



Quick Scan literatuur naar het vrijkomen van zwavelwaterstof (H₂S) uit mest in melkveestallen

DATUM
8 april 2016

AUTEUR
Maikel Timmerman

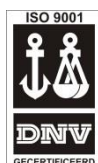
Wageningen UR (Wageningen University and various research institutes) is specialised in the domain of healthy food and living environment.

Wageningen UR Livestock Research develops and applies knowledge for a profitable and sustainable livestock sector.

© 2014 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen,
T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl,
www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van
Wageningen UR (University & Research centre).

Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op als onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoudsopgave

1	Literatuuronderzoek	5
1.1	Algemeen	5
1.2	Gevolgen voor mensen bij blootstelling aan zwavelwaterstof	5
1.3	Meetresultaten	6
1.4	Invloedsfactoren	7
2	Conclusies	10
	Literatuur	11
	Bijlage 1 Websites met informatie om de veiligheid bij het werken met mest te vergroten.	12

1 Literatuuronderzoek

In het kader van het project "Mestgassen: een onderschat gevaar", gefinancierd door ZuivelNL, is een Quick Scan gedaan in de literatuur naar onderzoeksresultaten over het vrijkomen van zwavelwaterstof uit mest in melkveestallen.

1.1 Algemeen

Drijfmest is een biologisch actieve massa waarin allerlei biochemische processen plaatsvinden. Bij deze processen ontstaan en komen onder andere de volgende gassen vrij: methaan (CH₄), ammoniak (NH₃), koolstofdioxide (CO₂), zwavelwaterstof (H₂S) en cyanide/blauwzuur (HCN). Deze gassen blijven voor een groot deel in de mest opgeslagen in gasbelletjes, vooral onder de aanwezige drijfslaag. Tijdens het mixen of rondpompen krijgen deze gassen de gelegenheid te ontwijken en dringen dan door de roostervloer de stal binnen (Counotte *et al.*, 1988).

1.2 Gevolgen voor mensen bij blootstelling aan zwavelwaterstof

Zwavelwaterstof heeft een lage geurdrempel van 0,005 tot 0,13 ppm en heeft een karakteristieke geur van rotte eieren. Echter bij concentraties boven de circa 100 ppm raakt het reukorgaan verlamd en is de geur niet meer herkenbaar voor mensen waardoor het gevaar niet meer te ruiken is. De wettelijke grenswaarde voor zwavelwaterstof bedraagt 1,6 ppm, want inhoudt dat bij alleen lagere concentraties een hele werkdag kan worden gewerkt zonder dat schadelijke gevolgen voor de gezondheid optreden (Hietkamp, 2010). In tabel 1 staan de mogelijke effecten van blootstelling aan zwavelwaterstof op het menselijk lichaam bij verschillende concentraties zwavelwaterstof weergegeven.

Tabel 1

Effecten van zwavelwaterstof (H₂S) op het menselijk lichaam (Middelkoop, 2013)

H ₂ S concentratie (ppm)	Effect
0.0005 - 0,13	- Geurdrempel
1,6	- Wettelijke grenswaarde
10	- Oogirritatie - Na 4 - 8 uur blootstelling hoofdpijn en misselijkheid
100 - 150	- Hoesten - Sterke oogirritatie - Na 2 - 15 minuten verlamming van het geurvermogen
150 - 250	- Hoofdpijn - Duizeligheid - Misselijkheid - Evenwichtsproblemen - Longoedeem
250 - 700	- Ernstige irritatie ademhalingsstelsel - Mogelijk bewustzijnsverlies - Kans op overlijden tussen 15 minuten en 4 uur
700 - 1000	- Snel bewustzijnsverlies - Stop ademhaling en sterfte binnen 15 minuten - Kans op blijvend letsel
1000 - 2000	- Bij eerst ademteug verlamming van het middenrif - Direct bewustzijnsverlies - Overlijden binnen enkele minuten, zelfs als slachtoffer in de frisse lucht wordt gebracht (sudden knock-out, sudden death)

Ondanks dat de gevaren van mestgassen algemeen bekend zijn in de agrarische sector gebeuren er jaarlijks (dodelijke) ongelukken en overlijden dieren in Nederland als gevolg van vrijkomende gassen uit mest (Hietkamp, 2010; OVV, 2014; Anoniem, 2015a+b+b+c; Middelkoop, 2015). Ook buiten Nederland komen ongelukken met mestgassen voor (Morse *et al.*, 1981; Donham, 1982; Hallam, 2012; Andriamanohiarisoamanana *et al.*, 2015; Middelkoop, 2015). In bijlage 1 zijn een aantal websites weergegeven die informatie verschaffen om de veiligheid bij het werken met mest te vergroten.

1.3 Meetresultaten

Counotte *et al.* (1988) hebben op 22 Nederlandse rundveebedrijven metingen verricht naar het vrijkomen van gassen (NH_3 , O_2 , CH_4 , CO_2 , H_2S en HCN) tijdens het mixen van mest. Van de gemeten gassen bleken zwavelwaterstof en blauwzuur in dermate hoge concentraties voor te komen, dat zij afzonderlijk een acute dood tot gevolg kunnen hebben. Bij zwavelwaterstof werden piekconcentraties gemeten tot 1000 ppm. Meer dan 30% van de metingen waren hoger dan 450 ppm en de helft was boven de 300 ppm wat direct gevaar oplevert voor mens en dier. Op alle bedrijven werden waarden gemeten die lagen boven de (toen wettelijk geldende) maximaal toegelaten concentratie (MAC-waarde) van 10 ppm waarin gewerkt mag worden. Ook de gemeten concentraties gedurende langere perioden (15 minuten) bleken verontrustend te zijn. Bij cyanide werden piekconcentraties gemeten van 10 tot 400 ppm. De concentraties gedurende langere perioden (15 minuten) schommelden tussen de 4 en 114 ppm. Deze concentraties zijn op zich alarmerend hoog. De gemeten concentraties aan H_2S en HCN kwamen plaatselijk tot zeer plaatselijk en op geringe hoogte boven de roosters voor. Op circa 1,5 meter boven de roosters waren de concentraties meer dan gehalveerd. Verder schommelden de concentraties in de tijd nogal sterk. Zwavelwaterstof is afkomstig bacteriën die eiwitten en andere bacteriën afbreken, terwijl over de herkomst van het waterstofcyanide weinig bekend was. Verondersteld werd dat de cyanide bij de afbraak van voeders vrij kwam door de aanwezigheid van cyanide in deze voeders. In dit onderzoek bleek vooral graskuil relatief hoge concentraties cyanide te bevatten.

Groves en Ellwood (1991) hebben op vier rundveebedrijven onderzoek gedaan naar het verloop van de H_2S -concentratie tijdens het mixen van mest.

- 1) Op locatie 1 werd wekelijks de mest van de 200 melkkoeien uit de stal gespoeld naar een verzamelput van 57 m^3 . Het mixen van deze verzamelput leidde één minuut na aanvang tot de hoogst gemeten H_2S -concentratie van 103 ppm, waarna concentratie langzaam afnam. Na het mixen en overpompen van de mest naar de eindopslag werd een H_2S -concentratie van 13 ppm gemeten bij het mestoppervlak en op 1,2 m hoogte boven het mestoppervlak werd een concentratie van 6 ppm gemeten.
- 2) Op locatie 2 werd de mest van de 160 melkkoeien met een mestschuif uit de stal naar een verzamelput van 36 m^3 afgevoerd, welke wekelijks werd geleegd. Uit de verzamelput werden vijf vrachten van $2,25 \text{ m}^3$ gezogen, waarbij voor de eerste en derde vracht werd gemixt. Bij aanvang van het mixen steeg de H_2S -concentratie zeer sterk: na de eerste keer tot 140 ppm en na de tweede keer tot 40 ppm, waarna de concentratie langzaam af. Ook tijdens het opzuigen van de mest werden verhoogde H_2S -concentraties tot 20 ppm gemeten.
- 3) Op locatie 3 werd rundvee gehouden in een stal met aan beide zijden van de voergang een mestput van 2 m breed en 1,7 m diep. Het mixen van één mestput vond plaats door op acht verschillende plekken verdeeld over de lengte van de mestput telkens een rooster van de mestput te tillen en daar gedurende circa vijf minuten de mest te mixen. Op de meeste mixpunten werd een aanzienlijke stijging in H_2S -concentratie gemeten na aanvang van het mixen. Op het vijfde mixpunt werd de hoogste piekconcentratie gemeten van richting de 300 ppm, gevolgd door het tweede mixpunt met een piekconcentratie van 200 ppm.
- 4) Op locatie 4 werd vleesvee gehouden in stal met aan beide zijden van de voergang twee mestkelders. In de ochtend werd de linker mestkelder op verschillende plekken achter elkaar gemixt en in de middag werd de rechter mestput op verschillende punten gemixt. Het rundvee was niet aanwezig in de stal tijdens het mixen. Na aanvang van het mixen werd een sterke stijging van de H_2S -concentratie gemeten, waarna de concentratie regelmatig boven de 10-minuuts grenswaarde van 15 ppm uitkwam. In de middag werden veel hogere concentraties gemeten omdat men de deuren had dicht gedaan in verband met een regenstortbui. Er werden piekconcentraties gemeten van 541 ppm ter hoogte van de roostervloer en 180 ppm op hoofdhoogte.

Patni en Clarke (1991) hebben op verschillende dagen in een melkveestal en een jongveestal metingen verricht naar de H_2S -concentraties op verschillende plekken in de stal. De metingen werden verricht ter hoogte van de vloer voor, tijdens en na het mixen van de drijfmest. Uit de meetresultaten kwam naar voren dat de H_2S -concentratie sterk varieerde zelfs wanneer de operationele condities en procedures

gelijk waren. Er bleek niet veel verschil te zijn tussen de zomer- en winterperiode. Er was een tendens naar lagere H₂S-concentraties in de jongveestal. De 15-minuut grenswaarde van 15 ppm werd regelmatig overschreden. In tabel 2 staan de resultaten van de uitgevoerde metingen weergegeven.

Tabel 2

Gemeten H₂S-concentratie ter hoogte van de vloer in een melkvee- en jongveestal (Patni en Clarke, 1991)

Meetpunt	Melkveestal	Jongveestal	
<u>Bij pompkelder</u>	<u>Zomer</u>	<u>Winter</u>	<u>Winter</u>
Aantal metingen	9	10	6
Piekconcentratie (ppm)	15 - 62	11 - 63	5 - 41
Piekconcentratie 15 min-gemiddelde (ppm)	6 - 31	1 - 42	2 - 30
<u>Tussen pompkelder en recirculatie-straalbuis</u>			
Aantal metingen	9	11	4
Piekconcentratie (ppm)	6 - 55	2 - 56	4 - 22
Piekconcentratie 15 min-gemiddelde (ppm)	2 - 37	2 - 44	3 - 11
<u>Bij recirculatie-straalbuis</u>			
Aantal metingen	10	11	4
Piekconcentratie (ppm)	3 - 42	4 - 70	4 - 23
Piekconcentratie 15 min-gemiddelde (ppm)	2 - 33	3 - 55	2 - 10

Uenk *et al.* (1993) hebben bij vier mestsilos de luchtsamenstelling gemeten vóór en na het mixen van de mest. Eén mestsilo bevatte alleen varkensmest, terwijl de andere drie mestsilos zowel rundveemest als varkensmest bevatte waarbij het aandeel varkensmest beneden de 20% lag. Uit de resultaten kwam naar voren dat vóór het mixen er geen gevaarlijke hoeveelheden H₂S werd gemeten. De maximale gemeten waarde bedroeg 2 ppm. Na het mixen werden in enkele gevallen direct dodelijke concentraties gemeten van meer dan 1000 ppm. De maximale gemeten waarde bedroeg 4100 ppm.

Scully *et al.* (2007) hebben gedurende 99 dagen in de winter metingen verricht naar de hoogte van H₂S-concentraties in mestputten van een vleesveestal. In de ene helft van de mestputten werd de mest dagelijks gemixt met luchtballen (Aeromix systeem) en in de andere helft werd de mest eenmalig gemixt met een traditionele mixer. Bij de niet-beluchte mest werd direct onder de roosters geen H₂S gemeten, terwijl bij de beluchte mest wel incidenteel H₂S werd gemeten tot een maximale piekwaarde van 7 ppm. Bij de niet-beluchte mest werd tijdens het mixen hoge H₂S-concentraties gemeten tot een maximale piek van 275 ppm direct onder de roosters. Direct na het starten van het mixen van de niet-beluchte mest werden hoge concentraties gemeten. Tijdens het wegpompen van de niet-beluchte mest werden H₂S-concentraties gemeten tot 107 ppm, terwijl bij het wegpompen van de beluchte mest H₂S-concentraties van minder dan 10 ppm werd gemeten. Naast deze metingen in de vleesveestal zijn ook metingen uitgevoerd op drie melkveebedrijven waar de mest dagelijks werd gemixt met luchtballen via het Aeromix-systeem in de periode april-mei. Uit de resultaten kwam naar voren dat de productie van H₂S alleen plaatsvond tijdens de perioden van mixen met de luchtballen. De hoogst gemeten piekwaarden direct onder de roostervloer bedroeg 119 ppm, terwijl de hoogste gemeten 5 minuten-waarde 74 ppm bedroeg. Pieken tot 30 ppm waren gebruikelijker tijdens het beluchten.

1.4 Invloedsfactoren

Counotte *et al.* (1988) hebben tijdens hun onderzoek op 22 Nederlandse rundveebedrijven naar het vrijkomen van gassen (NH₃, O₂, CH₄, CO₂, H₂S en HCN) bij het mixen van mest ook gekeken naar een aantal factoren die de hoogte van concentratie van gassen beïnvloeden.

- Mest

In de mestmonsters en de voermonsters werden de cyanideconcentraties gemeten, maar er kon geen relatie worden aangetoond tussen bepaalde voedselpatronen en de gevonden cyanideconcentraties in de mest. Er kon ook geen relatie worden vastgesteld tussen gasconcentraties en mesttemperatuur. Ook de gemiddelde verblijftijd had geen meetbare invloed op

de gasconcentraties. Wel kon worden vastgesteld dat bij dikke, stijve mengmest gassen minder vrijkwamen.

- **Mestopslag**
De diepte van de kelder of de hoeveelheid mest die was opgeslagen in de kelder had geen invloed op de gasconcentraties. Wel werd eenmaal geconstateerd dat bij een verlengde ligboxenstal er op de overgang van oude naar de nieuwe, diepere, kelder emissie van gassen plaatsvond. Bij opslag van mest onder ligboxen en voergang kan de overgang van de gesloten gedeelten onder de ligboxen naar het open gedeelte onder de roosters toe een sterk verhogend effect hebben op de gasconcentraties.
- **Mestbewerking**
Er werd geen verschil gevonden tussen pompen en mixers. Wel bleek het toerental van de trekker een belangrijke rol te spelen. Bij circa 300 tot 350 omwentelingen per minuut van de aftakas waren de gasconcentraties aanzienlijk lager. Bij het stilzetten van de mixer treedt een snelle nivellering op van de vloeistofniveaus in de kelder waardoor een hoeveelheid geconcentreerd mengsel van gassen snel in de stal kan worden gebracht.
- **Ventilatie**
Hoewel er geen direct verband was tussen de diverse factoren en de optredende gasconcentraties, bleek wel duidelijk dat ook hoge windsnelheden geen garantie zijn voor het voorkomen van te hoge gasconcentraties in de stal. De windrichting is ook van belang. In de situaties waarin de mestput aan de lijzijde was gelegen, verplaatsten probleemgebieden zich naar de mixopening buiten de stal wat soms tot levensgevaarlijke situaties leidde. De onderdruk aan lijzijde zorgde blijkbaar voor ontluchting van de mestkelders.

Stevens *et al.* (1993) hebben onderzoek gedaan naar het effect van het rantsoen en opslagtijd op het sulfide-gehalte in drijfmest afkomstig van melkvee. De vier onderzochte rantsoenen bestonden uit ruwvoer en krachtvoer en waren zo samengesteld dat ze een verschillend eiwitgehalte hadden. De samenstelling was geformuleerd om een gelijkwaardige melkproductie (20 kg/dag) te krijgen bij de vier rantsoenen. De vier rantsoenen bestonden uit twee niveaus van eiwitgehalte (17 en 34%) en twee niveaus van verteerbaarheid van het ruwvoer (laag en hoog). In tabel 3 staan de resultaten van het onderzoek weergegeven. De rantsoenen met het hoge eiwitgehalte bleken significant hogere sulfidegehalte in de mest te geven. Het hoogste sulfide-gehalte in de mest werd gerealiseerd bij het rantsoen met het hoge eiwitgehalte en het grootste aandeel krachtvoer, maar dit rantsoen had niet het hoogste zwavelgehalte in het rantsoen. De hoogste sulfide-gehalte werd gevonden aan het begin van de opslagtijd. Over de opslagduur van 12 maanden daalde het sulfide-gehalte in de mest bij alle rantsoenen. Het sulfide-gehalte neemt af als het wordt gemetaboliseerd of ontwikkeld naar gassen. De emissie van zwavelwaterstof is afhankelijk van de pH van de mest. Ook het totale zwavelgehalte in de mest daalde gedurende de opslagperiode met gemiddeld 19% van 478 mg/kg naar 385 mg/kg.

Tabel 3

Gevoerde rantsoenen, gemiddelde zwavel- en stikstofgehalte van het rantsoen en het gemiddelde zwavel- en sulfidegehalte in de drijfmest (Stevens et al., 1993)

Dagelijks opname en rantsoenbeschrijving	Zwavelgehalte rantsoen (g S/kg)	Stikstofgehalte rantsoen (g N/kg)	Zwavelgehalte mest (g S/kg)	Sulfidegehalte mest (mg S/liter)
2,6 kg krachtvoer: 34% eiwit 9,7 kg ruwvoer: hoog verteerbaar	2,36	34,6	0,45	50
4,1 kg krachtvoer: 34% eiwit 9,1 kg ruwvoer: laag verteerbaar	2,11	31,3	0,51	56
4,3 kg krachtvoer: 17% eiwit 8,3 kg ruwvoer: hoog verteerbaar	1,81	28,0	0,50	42
6,9 kg krachtvoer: 17% eiwit 8,1 kg ruwvoer: laag verteerbaar	1,63	23,0	0,45	35

Andriamanohiarisoamanana *et al.* (2015) hebben onderzoek gedaan naar het effect van verschillende drogestofgehalten (3, 5, 7, 9 en 11%), mixsnelheden (100, 200, 300 en 400 rpm), mixtijden (5, 15, 30 en 60 minuten) en mixfrequenties (1, 2, 3 of 4x per dag) op de productie van zwavelwaterstof uit mest. De mest was afkomstig van twee verschillende melkveebedrijven, waarbij het ene bedrijf een krachtvoer gebaseerd rantsoen voerde en het andere bedrijf een ruwvoer gebaseerd rantsoen. Uit de resultaten kwam naar voren dat het melkveebedrijf met het krachtvoer gebaseerde rantsoen de hoogste H₂S-emissie uit de mest had. De H₂S-concentratie nam toe met het drogestofgehalte tot een maximum van 1133 ppm bij een drogestofgehalte van 9%, waarna het bij een toenemend drogestofgehalte afnam. De H₂S-emissie nam toe bij een hogere mixsnelheid met een piekconcentratie van 3996 ppm bij 400 rpm. Dezelfde trend was te zien bij toename in mixtijd van de mest waar bij langere mixtijden de H₂S-emissie toe nam. Bij lage mixsnelheden (<200 rpm) en korte mixtijden (<15 min.) werden lage H₂S-emissies gemeten. Er werden geen significante verschillen gevonden tussen verschillende mixfrequenties, maar bij 1x per dag mixen lag de H₂S-emissie in het algemeen wel hoger dan bij vaker mixen per dag. De auteurs geven aan dat regelmatig mixen bij een lage mixsnelheid gedurende een korte tijd een lagere H₂S-emissie uit mest zal geven. Uit de resultaten kwam ook naar voren dat H₂S sterk afhankelijk is van zowel pH als temperatuur. Een sterke daling van 3500 naar 306 ppm werd vastgesteld toen de temperatuur van de mest daalde van 24°C naar 10°C. Dit effect kan worden verklaard doordat de sulfaat-reducerende bacteriën gevoelig zijn voor schommelingen in de temperatuur. Daarnaast is de temperatuur van invloed op de transformatie van water opgelost H₂S naar gasvorming H₂S. Uit de resultaten kwam duidelijk naar voren dat bij 18°C de activiteit van de sulfaat-reducerende bacteriën en de H₂S-concentratie exponentieel toenamen. Verder nam bij een daling van de pH van 7,32 naar 6,83 de H₂S-concentratie toe met 285%. De pH is van invloed op dissociatie van moleculair H₂S (water opgelost) naar de ionische vormen (HS⁻ en H⁺). Bij een stijging van de pH van 6,79 naar 9,05 werd een daling van de H₂S-concentratie vastgesteld van 4000 naar 20 ppm.

2 Conclusies

Uit (inter)nationale onderzoeken naar de hoogte van concentraties van zwavelwaterstof bij het mixen van mest kwamen de volgende zaken voren:

- Piekconcentraties van meer dan 150 ppm H₂S kwamen veelvuldig voor en vormen een direct gevaar voor mens en dier. De hoogst gerapporteerde meetwaarde uit de onderzoeksresultaten bedroeg 4100 ppm H₂S.
- De H₂S-concentratie stijgt direct na aanvang van het mixen zeer sterk en leidt (zeer) snel tot een piekwaarde.
- De H₂S-concentratie bleek sterk te variëren zelfs wanneer de operationele condities en handelswijze gelijk waren.
- Het kwam regelmatig voor dat de H₂S-concentraties gedurende langere tijd (15 minuten) boven de 10 ppm H₂S lagen.
- Op basis van een paar onderzoeksresultaten lijkt een krachtvoer-gebaseerd rantsoen tot hogere H₂S-concentraties te leiden.
- Op basis van een paar onderzoeksresultaten lijken lagere mixsnelheden tot lagere H₂S-concentraties te leiden.

Literatuur

- Andriamanohiarisoamanana, F. J., Y. Sakamoto, T. Yamashiro, S. Yasui, M. Iwasaki, I. Ihara, O. Tsuji en K. Umetsu. 2015. Effects of handling parameters on hydrogen sulfide emission from stored dairy manure. *Journal of Environmental Management* 154: 110-116.
- Anoniem. 2015a. Koeien dood bij mixen mest. *Leeuwarder Courant*, 9 april 2015.
- Anoniem. 2015b. Kalfjes dood mixen van mest. *Leeuwarder Courant*, 16 april 2015.
- Anoniem. 2015c. Brandweer redt man die onwel raakte bij werk aan mestopslag. *Leeuwarder Courant*, 17 april 2015.
- Counotte, G. H. M., B. van Keulen, G. W. Lieben, E. Mulder, L. T. van der Veen, D. Verbiesen en P. Zandstra. 1988. Gevaren bij het mixen van mengmest in ligboxenstallen: het vrijkomen van zwavelwaterstof en blauwzuurgas. *Gezondheidsdienst voor Dieren*.
- Donham, K. J. 1982. Acute toxic exposure to gases from liquid manure. *Journal of Occupational medicine* 24 (2):142-145.
- Groves, J. A. and P. A. Ellwood. 1991. Gases in agricultural slurry stores. *Annals of Occupational Hygiene* 35 (2): 139-151.
- Hallam, D.M., J. Liao en K. Choi, 2012. Manure pit injuries: rare, deadly, and preventable. *Journal of Emergencies, Trauma, and Shock* 5 (3): 253-256.
- Hietkamp. 2010. Als vogels het loodje leggen - Gevaarlijke gassen op boerderij. *Plattelands Post* 40:6-8.
- Middelkoop, J. 2013. Kiek uut met stront – Leidraad veilig werken in mestopslagen. Soest.
- Middelkoop, J. 2015. Recente mestongevallen. <http://www.hazmatcat.nl/html/mestgassen.html>
- Morse, D.L., M.A. Woodbury, K. Rentmeester en D. Farmer. 1981. Death caused by fermenting manure. *Journal of the American Medical Association* 245 (1): 63-64.
- OVV. 2014. Dodelijk ongeval in mestsilo te Makkinga. *Onderzoeksraad voor Veiligheid*, Den Haag.
- Patni en Clarke. 1991. Transient hazardous conditions in animal buildings due to manure gas released during slurry mixing. *Applied Engineering in Agriculture* 7 (4): 478-484.
- Scully, H., J. P. Frost, S. Gilkinson en J. J. Lenehan. 2007. Research into hydrogen sulfide (H₂S) emissions from stored slurry which undergone low rate aeration. *Dunsany, Ireland, Teagasc Grange Beef Research Centre*.
- Stevens, R. J., R. J. Laughlin en J. P. Frost. 1993. Effects of diet and storage time on the concentration of sulphide in dairy-cow slurry. *Bioresource Technology* 45 (1): 13-16.
- Uenk, G.H., T.G.M. Demmers en M.G. Hissink, 1993. Luchtsamenstelling onder de overkapping van mestsilo's vóór en na het mixen van de mest. *IMAG-DLO, Wageningen. Rapport 93-10*.

Bijlage 1 Websites met informatie om de veiligheid bij het werken met mest te vergroten.

Op de volgende websites wordt informatie verstrekt en adviezen geven over maatregelen om de veiligheid bij werkzaamheden met mest te vergroten, zoals bijvoorbeeld mest mixen:

- Arbocatalogus agrarische en groente sectoren (www.agroarbo.nl)
 - <http://www.agroarbo.nl/melkvee-en-graasdieren/overige/mestgassen/>
 - <http://www.agroarbo.nl/mechanisch-loonwerk/gevaarlijke-stoffen/mestgassen/>
- Brandweer Eibergen (www.brandweereibergen.nl)
 - <http://www.brandweereibergen.nl/veiligheid-preventie/gevaar-van-mestgassen/>
- Gezondheidsdienst voor Dieren (www.gddiergezondheid.nl)
 - <http://www.gddiergezondheid.nl/actueel/nieuws/2014/06/mixen%20van%20drijfmest%20kan%20gevaar%20opleveren%20voor%20mens%20en%20dier>
- HazMatCat (www.hazmatcat.nl)
 - <http://www.hazmatcat.nl/html/mestgassen.html>
 - http://www.hazmatcat.nl/2013-12-15_Leidraad_veilig_werken_in_mestopslagen.pdf
- Mestgassen, laat je niet verrassen!
 - www.mestgassen.nl