.

Digestaat en drijfmest moeten voorzien zijn van afdekking om gasvormige emissies te voorkomen. Dat maakt emissies waarschijnlijk verwaarloosbaar, met uitzondering van de methaanemissie die juist wordt bevorderd door afdekking.



3.5.3 *Emissies door aanwenden van mest op land*

Ook het uitrijden van mest kan tot emissie van fijnstof, ammoniak, geur, endotoxinen en mogelijk micro-organismen leiden. Emissie vindt plaats naar lucht, grond- en oppervlaktewater. Het uitrijden van mest kan tot (tijdelijke) geurhinder leiden. De uitstoot van fijnstof kan direct naar de lucht zijn. Daarnaast leidt emissie van ammoniak tot secundair fijnstof, omdat het in de lucht reageert tot stikstofverbindingen. Fijnstof kan ook in de periode na het uitrijden ontstaan door opwerveling van bodemstof door landbouwvoertuigen.

3.5.4 *Emissies vanuit open bewerkingssystemen*

Als mest in een open bewerkingssysteem wordt behandeld kunnen emissies van fijnstof, ammoniak, geur, endotoxinen en mogelijk micro-organismen ontstaan. Emissie kan plaatsvinden naar lucht, grond- en oppervlaktewater. Hier gaat het vooral om de volgende processtappen:

- a. Droging en compostering
Bij droging en compostering kunnen door het beluchten/omwerken en het ventileren van de ruimte emissies ontstaan. Door het proces in een gesloten ruimte met luchtbehandeling uit te voeren, wordt de emissie beperkt.
- b. Biologische zuivering
Bij biologische zuivering kunnen bassins in de open lucht tot emissies leiden, afhankelijk van windkracht en windrichting.
- c. Mestscheiding
Bij mestscheiding in een open systeem ontstaan gedurende het gehele proces emissies.
- d. Neerslag van fosfaat
Het laten neerslaan van fosfaat vindt altijd plaats in een gesloten systeem, waardoor emissies onwaarschijnlijk zijn.

3.5.5 *Emissies vanuit gesloten verwerkingssystemen*

Bij mestbewerking in gesloten bewerkingssysteem zullen de emissies naar lucht, grond- en oppervlaktewater zeer beperkt zijn. Emissies kunnen wel optreden door calamiteiten, zoals scheuren in een vergistingstank en explosies (zie hoofdstuk 8). Hieronder geven we voor de beschreven technieken aan welke emissies bij een regulier bedrijf onder bepaalde omstandigheden kunnen optreden.

- a. Hygiënisatie
Bij hygiënisatie zelf vindt geen ventilatie naar buiten plaats en daarmee geen emissie. Bij vullen, storten of opslag van het verwarmde eindproduct kan wel emissie optreden.
- b. Vergisting
Bij afblazen in verband met overdruk kan biogas vrijkomen, dit dient afgefakkeld te worden. Als biogas niet wordt verbrand of afgefakkeld kan zwavelwaterstof vrijkomen. Bij het vergistingsproces wordt warmte geproduceerd die aan het milieu kan worden afgegeven of nuttig gebruikt kan worden.
- c. Mineralenconcentraat
De meeste processen vinden plaats in een gesloten systeem. Een uitzondering vormen de



open mestscheiders (zeefbandpersen) die in geventileerde loodsen staan opgesteld en waarbij ammoniak- en geuremissies kunnen optreden. Verder kan opslag van de verschillende mestfracties en tussenproducten tot emissies leiden, zeker als deze niet goed afgedekt zijn (Melse et al., 2002a; Verdoes et al., 2002b). Ook legen en vullen van een gesloten opslagtank (het 'ademen') kan tot emissies leiden. Flotatie in een open tank met intensieve bellenbeluchting kan tot emissie van ammoniak leiden.

d. Indampen/strippen van ammoniak

Industriële installaties zijn gesloten. Wel kunnen niet condenseerbare dampen tot geuremissie leiden. Op veehouderijbedrijven kan het proces gecombineerd worden met de behandeling van ventilatielucht van de stal waardoor vooral emissie van geur kan optreden. Een luchtwasser kan dit beperken.

e. Verbranding

Verbranding vindt in een gesloten systeem plaats (inclusief aanvoer en opslag van mest). Emissies vinden uitsluitend via de schoorsteen plaats. Omdat de uitgaande lucht aan strenge emissie eisen moet voldoen zijn de emissies beperkt.

f. Raffinage

Omdat raffinage vrijwel niet wordt toegepast, levert het geen bijdrage aan de emissies vanuit de mestbewerking.



4. Zoönoseverwekkers en antibioticumresistentie

Samenvatting

Mest bevat zoönoseverwekkers. Door blootstelling aan zoönoseverwekkers kan een infectie optreden die tot ziekte kan leiden. Onder de zoönoseverwekkers bevinden zich bacteriën die resistent kunnen zijn tegen antibiotica. Echter, over de mogelijke gezondheidsrisico's van zoönoseverwekkers in mest en mestproducten is op dit moment weinig bekend. Het is onduidelijk hoe de emissies van zoönoseverwekkers uit mestbewerking zich verhouden tot de emissies van veebedrijven of door toepassing van mest op het land. Bij mestbewerking vindt het hele jaar aanvoer en verwerking van mest plaats en gaat het om grote hoeveelheden mest op één locatie. Bij mest toegepast op het land gaat het om een groot gebied waarvandaan emissies plaatsvinden, maar tegelijkertijd is de duur van emissie op jaarbasis beperkt.

Het opslaan van mest heeft evenals vergisten en composteren een reducerend effect op de zoönoseverwekkers. De afname is afhankelijk van de temperatuur en de duur van de opslag. Met vergisten en composteren kan onder optimale omstandigheden een hogere afname bereikt worden dan met opslag. Omdat in Nederland de meeste mest niet bewerkt wordt, maar na opslag wordt uitgereden op het land, is de afname van zoönoseverwekkers tijdens opslag belangrijk vanuit het oogpunt van volksgezondheid.

De meeste mestbewerkings- en verwerkingstechnieken lijken weinig effect op de overleving van zoönoseverwekkers te hebben. In sommige situaties (composteren) kunnen bepaalde micro-organismen (thermofiele bacteriën, schimmels) in mest juist beter gedijen.

Vier transmissieroutes van zoönoseverwekkers zijn belangrijk: direct contact met dieren, mest- of mestproducten, het eten van besmet voedsel, het inademen van zoönoseverwekkers en het blootgesteld worden aan zoönoseverwekkers in oppervlaktewater.

Hoe deze transmissieroutes zich tot elkaar verhouden, is niet precies bekend. Voor een deel van de zoönoseverwekkers is het aannemelijk dat andere routes (direct contact met dieren, voedselconsumptie) een grotere bijdrage leveren dan blootstelling in relatie tot mest en mestbewerking via lucht en oppervlaktewater. Wel blijkt uit het recent gepubliceerde VGO-onderzoek dat zoönoseverwekkers aanwezig waren in de stallucht. Micro-organismen die in de stallucht aanwezig zijn kunnen naar de buitenlucht worden uitgestoten. Onder reguliere bedrijfsomstandigheden², als we direct contact van omwonenden met dieren buiten beschouwing laten, zijn de transmissieroutes die het meest aan de verspreiding van zoonosen bijdragen: via voedsel, via oppervlaktewater en via lucht (op volgorde van belangrijkheid).

Het RIVM heeft samen met Wageningen University & Research een aanvullend en verdiepend literatuuronderzoek uitgevoerd naar de microbiologische risico's van mest en mestproducten (Van Leuken et al, 2017)). Dit literatuuronderzoek bevestigt het bovenstaande beeld.

² Bij grootschalig uitbraken, zoals de Q-koorts epidemie zal lucht de belangrijkste transmissieroute zijn.



4.1 Inleiding

Mest bevat zoönoseverwekkers. Dat zijn bacteriën, virussen of parasieten die ziekteverwekkend (pathogeen) zijn en overdraagbaar zijn van dieren op mensen. Mest bevat ook bacteriën die resistent zijn tegen antibiotica. Door blootstelling aan zoönoseverwekkers kan een infectie optreden. Die kan leiden tot ziekte. In recente jaren zijn bij omwonenden, GGD en overheden zorgen ontstaan over de risico's van blootstelling aan zoönoseverwekkers en resistente bacteriën. De Q-koortsepidemie in Nederland en de mogelijke gevolgen van het antibioticagebruik in de veehouderij hebben daarbij een rol gespeeld.

Dit hoofdstuk beschrijft welke zoönoseverwekkers en resistente bacteriën er in mest kunnen voorkomen, wat het effect is van mestbewerkings- en mestverwerkingstechnieken op deze zoönoseverwekkers en bacteriën, hoe mensen kunnen worden blootgesteld en welke kennishiaten er zijn.

4.2 Welke zoönoseverwekkers en resistente bacteriën kunnen in mest voorkomen?

Mest herbergt een groot aantal micro-organismen. Een deel hiervan is ziekteverwekkend. Sommige bacteriën kunnen resistent zijn tegen antibiotica. De meeste vee-geassocieerde zoönoseverwekkers worden ook in mest teruggevonden (Tabel 1) (Bradford et al., 2013; Dungan, 2010; Van der Poel, 2014; Venglovsky et al., 2009). De meest relevante en meest voorkomende ziekteverwekkende micro-organismen zijn de parasiet *Giardia*, de EHEC-bacterie (Enterohemorragische *Escherichia Coli*), en de bacteriën *Salmonella* en *Campylobacter*. Deze worden op relatief grote schaal door dieren uitgescheiden, zijn risicovol voor de mens en kennen naast de blootstelling via voedsel het milieu als belangrijke blootstellingsroute (Dufour et al., 2012). De belangrijkste resistente bacteriën die in dieren kunnen voorkomen zijn de Meticilline Resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA) en de *E. coli* bacteriën die Extended Spectrum Beta-Lactamase (ESBL). ESBL is een enzym dat bepaalde soorten antibiotica kan afbreken.

De hoeveelheden zoönoseverwekkers in mest(producten) verschillen per dier, per diersoort, mestsoort, en temperatuur van de mest. Het is daarom niet te voorspellen in welke concentraties de zoönoseverwekkers voorkomen in mest(producten). Bijvoorbeeld, de aantallen door een ziek dier uitgescheiden *E. coli* O157 bacteriën variëren van enkele tientallen tot miljoenen per gram feces (Dufour et al., 2012). Bij *Campylobacter* zijn zelfs honderden miljoenen bacteriën per gram feces mogelijk (Dufour et al., 2012).



Tabel 1. Relatief veel voorkomende vee-geassocieerde zoönosen en resistente bacteriën³.

Micro-organisme	Veroorzaakt	Belangrijkste transmissieroutes ⁴
<i>Campylobacter</i> spp.	Gastro-enteritis (buikgriep)	Voedsel, oppervlaktewater
<i>Coxiella burnetii</i> ⁵	Q-koorts	Lucht
Ziekteverwekkende <i>Escherichia coli</i> ⁶	Gastro-enteritis (buikgriep), darmbloedingen	Voedsel, oppervlaktewater
ESBL-producerende <i>E. coli</i>	Voor gezonde mensen gering risico op klachten. ESBL infecties zijn moeilijker met antibiotica te behandelen.	Voedsel, oppervlaktewater
Hepatitis E-virus	Hepatitis E (genotype 3)	Voedsel (waarschijnlijk), oppervlaktewater
<i>Listeria monocytogenes</i>	Listeriose	Voedsel
Veehouderij-gerelateerde Methicilline-resistente <i>Staphylococcus aureus</i> (v-MRSA)	Voor gezonde mensen gering risico op klachten. MRSA infecties zijn moeilijker met antibiotica te behandelen.	Direct contact met dieren
<i>Salmonella</i> spp.	Gastro-enteritis (buikgriep)	Voedsel
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Enteritis	Voedsel

4.3 Welk effect heeft mestbewerking op zoönoseverwekkers en bacteriën?

Het doel van de meeste mestbewerkings- en verwerkingstechnieken is primair het concentreren van fosfaat en/of bewerken tot nieuwe producten. Alleen bij hygiëniseren is reduceren van de concentraties micro-organismen het doel. Toch kunnen de andere technieken de overleving van micro-organismen beïnvloeden. Dit is samengevat in Tabel 2, waarbij ook het risico op emissie van zoönoseverwekkers is opgenomen. Een aantal mestbewerkings- en verwerkingstechnieken hebben een reducerend effect op de overleving van zoönoseverwekkers. Andere technieken beïnvloeden deze overleving niet of nauwelijks. In sommige situaties (composteren) kunnen bepaalde micro-organismen (thermofiele bacteriën, schimmels) in mest juist beter gedijen.

Het effect van combinaties van processtappen is onderzocht door Hoeksma et al. (2015). Uit de resultaten komt naar voren dat bij mechanische scheiding de micro-organismen zich in de vaste fractie concentreren en dat het mineralenconcentraat uit omgekeerde osmose iets lagere

³ Staat van Zoönosen 2014, http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:293310&type=org&disposition=inline&ns_nc=1

⁴ Naast direct contact.

⁵ Veelvoorkomend tijdens de uitbraak van Q-koorts. Het voorkomen van *Coxiella burnetii* is door effectieve aanpak en controle sterk teruggedrongen

⁶ Naast veelvoorkomende niet-ziekteverwekkende *E. coli* bacteriën, zijn er ook ziekteverwekkende varianten, zoals de EHEC en *E. coli* O157.



concentraties aan micro-organismen bevat dan de drijfmest waaruit het geproduceerd wordt. Door vergisting lijkt de concentratie aan micro-organismen af te nemen. Met uitzondering van de omgekeerde osmose hebben de door Hoeksema onderzochte technieken geen significant effect op de overleving van pathogenen. Hygiënisatie door middel van compostering of door verhitting resulteert in vrijwel steriele producten. Hierbij moet worden opgemerkt dat beide technieken slechts in twee monsters, afkomstig van één installatie, zijn onderzocht. Anderzijds moet geconstateerd worden dat bij compostering zich nieuwe ziektekiemen en schimmels kunnen ontwikkelen. Thermofiele bacteriën en bepaalde schimmels (*Aspergillus fumigatus*) gedijen juist onder deze omstandigheden. Het effluent na omgekeerde osmose is microbiologisch nagenoeg schoon. Lozing van dit product op het oppervlaktewater vormt daarom naar verwachting geen gezondheidsrisico, indien het osmosefilter goed onderhouden blijft.

Wanneer een luchtwasser wordt toegepast om de proceslucht te reinigen, is de hoeveelheid zoönoseverwekkers die in de buitenlucht komt afhankelijk van het rendement van de luchtwasser én van het aantal zoönoseverwekkers in de proceslucht. Dit laatste is over het algemeen niet bekend. Uitbraken van infectieziekten rond mestbewerkingsinstallaties zijn niet gerapporteerd.



Tabel 2 Invloed van mestbewerkings- en verwerkingstechnieken op de overleving en emissie van zoönoseverwekkers

Techniek*	Effect op overleving zoönoseverwekkers	Risico's op emissie van zoönoseverwekkers	Referenties
Biologische zuivering (beperkt toegepast in NL)	<u>Matig effectief</u> . De ene bacterie (<i>Salmonella</i> spp.) is veel gevoeliger dan de andere (<i>Enterococcus</i> spp.)	<u>Beperkt</u> . Verspreiding door de lucht aerosolisatie is mogelijk.	(Bauza-Kaszewska et al., 2015; Béline et al., 2008; Vanotti et al., 2005)
Compostering (aëroob)	<u>Effectief</u> , afhankelijk van het micro-organisme, de temperatuur, de duur van de vergisting en het vochtgehalte. Ook resten van antibiotica kunnen verwijderd worden.	<u>Beperkt</u> . Vanwege emissie-eisen wordt bij industriële installaties de uitgaande lucht chemisch gewassen. Het proces kan ook ongecontroleerd plaats vinden.	(Hoeksma et al., 2015; Mohaibes et al., 2014; Pruden et al., 2013)
Droging	<u>Effectief</u> , bij hogere temperaturen (>70°C), afhankelijk van de duur en het vochtgehalte. Het effect is vergelijkbaar met dat van composteren.	<u>Beperkt</u> . Vanwege emissie-eisen wordt de uitgaande lucht chemisch gewassen. De fijnstofemissie kan desondanks hoog zijn.	(Hoeksma et al., 2015)
Hygiëniseren/pasteuriseren	<u>Effectief</u> , hoewel sommige bacteriën (waaronder de sporevormende bacteriën <i>Clostridium botulinum</i> , <i>perfringens</i> en <i>difficile</i>) het proces kunnen overleven.	<u>Laag risico's</u> , omdat het proces in afgesloten tanks plaatsvindt. Indien het verwarmde eindproduct in een open opslag wordt bewaard, zijn er mogelijk wel enige risico's op verspreiding.	(De Buissonjé et al., 2013; Hoeksma et al., 2015)
Membraanfiltratie (osmose)	<u>Effectief</u> , voor wat betreft het vloeibare permeaat. In het concentraat kunnen nog grote hoeveelheden micro-organismen aanwezig zijn.	<u>Geen</u> . De processen spelen zich af in een gesloten systeem.	(Hoeksma et al., 2015)
Scheiding (mechanisch)	<u>Niet effectief</u> . Deze techniek wordt vaak gebruikt als eerste processtap om drijfmest te scheiden in een dikke en dunne fractie. De overige technieken kunnen vervolgens toegepast worden voor zuivering.	De processen spelen zich meestal af in een gesloten systeem. Dat geldt niet voor zeefbandpersen. Hoewel mobiele scheidingsgesloten zijn, produceren ze dikke mest die in de buitenlucht wordt opgeslagen en emissie kan opleveren.	(Hoeksma et al., 2015; Liu et al., 2016)
Verbranden	<u>Zeer effectief</u>	<u>Geen</u>	Onbekend
Vergisting (anaëroob)	<u>Effectief</u> ; maar wel afhankelijk van het micro-organisme, de temperatuur en de duur van de vergisting. Met name temperaturen boven de 50 °C zijn erg effectief.	<u>Geen</u> . De processen spelen zich af in een gesloten systeem.	(Bonetta et al., 2011; Côté et al., 2006; Heezen et al., 2014; Hoeksma et al., 2015; Joy et al., 2014; Massé et al., 2011; Pandey and Soupir, 2011; Varel et al., 2012)

* De benamingen van in deze tabel zijn afgeleid uit de wetenschappelijke literatuur. In deze literatuur zijn technieken soms anders ingedeeld dan in hoofdstuk 3. Benamingen in de tabel komen daarom niet (volledig) overeen met die in hoofdstuk 3.



4.4 Op welke manier kunnen mensen worden blootgesteld en mogelijk besmet?

De belangrijkste routes om blootgesteld te worden aan zoönoseverwekker zijn direct contact met dieren of mest, het eten van besmet voedsel, het inademen van micro-organismen in de lucht of blootstelling via oppervlaktewater (Huijbers et al., 2015). Daarnaast kunnen omwonenden mogelijk aan micro-organismen worden blootgesteld door emissie vanuit stallen, vanuit opgeslagen mest, tijdens mesttransport, tijdens het uitrijden van mest en vanaf de bemeste akkers (via lucht, grond of oppervlaktewater).

4.4.1 Emissie uit stallen

Micro-organismen die vanuit stallen uitgestoten worden, zijn over het algemeen afkomstig uit de feces van dieren. De resultaten van het onderzoek Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (VGO) hebben meer licht geworpen op het verspreidingsproces en het vóórkomen van micro-organismen in veehouderijen. (Maassen et al., 2016). In dit onderzoek werden in stallen (lage concentraties van) *Campylobacter coli*, *Campylobacter jejuni*, *Clostridium difficile* en het Hepatitis E virus aangetroffen. Verder werden (hoge concentraties van) *Escherichia coli* en *Staphylococcus aureus* aangetroffen in binnen- én buitenlucht. Deze resultaten geven aan dat micro-organismen via de lucht uit veehouderijen verspreid kunnen worden. Daarmee is overigens niet aangetoond dat deze emissie leidt tot gezondheidsproblemen bij omwonenden. Soms, zoals tijdens de Q-koorts epidemie, kunnen verhoogde concentraties zoönoseverwekkers in de buitenlucht aanwezig zijn die tot infectie en ziekte leiden.

Het verspreidingsgebied van de zoönoseverwekker is afhankelijk van een groot aantal factoren. Dichtbij een veehouderij zijn de concentraties het grootst, maar de concentratie neemt snel af doordat zoönoseverwekkers afsterven en verdund raken in de buitenlucht. Uit het VGO-onderzoek bleek dat gemiddeld de concentraties micro-organismen tot maximaal enkele honderden meters gedaald zijn tot het achtergrondniveau. Zoönoseverwekkers die beter overleven in het milieu (zoals de Q-koortsbacterie) kunnen verder verspreid worden. Tijdens de Q-koortsepidemie werden mensen tot een afstand van vijf kilometer ziek⁷ (Schimmer et al., 2010), mede doordat bij Q-koorts heel lage hoeveelheden van de bacterie voldoende zijn voor het veroorzaken van een infectie (Brooke et al., 2013).

4.4.2 Emissie uit opgeslagen mest

Voordat mest uitgereden of getransporteerd wordt, vindt opslag plaats in of buiten de stal. De meeste mest die aangeleverd wordt bij mestbewerkers heeft gedurende een bepaalde tijd opgeslagen gelegen bij de veehouderijen.

Micro-organismen kunnen gedurende lange tijd in mest overleven; soms meer dan drie maanden (Nicholson et al., 2005). Overleving is afhankelijk van het soort micro-organisme, de temperatuur en de duur van de opslag. De afname van micro-organismen tijdens opslag van vaste mest is door spontane compostering bij lage temperatuur vergelijkbaar met vergisting of

⁷ Dat betekent niet dat de Q-koortsbacterie zich tot 5 km via de lucht verspreidt. Het is goed mogelijk dat mensen die ver van een bedrijf wonen regelmatig dichterbij verbleven, bijvoorbeeld door dagelijks langs een bedrijf te fietsen of te wandelen.



compostering. Wel kunnen vergisting en compostering onder optimale omstandigheden tot hogere afnames leiden dan opslag (Tabel 2).

Bij opslag van vaste mest kan mogelijk emissie optreden naar de buitenlucht. Of micro-organismen ook daadwerkelijk in de lucht terecht komen, is afhankelijk van de openheid van de opslag en luchtstromen. Tijdens de Q-koortsepidemie in Nederland werden geitenhouders uit voorzorg verplicht hun mest af te dekken (Roest et al., 2011). Hoewel toen nog weinig bekend was over mogelijke emissie vanuit mest, werd later duidelijk dat de Q-koortsbacterie inderdaad aanwezig was in opgeslagen mest (Van den Brom et al., 2015). Echter, de (mogelijke) risico's hiervan voor de volksgezondheid zijn nog altijd niet helder. Ook heeft men niet kunnen vaststellen hoe mest als bron zich verhiel tot de stallen als bron.

Bij het verwijderen van mest uit de stallen en de overslag van deze mest in containers of mestopslagplaatsen op het terrein van het bedrijf, bij de overslag van mest uit mestopslagplaatsen in vrachtwagens, kunnen endotoxinen en micro-organismen vrijkomen. Hier is nog geen onderzoek naar gedaan.

4.4.3 *Emissie tijdens mesttransport*

Omdat het transport van mest in afgesloten containers en tankwagens plaatsvindt, is er geen emissie tijdens transport te verwachten. Hooguit kan er emissie plaats kan vinden tijdens het laden en lossen van de mest. Dikke mestfracties worden meestal afgesloten getransporteerd waardoor de kans op emissie van zoönoseverwekkers klein is. Bij transport van gedroogde mest (vochtgehalte kleiner dan < 30 %) kunnen hoge (fijn)stofemissies optreden. Daar is afdekking dus noodzakelijk. Door vrachtwagens goed te reinigen alvorens deze de veehouderij of de mestbewerkingsinstallatie verlaten, wordt voorkomen dat mest aan de buitenzijde van vrachtwagens tot verspreiding van zoönoseverwekkers leidt.

Als er op een veehouderij of in een regio een besmettelijke dierziekte heerst, moet de vrachtwagen, als er nog mest afgevoerd mag worden, niet alleen gereinigd worden, maar ook gedesinfecteerd.

4.4.4 *Emissie tijdens of na het uitrijden*

De manier waarop mest wordt uitgereden, bepaalt in belangrijke mate hoeveel zoönoseverwekkers verspreid worden. Vaste mest wordt uitgereden met een mestverspreider waardoor verspreiding van zoönoseverwekkers kan optreden. In geïnjecteerde mest – de meest toegepaste techniek in Nederland voor drijfmest – overleven pathogenen langer dan in oppervlakkig aangewende (vaste) mest (Hodgson et al., 2016; Hutchison et al., 2004). Pathogenen in geïnjecteerde mest worden namelijk minder blootgesteld aan stressfactoren, zoals UV-straling of uitdroging (Blaustein et al., 2015). Wel kunnen pathogenen aan de binnenzijde van (vaste) mest makkelijker overleven (Blaustein et al., 2015). Verder spoelt geïnjecteerde mest makkelijker uit naar het grondwater, maar weer minder makkelijk naar het oppervlaktewater (Blaustein et al., 2015). Tot slot is oppervlakkig aangebrachte mest meer onderhevig aan de vorming van aerosolen, waardoor pathogenen makkelijker door de lucht verspreid kunnen worden (Jahne et al., 2016, 2015a, 2015b).



4.4.5 *Blootstelling vanaf bemeste akkers*

Een recente Amerikaanse studie laat zien dat er genetisch materiaal van bacteriën aanwezig is in wind die over een bemeste akker is gewaaid (benedenwinds) (Jahne et al., 2015). In dat onderzoek werd niet gekeken naar levende ziekteverwekkers. En de gebruikte breedwerpige, bovengrondse uitrijtechniek is in Nederland niet toegestaan. Aangenomen mag worden dat in de Nederlandse situatie de concentraties levende, infectieuze ziekteverwekkers laag zijn, zoals recent aangetoond in het VGO-onderzoek (Maassen 2016). Verder geldt ook dat de feitelijke blootstelling, en dus infectiekansen, sterk afhankelijk zijn van de wijze van aanbrengen, de duur van de blootstelling, het totaal aantal bemeste akkers, het type zoönoseverwekker en de weersomstandigheden.

4.4.6 *Blootstelling via besmet water*

Recent Nederlands onderzoek laat zien dat resistente *E. coli* bacteriën voorkomen in het milieu rondom pluimveebedrijven (Blaak et al., 2015). Bijna 60% van de monsters genomen uit slootwater bevatte resistente *E. coli* bacteriën. Modelleringen tonen aan dat één tot twee kilometer stroomafwaarts van pluimveebedrijven nog steeds ESBL-producerende bacteriën aanwezig kunnen zijn in het oppervlaktewater (Schijven et al., 2015). Deze concentraties maken blootstelling waarschijnlijk: de kans dat een zwemmer één of meerdere bacteriën inslikt werd geschat op ongeveer 15%. Echter, blootstelling betekent nog niet dat er daadwerkelijk infectie of ziekte optreedt.

4.5 **Welke kennis ontbreekt op dit moment?**

Niet voor alle emissieroutes die tot blootstelling van de mens kunnen leiden zijn voldoende gegevens bekend, representatieve meetgegevens voor Nederland ontbreken vaak. Daarnaast is niet duidelijk hoe de verschillende blootstellingsroutes zich tot elkaar verhouden. Verder is onvoldoende bekend over de rol van 'ophoping' in het milieu. Zoönoseverwekkers kunnen meer dan een maand in de bodem overleven (Nicholson et al., 2005). Dat betekent bijvoorbeeld dat levende zoönoseverwekkers op een besmette akker lang na het uitrijden van de mest weer in de lucht terecht kunnen komen of kunnen uitspoelen naar het grond- of oppervlaktewater. Als we de blootstelling aan zoönoseverwekkers door het uitrijden of verwerken van mest vergelijken met andere blootstellingsroutes is het voor een deel van de zoönoseverwekkers aannemelijk dat andere routes (direct contact met dieren, voedselconsumptie) een grotere bijdrage leveren dan blootstelling via lucht en oppervlaktewater. Wel blijkt uit het recent gepubliceerde VGO-onderzoek dat micro-organismen vanuit de stallen naar de buitenlucht werden uitgestoten. Daarmee is overigens niet aangetoond dat deze emissie leidt tot gezondheidsproblemen bij omwonenden.



5. Fijnstof en endotoxinen

Samenvatting

Mest leidt tot fijnstof met een hoog gehalte aan micro-organismen en endotoxinen. Er zijn aanwijzingen dat bij het aanwenden, composteren en drogen/indikken van mest, emissies naar de buitenlucht kunnen optreden. Op dit moment zijn de gegevens echter onvoldoende en niet representatief voor de Nederlandse situatie. Om de emissies uit deze processen vast te kunnen stellen is een verdere ontwikkeling van meetmethoden vereist en zijn meer metingen nodig. Daarom is het, met de huidige kennis, niet mogelijk om vast te stellen welke gezondheidseffecten de eventuele emissies van fijnstof en endotoxinen bij aanwenden en verwerken van mest kunnen hebben.

5.1 Inleiding

In de lucht in kippen- en varkensstallen komen veel stofdeeltjes voor. Concentraties van fijnstof liggen daar gemiddeld op een paar honderd tot een paar duizend microgrammen per kubieke meter lucht (Takai et al., 1998; Winkel et al., 2015). Deze deeltjes zijn vooral afkomstig van mest die indroogt, verpulvert en in de lucht geworpen wordt door beweging van de dieren of door luchtwervelingen. Daarnaast zijn ook de dieren zelf een bron (huidschilfers, haren of veren) en dragen strooisel en voer bij (Cambra-López et al., 2011). Uitgebreide informatie over fijnstof en endotoxinen buiten de context van mest is te vinden in het kennisbericht *fijnstof en endotoxinen*.

Micro-organismen en endotoxinen vormen een deel van dit fijnstof (Seedorf et al., 1998). Vooral de deeltjesfractie afkomstig van mest is naar verwachting erg rijk aan micro-organismen en endotoxinen.

Over de eventuele uitstoot van stofdeeltjes en endotoxinen uit mestinstallaties is nog maar heel weinig bekend. De stand van kennis over dit onderwerp is recent samengevat in een literatuurstudie (Winkel et al., 2014), waarvan hieronder de belangrijkste uitkomsten worden weergegeven.

5.2 Hoe groot zijn de emissies van fijnstof en endotoxinen uit mest?

5.2.1 *Aanwenden van mest*

Het aanwenden van mest op het land kan op twee manieren leiden tot fijnstof en endotoxinen in de buitenlucht: door directe emissies tijdens het aanbrengen van de mest en door indirecte emissies op een later moment door verwaaiing vanuit de bodem of het gewas. Bij het aanbrengen van de mest gaat het om kortdurende emissies die optreden met een frequentie tussen één en viermaal per perceel per jaar. Emissies vanuit (bemeste) bodems en gewassen kunnen zich over langere perioden uitstrekken.

Enkele studies geven aanwijzingen dat emissies van endotoxinen kunnen optreden bij het uitwerpen van vaste mest op het land en in enige mate bij het op de bodem aanbrengen van drijfmest. Onbekend is op dit moment of emissies optreden bij het uitwerpen of injecteren van drijfmest. Ook landbouwvoertuigen die door omwoelen van de grond bodemdeeltjes in de lucht brengen kunnen aan de blootstelling bijdragen.



5.2.2 *Mestopslag en mestoverslag*

Bij mestopslag en mestoverslag kan uitstoot van stofdeeltjes en endotoxinen optreden als de mest voldoende droog is. Kleine deeltjes of druppeltjes worden in de lucht opgenomen en door wind of mechanische kracht meegevoerd naar de omgeving. Wanneer opslagen geventileerd worden of voldoende open zijn, is emissie naar de omgeving mogelijk. Opslagen voor drijfmest en digestaat moeten voorzien zijn van een afdekking om ammoniakemissie te voorkomen. Daardoor zijn emissies van fijnstof en endotoxinen tijdens de opslag van deze producten waarschijnlijk verwaarloosbaar. Uitstoot kan optreden bij open opslagen voor vaste mest of voor dikke fracties verkregen uit mestscheiding. Ook bij het tijdelijk opslaan van mest in de open lucht op kopakkers, voor het aanbrengen van deze mest op het land, is uitstoot mogelijk. Er zijn geen studies bekend waarin emissies van stofdeeltjes of endotoxinen uit mestopslagen zijn vastgesteld.

Activiteiten als het storten van mest in de opslag of het laden van mest vanuit de opslag zijn voorbeelden van mechanische krachten die tot emissies kunnen leiden. Brooks et al. (2006) bepaalden endotoxineconcentraties tijdens het laden van rioolslib (20% drogestof) met een voorlader. Tussen 2 en 50 meter nam de concentratie exponentieel af (spreiding: 5,6 tot 1807 endotoxine units per kubieke meter lucht; EU/m³). Dit zijn endotoxineconcentraties die gezondheidseffecten kunnen geven: tijdens het werk adviseert de Gezondheidsraad een grenswaarde van 90 EU/m³ voor een achturige werkdag (Gezondheidsraad, 2010). Voor de buitenlucht, dus voor de algemene omgeving, stelt de Gezondheidsraad een grenswaarde voor van 30 EU/m³ als gemiddelde over vier- tot zes uur durende perioden (Gezondheidsraad, 2012). In een recent onderzoek naar emissies van droogtunnels werden zeer hoge concentraties van fijnstof gemeten bij het storten van gedroogde pluimveemest op de vloer van een opslagloods (Winkel et al., 2017). Om hoge emissies naar de omgeving te voorkomen werd in dit onderzoek de mechanische ventilatie van de loods tijdens het storten stilgelegd.

5.2.3 *Emissies uit mestbehandelingsinstallaties*

Enkele jaren geleden zijn eerste ervaringen opgedaan met emissiemetingen aan mestbehandelingsinstallaties (Mosquera et al., 2010) op basis van een beknopt meetprotocol (Hoeksma and Mosquera, 2008). De Buissonjé et al. (2013) verrichtten recent een deskstudie naar gas- en deeltjesvormige emissies die een rol kunnen spelen bij verschillende mestbehandelingsinstallaties. Op grond hiervan is Tabel 3 opgesteld. Uit deze inventarisatie komt naar voren dat relevante emissies van fijnstof (en daarin aanwezige endotoxinen) vooral verwacht mogen worden bij twee mestbehandelingsprocessen: composteren en drogen/indikken. Deze twee methoden worden hieronder apart besproken. Ook bij systemen met bassins in de open lucht zijn emissies mogelijk, omdat deze bassins vergelijkbaar zijn met de bassins van rioolwaterzuiveringsinstallaties waarvoor ook emissies zijn aangetoond (Brooks et al., 2006). Bij processen in geheel gesloten systemen zijn emissies onwaarschijnlijk.



5.2.3.1 *Emissies bij composteren*

Uit onderzoek bij composteringsinstallaties voor organisch afval is bekend dat – naast stofdeeltjes en micro-organismen – endotoxinen kunnen vrijkomen die zich via de lucht naar de omgeving kunnen verspreiden (Deacon et al., 2009; Hryhorczuk et al., 2001; Pankhurst et al., 2011; Sánchez-Monedero and Stentiford, 2003). In de Verenigde Staten zijn twee onderzoeken uitgevoerd naar buitenluchtconcentraties van endotoxinen rondom mestcomposteringsinstallaties. Ko et al. (2010) bepaalden endotoxineconcentraties 150 meter bovenwinds en 150 meter benedenwinds van 17 varkensbedrijven in North Carolina met verschillende mestbehandelingsinstallaties. Twee van deze 17 bedrijven beschikten over een open composteringsinstallatie. Deze twee bedrijven lieten vergelijkbare bovenwindse en benedenwindse endotoxineconcentraties zien. Dungan en Leytem (2009) voerden vergelijkbare metingen uit bij een composteringslocatie voor rundveemest in Idaho. Ook in dit onderzoek waren benedenwindse concentraties niet (significant) verschillend van bovenwindse concentraties. Op basis van slechts twee studies in de VS kunnen geen conclusies worden getrokken voor de Nederlandse situatie. Voor installaties die gangbaar zijn in Nederland zijn geen gegevens gevonden.

5.2.3.2 *Emissies bij drogen/indikken*

Er is onderzoek gedaan naar fijnstofemissies uit droogsystemen voor pluimveemest (Winkel et al., 2017; Winkel et al., 2011). De plakkerige mestlaag in deze installaties is in staat om stofdeeltjes uit de ventilatielucht van pluimveestallen te filteren. Deze systemen hebben dus een reducerend effect op emissies van stof en de endotoxinen uit die pluimveestallen. Bij het draaien van de installaties (vullen, doordraaien en uitstorten) ontstaan echter hoge concentraties stof. Wanneer de ventilatie door het droogstelsel op dat moment niet is stilgelegd kunnen hoge, kortstondige emissies van stof en de daarin aanwezige endotoxinen naar de omgeving optreden.

5.2.3.3 *Emissies bij overige mestscheidingsprocessen*

In het onderzoek van Ko et al. (2010) werden op 150 m afstand van een varkensbedrijf met mestscheiding hogere benedenwindse endotoxineconcentraties gevonden dan bovenwinds. Ook bij een varkensbedrijf met een combinatie van o.a. mestscheiding en nitrificatie/denitrificatie lag de benedenwindse endotoxineconcentratie hoger. Bij beide bedrijven waren systemen opgesteld in de open lucht. Bij 13 van de 17 varkensbedrijven in deze studie werden hogere benedenwindse concentraties gevonden; bij twee bedrijven was sprake van een significant verschil, bij vier bedrijven was sprake van een trend ($P < 0,10$). Dit wijst op een bijdrage van mestscheiding/denitrificatie aan de endotoxineconcentratie in de omgeving. Naast de emissies vanuit mestbehandelingsinstallaties draagt ook de emissies vanuit de stallen zelf daaraan (in belangrijke mate) bij.



5.2.4 Overzichtstabel emissies fijnstof en endotoxinen

Tabel 3 Overzicht van mestbehandelingsprocessen en een inschatting van het optreden van emissies van fijnstof en endotoxinen. Samengesteld op basis van De Buissonjé et al. (2013) en overgenomen uit Winkel et al. (2014).

Techniek	Omschrijving	Inschatting emissies van stofdeeltjes/druppeltjes
Vergisting	Het produceren van biogas (o.a. methaan, koolstofdioxide) uit drijfmest door micro-organismen in een zuurstofarme omgeving. Het restproduct wordt digestaat genoemd.	Geen – Processen spelen zich af in een gesloten systeem
Scheiding	Het scheiden van drijfmest of digestaat in een dikke en dunne fractie d.m.v. zeefschermen/zeefbanden, trommelfilters, vijzelpersen, centrifuges, etcetera.	Geen – Processen spelen zich doorgaans af in een gesloten systeem
Omgekeerde osmose	De productie van een mineralenconcentraat (en een permeaat) uit de dunne fractie van drijfmest of digestaat (verkregen na scheiding) m.b.v. het persen door een semipermeabel membraan dat waterdoorlaat en opgeloste zouten tegenhoudt.	Geen – Processen spelen zich doorgaans af in een gesloten systeem
Compostering	Het in aanwezigheid van zuurstof afbreken van een stapelbaar uitgangproduct tot humus door micro-organismen; variërend van extensief tot intensief (actief omwerken en/of beluchten).	Aanwezig – Ten gevolge van het beluchten/omwerken en het ventileren van de ruimte
Hygiënisatie	Het toepassen van een warmtebehandeling (>70 °C, 1 uur) voor het reduceren van micro-organismen en exportwaardig maken van drijfmest, digestaat en dikke fracties. Wanneer compostering of droging met hete lucht wordt toegepast als hygiënisatiestap, zijn emissies wel mogelijk.	Mogelijk – Meestal vindt geen ventilatie naar de buitenlucht plaats, behalve bij droging met hete lucht
Drogen en indikken	Het toevoegen van warmte aan het droogproduct om vocht te verdampen en het drogestofgehalte te verhogen, zoals indickers bij drijfmest en droogtunnels/droogzolders bij stapelbare mest.	Aanwezig – Soms stof filterend effect, hoge debieten, kans op piekmissies
Nitrificatie en denitrificatie	Het middels beluchting omzetten van ammoniumstikstof (uit een dunne fractie of kalvergiër) in nitraat en vervolgens in stikstofgas, gevolgd door slibbezinking waarbij een stikstof- en fosfaatarm effluent ontstaat.	Mogelijk – Emissies door windinvloeden bij bassins in de open lucht
Strippen	Het actief laten vervluchtigen van ammoniak gevolgd door het opvangen in een zure vloeistof om daarmee een geconcentreerde stikstofbron te verkrijgen.	Mogelijk bij een open systeem, geen bij een gesloten systeem



5.3 Welke kennis ontbreekt op dit moment?

Rondom de emissies van fijnstof en endotoxinen uit mestbehandelingsinstallaties is weinig informatie beschikbaar. De emissies bij het aanwenden van mest in al zijn varianten zijn onvoldoende onderzocht. Ook van mest op- en overslag zijn geen metingen beschikbaar voor in Nederland gangbare situaties. Het verkrijgen van informatie over emissies uit mestbehandelingsinstallaties stuit op meet-technische moeilijkheden, zoals het accuraat bepalen van de hoeveelheid lucht die installaties uitstoten.

Op basis van de momenteel beschikbare kennis lijken emissies van fijnstof en endotoxinen mogelijk bij het aanwenden van mest, bij het composteren en bij drogen/indikken. Door compostering in een gesloten ruimte met luchtbehandeling uit te voeren, wordt de emissie enigszins beperkt. Ook bij nitrificatie/denitrificatie kan emissie optreden, als deze processen in de open lucht plaatsvinden.

Voor het kunnen vaststellen van emissies uit deze processen is een verdere ontwikkeling van meetmethoden vereist. Welke gezondheidseffecten eventuele emissies kunnen hebben voor omwonenden is met de huidige stand van kennis niet vast te stellen.



6. Geur

Samenvatting

Mest bestaat uit een groot aantal verbindingen waarvan sommige bij zeer lage concentraties al geurhinder kunnen opleveren. Bij elke handeling met mest bestaat daarom de kans dat geurhinder ontstaat. Of hinder optreedt, hangt af van de aard van de geurstoffen, de hoeveelheid geurstoffen die vrijkomt, de verspreiding in de omgeving en de afstand tussen de (mest)bron en omwonenden. Daarnaast speelt de gevoeligheid van omwonenden voor geurhinder ook een rol en kunnen sociaal-culturele en individuele factoren leiden tot verschil in beleving en acceptatie van geur.

Op veel aspecten is de kennis over geur en geuruitstoot onvoldoende. Mestopslag op het bedrijf is mogelijk van belang voor de geuruitstoot, maar gedetailleerde meetgegevens ontbreken. Voor de mestbewerking lijken vooral drogen/indikken en composteren van belang, maar ook daar zijn geen representatieve metingen beschikbaar. Ook over de manier waarop omwonenden geur beleven en beoordelen is onvoldoende kennis. Tot slot is onvoldoende bekend of de geuruitstoot door mest tot meer geurhinder leidt dan bijvoorbeeld de geuruitstoot uit de stallen.

6.1 Inleiding

Mest is een bron van een groot aantal vluchtige stoffen die tot geurhinder kunnen leiden. De geur van mest bestaat uit heel veel verbindingen waarvan sommige bij zeer lage concentraties al hinder kunnen opleveren. Afzonderlijk zijn deze stoffen lastig te meten (Hansen et al. 2013). Concentraties van geur worden daarom niet met chemische methoden gemeten, maar met sensorische technieken door geurpanels volgens de Europese standaard voor het meten van geurconcentraties EN13725 (CEN, 2003).

Het kennisbericht Geur gaat uitgebreid in op geur uit de veehouderij, met een beschrijving van methodes voor het vaststellen en beoordelen van geuruitstoot. Dit hoofdstuk gaat specifiek in op geurhinder bij opslag op het bedrijf, het uitrijden van mest en bij mestverwerking/bewerking.

6.2 Wat is de bijdrage van mest op- en overslag aan de geuruitstoot?

Mest wordt voor korte of langere tijd op het bedrijf opgeslagen. Dat komt omdat het uitrijden van mest enkele keren per jaar plaatsvindt en afvoer naar mestbewerkingsinstallaties ook periodiek gebeurt. De opslag op veehouderijen is daarmee een belangrijk aandachtspunt voor geur. In de meeste gevallen wordt mest opgeslagen in een gesloten opslag (mestkelder, mestsilo of foliebassin). Soms wordt mest open onder een afdak of regendicht onder folie opgeslagen. Hoewel geen grote geuremissie wordt verwacht, ontbreken gedetailleerde metingen van geuruitstoot rond de verschillende manieren van mestopslag voor de Nederlandse situatie.

Behalve tijdens de opslag zelf treedt geuruitstoot op bij het laden van mest uit de opslag (stal en mestsilo's) voor transport, bij het omwerken van mest en bij het aanwenden van mest op



het land. Ophalen van mest op veehouderijbedrijven vindt op een beperkt aantal dagen in het jaar plaats en kan op die dagen tot geuruitstoot naar de omgeving leiden.

6.3 Wat is de bijdrage van het uitrijden van mest aan de geuruitstoot?

Het merendeel van de mest die wordt uitgereden is drijfmest afkomstig uit de varkens- en rundveehouderij.

Geitenmest wordt voornamelijk als droge mest op bouwland uitgereden. De meeste pluimveemest wordt tegenwoordig afgevoerd voor verbranding en niet aangewend op gras- of bouwland.

Het uitrijden en aanwenden van mest gaat praktisch altijd gepaard met geuruitstoot naar de omgeving.

Uitrijden en aanwenden van mest is gebonden aan regelgeving om overmatige uitspoeling van mestmineralen naar oppervlaktewater te voorkomen. Afhankelijk van het gebruikstype (bijvoorbeeld grasland of maïsland) en bodemtype (zand of klei) mag er alleen uitgereden worden tussen februari en september (zie details bij RVO.nl). Het uitrijden van mest moet met emissiearme technieken gebeuren. Het hoofddoel van emissiearme aanwending is het tegengaan van de uitstoot van ammoniak en de neerslag (ammoniakdepositie) hiervan in de omgeving. Bij de geurbeleving speelt ammoniak zelf geen rol. Bij aanwending wordt dit snel verdund tot concentraties die de menselijke neus niet meer waarneemt (Smeets et al. 2007). Het reduceren van geur is geen doel op zich, maar emissiearme technieken hebben ook een reducerend effect op de geuruitstoot. Er bestaan geen eisen voor de toegelaten geuruitstoot.

De bijdrage van aanwending van mest aan geurhinder op nationale en regionale schaal is niet exact bekend. De bijdrage van de landbouw aan geurhinder is voor het laatst in 2011 gemeten in de CBS-enquête voor de waardering van de leefomgeving. Toen gaf 9% van de respondenten aan dat zij geurhinder uit de landbouw ondervonden (CBS, 2012). Dit betrof zowel hinder door het uitrijden van mest als hinder door geuremissie uit stallen. In het eerste grootschalige onderzoek naar de relatie tussen geurbelasting door veehouderij en ervaren hinder door omwonenden (PRA, 2001) is wel onderscheid naar geurbron gemaakt. Hier bleek dat het uitrijden van mest vaker als hinderlijke geurbron werd gemeld dan stallen. Waarschijnlijk komt dit omdat bij uitrijden van mest de hinder direct aan een duidelijk waarneembare activiteit is gekoppeld.

6.4 Wat is de bijdrage van mestbehandelingsinstallaties aan de geuruitstoot?

Zoals in hoofdstuk 3 is beschreven zijn er zeer verschillende soorten mestbehandelingsinstallaties. Een deel van de beschreven processen speelt zich af in gesloten ruimtes en levert in die fase geen geuruitstoot op. Ventilatie van de gesloten ruimte kan wel geuroverlast opleveren. Andere processen zijn meer open en kunnen tot geuroverlast leiden. Ook buitenopslag van meststoffen leidt mogelijk tot geuroverlast.

Vooraf het composteren en drogen/indikken van mest kunnen tot geurhinder leiden. Beide processen vereisen de afvoer van waterdamp via ventilatielucht, met daarin een breed scala



aan geurcomponenten. In de praktijk zijn voorbeelden bekend van geuroverlast door dit type installaties. Luchtwassers kunnen de emissie van geur beperken. Omdat er nog weinig gemeten is aan mestbehandelingsinstallaties in Nederland, is er weinig bekend over niveaus van geuruitstoot uit dit type installaties. Bovendien kunnen verschillende installaties slecht worden vergeleken omdat er grote verschillen bestaan in schaal en het procesmanagement. Uitgangspunt bij vergunningverlening is dat geuroverlast moet worden voorkomen of tot een aanvaardbaar niveau moet worden beperkt. Ook hier vormt de beperkte informatie een knelpunt voor de beoordeling van geuroverlast van nieuwe mestbewerkingsinstallaties.

6.5 Welke kennis ontbreekt op dit moment?

De voor mestbehandeling en geurhinder relevante kennisvelden zijn voor een deel specifiek voor mestbehandeling, maar ook algemene kennis op het gebied van geurbelasting en ervaren geurhinder ontbreekt. Het gaat vooral om de volgende aspecten:

- Inzicht in de relatie tussen geurbelasting en de ervaren geurhinder door omwonenden is erg summier. Vooral de invloed van sociaalpsychologische factoren in deze relatie is onduidelijk. In het verleden zijn incidenteel wel relaties voor verschillende branches afgeleid, maar die hebben betrekking op een beperkt aantal respondenten en zijn inmiddels sterk verouderd.
- Specifiek voor mestbehandeling is er meer inzicht nodig in de geuruitstoot bij drogen/indikken en composteren en de manier waarop de inrichting van het productieproces deze uitstoot beïnvloedt. Die specifieke kennis kan de beoordeling van nieuw te bouwen mestbehandelingsinstallaties verbeteren en het risico op geuroverlast voor de omgeving beperken.
- De kennis over geuremissie tijdens opslag op het bedrijf is onvoldoende. Deze informatie is belangrijk, omdat mest voor aanwenden of afvoer naar de mestbewerking meestal geruime tijd op het bedrijf wordt opgeslagen.



7. Hoe kan de vergunningverlening emissies en mogelijke risico's reduceren?

Samenvatting

Mest en mestbewerking leiden tot emissies naar lucht en water die mogelijk tot volksgezondheidsrisico's kunnen leiden. De minimumvoorwaarden waaraan het aanwenden en verwerken van mest moeten voldoen zijn in een aantal wetten vastgelegd en worden in een vergunningstraject geregeld.

In dit hoofdstuk worden een aantal flankerende maatregelen aangegeven die het bevoegd gezag kan nemen om tot een betere bedrijfsvoering, emissiereductie en risicoreductie te komen. Via een zorgvuldige bedrijfsvoering en extra maatregelen die verder gaan dan wat wettelijk verplicht is kan ook de ondernemer aan maatschappelijke acceptatie van zijn bedrijf werken. Het kan daarbij gaan om maatregelen op het gebied van emissiereductie, verbeteren van de fysieke veiligheid, monitoring en controle, verkeersmaatregelen en communicatie met omwonenden.

7.1 Inleiding

Zoals in de hoofdstukken over zoönoseverwekkers, fijnstof, endotoxinen en geur is beschreven ontstaan er emissies bij het aanwenden, bewerken en verwerken van mest en zijn er mogelijk risico's aan verbonden. De precieze omvang van de emissies en de mogelijke risico's zijn in veel gevallen niet goed bekend. Desondanks zijn er, in het traject van vergunning verlenen, wel mogelijkheden om emissies en mogelijke risico's te verkleinen en via goede afspraken met omwonenden tot een betere acceptatie van de te vestigen installatie te komen. De GGD kan het bevoegd gezag hierover adviseren. Voor de technische beschrijving van de vergunningverlening verwijzen we naar Infomil en RVO (<https://www.infomil.nl/> , <https://www.rvo.nl/>). Dit hoofdstuk geeft enkele flankerende maatregelen die het bevoegd gezag kan nemen om tot een betere bedrijfsvoeren, emissiereductie en een betere acceptatie door omwonenden te komen.

Allereerst is het van belang erop toe te zien dat de ondernemer en het personeel van de installatie voldoende zijn gekwalificeerd en dat er actief wordt toegezien op het naleven van de vergunning. Het is belangrijk om de omwonenden te informeren over hoe toezicht en monitoring plaatsvinden. Daarnaast kan een proactieve houding van bevoegd gezag, GGD en ondernemer zorgdragen voor: emissiereductie, afname van de fysieke veiligheidsrisico's, transparante monitoring en controle, verkeersmaatregelen en doelgerichte communicatie met omwonenden.

7.2 Emissiereductie

Feitelijke emissiereductie kan worden bereikt door de volgende maatregelen. Deze zijn soms wettelijk verplicht, maar kunnen ook door de ondernemer als extra maatregelen worden toegepast:



- Mestbewerkingprocessen in een afgesloten ruimte laten plaatsvinden, bij onderdruk.
- Opslag van (co)producten en digestaat binnen te laten plaatsvinden en als dat niet kan, zorgen voor zorgvuldige afdekking om verwaaiing en uitspoeling tot een minimum te beperken.
- Bij overslag van mest of mestproducten kunnen hoge emissies optreden. Een specifieke weldoordachte aanpak kan deze emissies sterk reduceren.
- Indien mogelijk een effluent met omgekeerde osmose behandelen, zodat het water zo schoon mogelijk wordt geloosd.

7.3 Verbeteren fysieke veiligheid

Het zo ver mogelijk reduceren van de fysieke veiligheidsrisico's speelt een rol bij vergunningverlening en kan tot een betere acceptatie van het bedrijf leiden. Hierbij zijn de volgende vragen van belang voor de ondernemer en bevoegd gezag:

- Hoe vindt het gebruik, de opslag en het transport van gevaarlijke stoffen als zwavelzuur en natronloog plaats? Welke maatregelen neemt de ondernemer om blootstelling van personeel en omwonenden te voorkomen?
- Vindt onderhoud in voldoende mate plaats? Is er sprake van een planmatige aanpak? Ligt het bedrijfsproces stil tijdens onderhoud? Wat houdt het onderhoud precies in? Welke extra emissies naar lucht en water kunnen er plaatsvinden? Wat gebeurt er met het afvalwater van het schoonmaken?
- Is er een goede risico-inventarisatie? Welke risico's zijn geïdentificeerd bij storingen en calamiteiten? Hoe groot is de kans hierop? Welke maatregelen zijn genomen om deze risico's te reduceren? Hoe en op welk moment communiceert de ondernemer over storingen en calamiteiten waarbij emissies vrijkomen?
- Welke maatregelen zijn genomen om calamiteiten te voorkomen? Hoe ziet het calamiteitenplan eruit. Hoe wordt uitbraak van een (meldingsplichtige) dierziekte of een zoönose aangepakt. Wat gebeurt er op dat moment met de mest? Wordt het transport en de installatie stilgelegd?

7.4 Monitoring en controle

Goede afspraken over de wijze van monitoring en transparantie over controle en eventuele handhaving kunnen aan de acceptatie van een bedrijf bijdragen. De volgende punten zijn van belang:

- Bewaak de effectiviteit van sommige installaties (luchtwassers, zuiveringssystemen) met een elektronisch monitoringssysteem dat op afstand uit te lezen is en eventueel openbaar gemaakt kan worden.
- Laat met akoestisch onderzoek zien dat aan de geluidsvoorschriften in de vergunning is voldaan.
- Richt een openbaar toegankelijk monsternamepunt in zodat het Waterschap op elk moment monsters kan nemen.



- Laat met metingen door een geaccrediteerde meetinstanties zien dat de geuremissies binnen de in de vergunning aangegeven waarden en binnen de NEN normen blijven.
- Neem wettelijke en bovenwettelijke maatregelen op in de vergunning en maak duidelijk hoe en met welke frequentie het adequaat toepassen deze maatregelen wordt gecontroleerd.

7.5 Verkeersmaatregelen

Grote veehouderijen en grote mestbewerkingsinstallaties brengen extra en zwaar vrachtverkeer met zich mee. Dit heeft invloed op de verkeersveiligheid en de omgeving. Ook hier helpt transparantie en duidelijkheid:

- Een verkeersonderzoek dat de beoogde situatie vergelijkt met de huidige situatie. Onderdeel van een dergelijk onderzoek is een oordeel of de capaciteit van de huidige wegen het toegenomen vrachtverkeer aan kan.
- Een verkeers- en vervoersplan als onderdeel van de vergunningaanvraag dat de risico's van geluid, gevaarlijke stoffen en de verkeersveiligheid beschrijft en welke maatregelen getroffen kunnen worden om de overlast te beperken.

7.6 Communicatie met omwonenden

Ongerstheid bij omwonenden kan minder worden als er in een open dialoog wordt gecommuniceerd tussen bevoegd gezag, GGD, ondernemer en omwonenden. Hierbij geldt dat zo'n dialoog niet tot enkele contactmomenten beperkt moet blijven, maar een continue proces is. Voor meer informatie zie het Kennisbericht 'Maatschappelijke dialoog'. Enkele highlights zijn:

- Goed en tijdig informeren van omwonenden heeft, over het algemeen, een positief effect op de beleefde hinder. Hoe eerder omwonenden in de planfase betrokken zijn, hoe meer invloed zij op de eigen situatie ervaren.
- De ervaring heeft ook geleerd dat bij een gespannen verhouding tussen de ondernemer en de omwonenden de relatie ook kan verslechteren. Een goede voorbereiding en een onafhankelijke partij of persoon om bijeenkomsten te leiden verminderen dit risico.
- Het vooraf informeren van de buurt over onderhoud of storingen waarbij overlast mogelijk is, heeft een positief effect op de ervaren hinder. Omwonenden kunnen maatregelen nemen (ramen sluiten, geen was buiten hangen).
- Een duidelijke klachtenprocedure die stipt wordt uitgevoerd geeft omwonenden een instrument om gehoord te worden en invloed uit te oefenen.



8. Veiligheid omwonenden

Samenvatting

Bij mestbewerkingsinstallaties kunnen incidenten en ongevallen optreden. In het verleden is dat ook gebeurd, soms met ernstige gevolgen voor het personeel en voor het bedrijf. Gezien de hoeveelheid en de aard van de aanwezige stoffen op het bedrijf en de procesgang zijn bij de meeste mestbewerkingstechnieken geen ongevallen met (ernstige) gevolgen voor omwonenden te verwachten. Het vergisten van mest vormt hierop een uitzondering. Het kan hierbij om grootschalige installaties gaan waarin grote hoeveelheden ontvlambaar en explosief vergistingsgas (ofwel biogas) aanwezig zijn. Risicoschattingen voor vergisting geven aan dat de risicocontour voor typische installaties op maximaal 50 meter van de installatie ligt. Meestal zal de risicocontour binnen de grenzen van het bedrijf liggen, maar het is niet uitgesloten dat er binnen die afstand mensen wonen of verblijven.

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beoordeeld welke ongevallen er bij mestbewerking kunnen optreden die gevolgen voor omwonenden hebben. De beoordeling is beperkt tot ongevallen en incidenten. Overlast van de installaties in regulier bedrijf (geur, fijnstof, geluid, licht) blijft hier buiten beschouwing. Die aspecten zijn in hoofdstuk 4, 5 en 6 van dit Kennisbericht aan de orde geweest. Daarnaast beperkt de beoordeling zich tot gevolgen voor omwonenden. Werknemers bij een mestbewerkingsinstallatie lopen bij een bedrijfsongeval meer risico dan omwonenden. Als er bij een bepaalde vorm van mestverwerking geen ongevallen met gevolgen voor de omwonenden te verwachten zijn, betekent dat niet dat er geen bedrijfsongevallen met ernstige gevolgen voor personeel en bedrijf kunnen optreden.

Bij de beoordeling spelen risico's en kansen op een ongeval een belangrijke rol.

Wetenschappelijk gezien is een ongeval nooit volledig uit te sluiten en is het risico of de kans niet nul. Als de kans dat een bepaald ongeval optreedt erg laag is geven we dat aan met 'onwaarschijnlijk'.

8.2 Risico inschatting

Allereerst worden de in hoofdstuk 3 beschreven technieken van mestbewerking beoordeeld op drie aspecten: de aanwezigheid van gevaarlijke stoffen, de aanwezigheid van brandbare stoffen, en explosiegevaar. Deze drie aspecten bij elkaar leveren een inschatting van de kans op een ongeval dat gevolgen kan hebben voor omwonenden. Het gaat om een inschatting omdat voor de meeste mestbewerkingstechnieken, met uitzondering van vergisting, geen kwantitatieve risicoanalyses zijn uitgevoerd. De gevolgen van een incident voor de omgeving worden mede bepaald door de omvang van de installatie, de hoeveelheid mest die wordt bewerkt en de hoeveelheid opgeslagen stoffen. Daar wordt, voor vergisting, in paragraaf 8.3 nader op ingegaan. Voor een eerste inventarisatie wordt de kans op een ongeval met



gevolgen voor omwonenden onderverdeeld in: 'onwaarschijnlijk' en 'mogelijk'. Tabel 4 geeft een overzicht van de resultaten.

Mestbewerkingssystemen:

- *droging of compostering van mest*
Bij droging of compostering van mest zijn ongevallen die gevolgen voor omwonenden kunnen hebben onwaarschijnlijk. Gevaarlijke stoffen zijn afwezig. De brandstof voor de verwarmingsinstallatie is de enige brandbare stof. Een explosie is onwaarschijnlijk.
- *biologische zuivering van mest*
Bij biologische zuivering van mest zijn ongevallen die gevolgen voor omwonenden kunnen hebben onwaarschijnlijk. Gevaarlijke en brandbare stoffen zijn afwezig en een explosie is onwaarschijnlijk.
- *scheiding van mest*
Bij scheiding van mest zijn ongevallen die gevolgen voor omwonenden kunnen hebben onwaarschijnlijk. Er worden wel gevaarlijke stoffen gebruikt (zwavelzuur, metaalchloriden en metaalsulfaten), maar brandbare stoffen ontbreken. Een explosie is onwaarschijnlijk. Bij een incident met de gevaarlijke stoffen zullen de gevolgen tot het bedrijf beperkt blijven.
- *neerslag van fosfaat*
Bij neerslag van fosfaat uit mest zijn ongevallen die gevolgen voor omwonenden kunnen hebben onwaarschijnlijk. Er worden gevaarlijke stoffen gebruikt (magnesium en calciumzouten). Een explosie is onwaarschijnlijk. Bij een incident met de gevaarlijke stoffen zullen de gevolgen tot het bedrijf beperkt blijven.
- *hygiëniseren van mest*
Bij hygiëniseren van mest zijn ongevallen die gevolgen voor omwonenden kunnen hebben onwaarschijnlijk. Gevaarlijke stoffen zijn afwezig. De brandstof voor de verwarmingsinstallatie is de enige brandbare stof. Een explosie is onwaarschijnlijk.
- *vergisting van mest*
Bij vergisting van mest zijn ongevallen met gevolgen voor omwonenden mogelijk. Het geproduceerde vergistingsgas (biogas) bevat methaan, kooldioxide en waterstofsulfide. Als daar zuurstof uit de buitenlucht bij komt kan een explosief mengsel ontstaan. Een explosie is mogelijk, waardoor een ongeval met gevolgen voor omwonenden kan optreden.
- *productie van mineralenconcentraat*
Bij productie van mineralenconcentraat zijn ongevallen die gevolgen voor omwonenden kunnen hebben onwaarschijnlijk. Gevaarlijke en brandbare stoffen zijn afwezig. Een explosie is onwaarschijnlijk. Wel wordt er bij toepassing van omgekeerde osmose onder hoge druk (40 – 80 bar) gewerkt, maar bij een scheur in het osmosevat zullen de gevolgen tot het bedrijf beperkt blijven.
- *indampen van ammoniak*
Bij indampen van ammoniak zijn ongevallen die gevolgen voor omwonenden kunnen hebben onwaarschijnlijk. Er zijn gevaarlijke stoffen aanwezig (zwavelzuur, basische stoffen, ammoniak). De brandstof voor de verwarmingsinstallatie is de enige



brandbare stof. Een explosie is onwaarschijnlijk. Bij een incident met de gevaarlijke stoffen zullen de gevolgen tot het bedrijf beperkt blijven.

– *verbranden van mest*

Bij verbranden van mest zijn ongevallen die gevolgen voor omwonenden kunnen hebben onwaarschijnlijk. Gevaarlijke stoffen ontbreken. De brandstof voor de verbrandingsinstallatie is de enige brandbare stof. Een explosie is onwaarschijnlijk.

– *raffinage van mest*

Bij raffinage van mest zijn ongevallen die gevolgen voor omwonenden kunnen hebben onwaarschijnlijk. Er zijn gevaarlijke stoffen en mogelijk brandbare stoffen aanwezig. Een explosie is onwaarschijnlijk. Bij een incident met de gevaarlijke stoffen zullen de gevolgen tot het bedrijf beperkt blijven.

Tabel 4 Overzicht van de mestbewerkingssystemen, de aspecten die de kans op een ongeval met gevolgen voor omwonenden bepalen en de kans op zo'n ongeval

techniek	gevaarlijke stoffen	brandbare stoffen	explosie	ongeval met gevolgen voor omwonenden
droging/compostering	afwezig	aanwezig	onwaarschijnlijk	onwaarschijnlijk
biologische zuivering	afwezig	afwezig	onwaarschijnlijk	onwaarschijnlijk
scheiding	beperkt aanwezig	afwezig	onwaarschijnlijk	onwaarschijnlijk
neerslag fosfaat	beperkt aanwezig	afwezig	onwaarschijnlijk	onwaarschijnlijk
hygiënisatie	afwezig	aanwezig	onwaarschijnlijk	onwaarschijnlijk
vergisting	aanwezig	aanwezig	mogelijk	mogelijk
mineralenconcentraat	afwezig	afwezig	onwaarschijnlijk	onwaarschijnlijk
indamping ammoniak	aanwezig	aanwezig	onwaarschijnlijk	onwaarschijnlijk
verbranding	afwezig	aanwezig	onwaarschijnlijk	onwaarschijnlijk
raffinage	aanwezig	beperkt aanwezig	onwaarschijnlijk	onwaarschijnlijk

Uit tabel 4 blijkt dat alleen bij de vergisting van mest ongevallen kunnen optreden die mogelijk gevolgen voor de omwonenden hebben. Hierop gaan we in paragraaf 8.3 nader in.

8.3 Veiligheidsafstanden bij mestvergisters

Er zijn in Nederland diverse onderzoeken uitgevoerd naar risico's, incidenten en ongevallen rond mestvergisters (Heezen et al, 2014; AVIV 2014; Middelkoop 2012; Heezen et al, 2010;



CEV, 2008, zie ook: <https://www.rivm.nl/omgevingsveiligheid/inrichtingen/co-vergiftigingsinstallatie>). Deze onderzoeken brengen de zogenaamde externe veiligheid in beeld, dat is 'de kans om buiten een inrichting te overlijden als rechtstreeks gevolg van een ongewoon voorval binnen die inrichting waarbij een gevaarlijke stof betrokken is' (Besluit externe veiligheid inrichtingen, artikel 1d). De risicocontour geeft de afstand aan waarbuiten deze kans kleiner dan 1 op de 1.000.000 is. Onderzoeken die in beeld brengen hoeveel gewonden er buiten deze risicocontour kunnen vallen zijn op dit moment niet voorhanden. De in deze studie berekende risicocontouren liggen voor biogasopslag tot en met 4000 kubieke meter, maximaal op 50 meter van het middelpunt van de gashouder. In de meeste gevallen zal die risicocontour binnen de terreingrens van het bedrijf liggen. Bij grotere opslagen kan een grotere veiligheidsafstand nodig zijn. Omdat er voor mestvergisters geen faalcijfers bekend zijn, is bij de berekening uitgegaan van scenario's en faalkansen die bedoeld zijn voor atmosferische opslag tanks.

Vooraf het in de installatie geproduceerde biogas levert risico's op. Dit biogas bestaat in hoofdzaak uit methaan (50 tot 75 vol.%), kooldioxide (20 tot 50 vol.%), waterstofsulfide (0,01 tot 0,4 vol.%) en ammoniak, waterstof, stikstof, koolmonoxide en vluchtige stoffen (Biogas, 2016). Op wat grotere afstand gaat het wat betreft de risico's vooral om de brandbare eigenschappen van biogas. Op kortere afstand van de biogasinstallatie (enkele tientallen meters) zijn daarnaast ook de giftige en verstikkende eigenschappen van belang. De afgelopen jaren hebben zich met enige regelmaat ongevallen voorgedaan bij mestvergisters, waarvan sommige met ernstige gevolgen voor personeel en bedrijf. Op dit moment is er geen ongeval bekend dat heeft geleid tot doden of gewonden bij omwonenden [Heezen et al, 2014].

Wat betreft de aan te houden veiligheidsafstanden adviseert Infomil in de 'Handreiking (co)vergisting van mest' voor een opslagcapaciteit tot 4000 kubieke meter vergistingsgas een minimale afstand van 50 meter tot woningen (Infomil, 2018). Bij grotere opslagen kan een grotere veiligheidsafstand nodig zijn. De Vereniging Nederlandse Gemeenten adviseert in de Handreiking Bedrijven en milieuzonering een veiligheidsafstand van 30 meter (VNG, 2009). Het Activiteitenbesluit milieubeheer verplicht voor kleinschalige mestvergisters (verwerkingscapaciteit maximaal 25.000 kubieke meter mest per jaar) de volgende afstanden: 50 meter tot kwetsbare objectieven, 100 m tot een geurgevoelig object binnen de bebouwde kom en 50 m tot een geurgevoelig object buiten de bebouwde kom (Activiteitenbesluit milieubeheer, 2018).

Overigens geeft Infomil in de handreiking aan dat het niet verstandig is binnen de risicocontour van de biogasopslag nevenactiviteiten te ontwikkelen die leiden tot verblijf van personen (boerengolf, camping, etc. (Infomil, 2018)).

8.4 Transport

De risico's die transport met zich mee kan brengen zijn tweeledig. Allereerst kan de kans op een 'traditioneel' verkeersongeval toenemen door toename van de verkeersintensiteit en



omdat het transport vaak over smalle wegen in het buitengebied gaat met niet gescheiden verkeersstromen. Daarnaast is het niet uitgesloten dat gevaarlijke stoffen zoals zwavelzuur tijdens transport bij een ongeval vrijkomen en gevaar voor mens en milieu opleveren. Een verkeers- en vervoersplan kan hier, als onderdeel van een vergunningaanvraag, inzicht in verstrekken (zie ook paragraaf 7.5).

8.5 Welke kennis ontbreekt?

Voor de meeste mestbewerkingstechnieken, met uitzondering van vergisting, kan alleen een kwalitatieve inschatting van de risico's worden gemaakt op basis van de hoeveelheid en de aard van de aanwezige stoffen op het bedrijf en de procesgang. Kwantitatieve risicoschattingen ontbreken, maar op basis van de kwalitatieve inschatting lijken die voor andere technieken dan vergisting niet urgent.

Ook voor vergisting ontbreken gegevens. Er zijn geen faalkansen voor onderdelen van een typische mestvergister of voor biogasopslag beschikbaar. Er kunnen daarom geen specifieke faalscenario's voor mestvergisters worden opgesteld. Het RIVM is bij kwantitatieve risicoanalyse uitgegaan van de generieke scenario's en faalkansen voor atmosferische tanks. Hierdoor kunnen risico's van mestvergisters worden onderschat, zeker als de installaties groter worden en opschuiven naar de meer bebouwde omgeving [Heezen et al, 2014]. De aangegeven 50 meter kan daarom een onderschatting zijn van de risicoafstand. Het is op dit moment niet mogelijk aan te geven in welke situaties deze onderschatting optreedt of hoe groot deze onderschatting kan zijn.



9. Referenties

- Activiteitenbesluit milieubeheer, 2018 Via [overheid.nl](http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2018-01-1#Hoofdstuk3_Afdeling3.5_Paragraaf3.5.10) geraadpleegd op 7 februari 2018
http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2018-01-1#Hoofdstuk3_Afdeling3.5_Paragraaf3.5.10
- AVIV, 2014. AVIV, Interne veiligheidsanalyse biogasinstallaties, 1 mei 2014, Project: 132558 in opdracht van het RIVM. www.aviv.nl
- Baker, M., Hobman, J.L., Dodd, C.E.R., Ramsden, S.J., Stekel, D.J., 2016. Mathematical modelling of antimicrobial resistance in agricultural waste highlights importance of gene transfer rate. *FEMS Microbiol. Ecol.* 92.
- Bauza-Kaszewska, J., Paulszak, Z., Olszewska, H., 2015. Aeration as effective method for pathogen elimination in pig slurry. *Ann. Anim. Sci.*, Vol. 15, No. 3 (2015) 737-745
- Besluit externe veiligheid inrichtingen - <http://wetten.overheid.nl/BWBR0016767/> geraadpleegd 5 april 2018
- Béline, F., Daumer, M.L., Loyon, L., Pourcher, A.M., Dabert, P., Guiziou, F., Peu, P., 2008. The efficiency of biological aerobic treatment of piggery wastewater to control nitrogen, phosphorus, pathogen and gas emissions. *Water Sci. Technol.* 57, 1909–1914.
- Bicudo, J.R., Goyal, S.M., 2003. Pathogens and manure management systems: a review. *Environ. Technol.* 24, 115–130.
- BIOGAS, Safety first!, 2016 Richtlijnen voor het veilig gebruik van biogastechnologie. Nederlandse (één-op-één) vertaling van een publicatie van Duitse 'Fachverband Biogas' en de 'Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit' uit juni 2016. - <http://www.biogas-safety.org/>Blaak, H., Van Hoek, A.H.A.M., Hamidjaja, R.A., Van der Plaats, R.Q.J., Kerkhof-de Heer, L., De Roda Husman, A.M., Schets, F.M., 2015. Distribution, Numbers, and Diversity of ESBL-Producing *E. coli* in the Poultry Farm Environment. *PLoS One* 10, e0135402.
- Blaustein, R.A., Pachepsky, Y.A., Shelton, D.R., Hill, R.L., 2015. Release and Removal of Micro-organisms from Land-Deposited Animal Waste and Animal Manures: A Review of Data and Models. *J. Environ. Qual.* 44, 1338–1354. doi:10.2134/jeq2015.02.0077
- Bonetta, S., Ferretti, E., Bonetta, S., Fezia, G., Carraro, E., 2011. Microbiological contamination of digested products from anaerobic co-digestion of bovine manure and agricultural. *Lett. Appl. Microbiol.* 53, 552–557.
- Bradford, S.A., Morales, V.L., Zhang, W., Harvey, R.W., Packman, A.I., Mohanram, A., Welty, C., 2013. Transport and fate of microbial pathogens in agricultural settings. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 43, 775–893.
- Brooke, R.J., Kretzschmar, M.E.E., Mutters, N.T., Teunis, P.F., 2013. Human dose response relation for airborne exposure to *Coxiella burnetii*. *BMC Infect. Dis.* 13, 488.
- CEV, 2008 Effect- en risicoafstanden bij de opslag van biogas. Centrum Externe Veiligheid in opdracht van diverse gemeenten. Verduidelijking RIVM briefrapport 004/07 CEV Hee/sij-1437, januari 2007. RIVM Bilthoven
- Côté, C., Massé, D.I., Quessy, S., 2006. Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. *Bioresour. Technol.* 97, 686–691.
- De Buissonjé, F., Melse, R., Mosquera, J., Verdoes, N., 2013. Inventarisatie emissies en geluidsoverlast van mestbewerkingsinstallaties en eventuele maatregelen.
- Dufour, A., Bartram, J., Bos, R., Gannon, V., 2012. Animal Waste, Water Quality and Human Health. World Health Organisation (WHO), London.
- Dungan, R.S., 2010. Board-invited review: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures. *J. Anim. Sci.* 88, 3693–3706.
- 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, P.A.M., Schalk, J.A.C., Posthuma, L., Wintersen, A.M., 2014. Feitenrelaas rond de aspecten "Gezondheid en Veiligheid" van biovergisting. Bilthoven, The Netherlands.
- Hodgson, C.J., Oliver, D.M., Fish, R.D., Bulmer, N.M. 2016. Seasonal persistence of fecal indicator organisms in soil following dairy slurry application to land by surface broadcasting and shallow injection. *J. Environmental Management* 183 (2016) 325-332
- Hoeksma, P., De Buissonjé, F.E., Ehlert, P.A.I., Horrevorts, J.H., 2015. Pilots Mineralenconcentraten. Monitoring van de pilotbedrijven, 2011. Wageningen Livestock Research, Rapport 481, Mei 2011, 58 p.
- Hoeksma, P., Aarnink, A., De Buissonjé, F., Rutjes, S., Blaak, H., 2015. Effect van processtappen op overleving van micro-organismen bij mestverwerking. Wageningen, The Netherlands.
- Huijbers, P.M.C., Blaak, H., De Jong, M.C.M., Graat, E.A.M., Vandenbroucke-Grauls, C.M.J.E., De Roda Husman, A.M., 2015. Role of the Environment in the Transmission of Antimicrobial Resistance to Humans: A Rev. *Environ. Sci. Technol.* 150928162511004.
- Hutchison, M.L., Walters, L.D., Avery, S.M., Syngé, B.A., Moore, A., 2004. Levels of zoonotic agents in British livestock manures. *Lett. Appl. Microbiol.* 39, 207–214. doi:10.1111/j.1472-765X.2004.01564.x
- Infomil, 2018 Handreiking (co-)vergisting van mest, geraadpleegd 7 februari 2018 [https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/mest/handreiking-\(co/](https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/mest/handreiking-(co/)
- Jahne, M.A., Rogers, S.W., Holsen, T.M., Grimberg, S.J., 2015. Quantitative microbial risk assessment of bioaerosols from a manure application site. *Aerobiologia (Bologna)*. 31, 73–87.
- Jahne, M.A., Rogers, S.W., Holsen, T.M., Grimberg, S.J., Ramler, I.P., 2015b. Emission and Dispersion of Bioaerosols from Dairy Manure Application Sites: Human Health Risk Assessment. *Environ. Sci. Technol.* 49, 9842–9849.
- Jahne, M.A., Rogers, S.W., Holsen, T.M., Grimberg, S.J., Ramler, I.P., Kim, S., 2016. Bioaerosol Deposition to Food Crops near Manure Application: Quantitative Microbial Risk Assessment. *J. Environ. Qual.* 674, 666–674. doi:10.2134/jeq2015.04.0187
- Joy, S.R., Li, X., Snow, D.D., Gilley, J.E., Woodbury, B., Bartelt-Hunt, S.L., 2014. Fate of antimicrobials and antimicrobial resistance genes in simulated swine manure storage. *Sci. Total Environ.* 481, 69–74.
- Knapp, C.W., Dolfing, J., Ehlert, P.A.I., Graham, D.W., 2010. Evidence of increasing antibiotic resistance gene abundances in archived soils since 1940. *Environ. Sci. Technol.* 44, 580–587.
- Liu, Z., Carroll, Z.S., Long, S.C., Gunasekaran, S., Runge, T., 2016. Use of cationic polymers to reduce pathogen levels during dairy manure separation. *J. Environ. Manage.* 166, 260–266.
- Maassen, K., Heederik, D., IJzermans, J., Hagenaaars, T., Van der Hoek, W., 2016. Veehouderij en gezondheid omwonenden. Bilthoven, The Netherlands.
- Massé, D., Gilbert, Y., Topp, E., 2011. Pathogen removal in farm-scale psychrophilic anaerobic digesters processing swine manure. *Bioresour. Technol.* 102, 641–646.
- Middelkoop J., 2012. Gasgevaren van biogasinstallaties, TU Delft
- Mohaibes, M., Vuorinen, H., Heinonen-Tanski, H., 2014. Effect of temperature on microbial population and performance of an aerobic thermophilic reactor treating cattle slurry and waste food. *Environ. Technol.* 32.
- Nicholson, F.A., Groves, S.J., Chambers, B.J., 2005. Pathogen survival during livestock manure storage and following land application. *Bioresour. Technol.* 96, 135–143.
- Pandey, P.K., Soupir, M.L., 2011. *Escherichia coli* inactivation kinetics in anaerobic digestion of dairy manure under moderate, mesophilic and thermophilic temperatures. *AMB Express* 1, 1–18.
- Pruden, A., Joakim Larsson, D.G., Amézquita, A., Collignon, P., Brandt, K.K., Graham, D.W., Lazorchak, J.M., Suzuki, S., Silley, P., Snape, J.R., Topp, E., Zhang, T., Zhu, Y.G., 2013. Management options for reducing the release of antibiotics and antibiotic



- resistance genes to the environment. *Environ. Health Perspect.* 121, 878–885.
- Roest, H.I.J., Tilburg, J.J.H.C., Van der Hoek, W., Vellema, P., Van Zijderveld, F.G., Klaassen, C.H.W., Raoult, D., 2011. The Q fever epidemic in The Netherlands: history, onset, response and reflection. *Epidemiol. Infect.* 139, 1–12.
- Sahlström, L., Bagge, E., Emmoth, E., Holmqvist, A., Danielsson-tham, M., Albiñ, A., 2008. A laboratory study of survival of selected microorganisms after heat treatment of biowaste used in biogas plants. *Bioresour. Technol.* 99, 7859–7865.
- Schijven, J.F., Blaak, H., Schets, F.M., De Roda Husman, A.M., 2015. Fate of Extended-Spectrum β -Lactamase-Producing *Escherichia coli* from Faecal Sources in Surface Water and Probability of Human Exposure through Swimming. *Environ. Sci. Technol.* 49, 11825–11833.
- Schimmer, B., Ter Schegget, R., Wegdam, M., Züchner, L., De Bruin, A., Schneeberger, P.M., Veenstra, T., Vellema, P., Van Der Hoek, W., 2010. The use of a geographic information system to identify a dairy goat farm as the most likely source of an urban Q-fever outbreak. *BMC Infect. Dis.* 10, 1–7.
- Smit, L.A.M., Van der Sman-de Beer, F., Opstal-van Winden, A.W.J., Hooiveld, M., Beekhuizen, J., Wouters, I.M., Yzermans, J., Heederik, D., 2012. Q fever and pneumonia in an area with a high livestock density: a large population-based study. *PLoS One* 7.
- Spiehs, M., Goyal, S., 2007. Best Management Practices for Pathogen Control in Manure Management Systems. Univ. Minnesota M1211.
- Topp, E., Scott, A., Lapen, D.R., Lyautey, E., Duriez, P., 2009. Livestock waste treatment systems for reducing environmental exposure to hazardous enteric pathogens: Some considerations. *Bioresour. Technol.* 100, 5395–5398.
- Van den Brom, R., Roest, H.I.J., De Bruin, A., Dercksen, D., Santman-Berends, I., Van der Hoek, W., Dinkla, A., Vellema, J., Vellema, P., 2015. A Probably Minor Role for Land-Applied Goat Manure in the Transmission of *Coxiella burnetii* to Humans in the 2007–2010 Dutch Q Fever Outbreak. *PLoS One* 10, e0121355.
- Van der Poel, W.H.M., 2014. Food and environmental routes of Hepatitis E virus transmission. *Curr. Opin. Virol.* 4, 91–6.
- Van Leuken, J.P.G., Havelaar, A.H., Van der Hoek, W., Ladbury, G.A.F., Hackert, V.H., Swart, A.N., 2013. A model for the early identification of sources of airborne pathogens in an outdoor environment. *PLoS One* 8, 1–9.
- van Leuken JPG, Hoeksma P, Nijsten DRE, Schijven JF, Schmitt H, de Roda Husman AM, 2017
Verkenning van de microbiologische risico's van mest voor de gezondheid: op basis van een systematisch literatuuronderzoek RIVM Rapport 2017-0100, RIVM, Bilthoven, oktober 2017
- Vanotti, M.B., Millner, P.D., Hunt, P.G., Ellison, A.Q., 2005. Removal of pathogen and indicator microorganisms from liquid swine manure in multi-step biological and chemical treatment. *Bioresour. Technol.* 96, 209–214.
- Varel, V.H., Wells, J.E., Shelver, W.L., Rice, C.P., Armstrong, D.L., Parker, D.B., 2012. Effect of anaerobic digestion temperature on odour, coliforms and chlortetracycline in swine manure or monensin in cattle manure. *J. Appl. Microbiol.* 112, 705–715.
- Venglovsky, J., Sasakova, N., Placha, I., 2009. Pathogens and antibiotic residues in animal manures and hygienic and ecological risks related to subsequent land application. *Bioresour. Technol.* 100, 5386–5391.
- Vereniging Nederlandse Gemeenten (VNG), 2009 Handreiking Bedrijven en milieuzonering, VNG, Den Haag
- Winkel, A., J. Mosquera, J. van Harn, G. M. Nijeboer, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2011. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmsysteem op vleeskuikenbedrijven [Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: validation of an oil spraying system on broiler farms]. Report 392. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.



- Winkel, A., Wouters, I.M., Aarnink, A.J.A., Heederik, D.J.J., Ogink, N.W.M., 2014. Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: een literatuurstudie voor ontwikkeling van een toetsingskader. Livestock Research rapport 773. Wageningen, the Netherlands: Wageningen UR Livestock Research. Available online at: <http://edepot.wur.nl/310270>.
- Winkel, A., J. Mosquera, P.W.G. Groot Koerkamp, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink, 2015. Emissions of particulate matter from animal houses in the Netherlands. Atmospheric Environment. 111, 202-212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.03.047>.
- Winkel, A., J. Mosquera, A.J.A. Aarnink, P.W.G. Groot Koerkamp, N.W.M. Ogink, 2017. Evaluation of manure drying tunnels to serve as dust filters in the exhaust of laying hen houses: emissions of particulate matter, ammonia, and odour. Biosystems Engineering 162, 81-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.07.006>.
- WUR, 2014. Manure - a valuable resource. <http://edepot.wur.nl/294017>