



Emissies bij aanwending van vergiste mest

Een verkenning van internationale literatuur

Emissies bij aanwending van vergiste mest

Een verkenning van internationale literatuur

Thijs Bosker

Anton Kool

CLM

Culemborg, februari 2004

CLM 595 - 2004

Dit project is uitgevoerd in opdracht van NOVEM in het kader van het programma Reductie Overige Broeikasgassen dat gefinancierd wordt door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

NOVEM projectnummer: 0377-02-02-03-029 (4700003712)

ISBN: 90-5634-187-1

Voorwoord

CLM heeft in opdracht van NOVEM een bureaustudie uitgevoerd naar het verschil in emissie van overige broeikasgassen (methaan en lachgas) na aanwending van vergiste en onvergiste mest. Om een compleet beeld te krijgen van de milieueffecten zijn ook neveneffecten (ammoniakemissie, geuremissie en nitraatuitspoeling) bestudeerd.

Dit onderzoek is gebaseerd op uitkomsten van internationale onderzoeken. In dit rapport geven we aan of de daarmee verkregen inzichten ons voldoende informatie geven over emissies bij aanwending van vergiste mest in Nederland. Tenslotte hopen we dat dit rapport bijdraagt aan een verdere ontwikkeling van een duurzame toepassing van mestvergisting in de Nederlandse landbouw.

De auteurs

Culemborg, februari 2004

Inhoud

Voorwoord

Samenvatting

1 Inleiding	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Doel en onderzoeksvragen	2
1.3 Werkwijze	2
1.4 Hoofdstukwijzer	3
2 De eigenschappen van vergiste mest	5
2.1 Mesteigenschappen na vergisting	5
2.2 Mest na co-vergisting	6
2.3 Wat is goede mest?	6
3 De milieueffecten	9
3.1 Lachgasemissie na aanwending	10
3.1.1 Het effect van de mestsoort op de emissie van lachgas	11
3.1.2 Overige invloeden op de emissie van lachgas	12
3.2 Methaanemissie na aanwending	14
3.2.1 Het effect van mestsoort op de emissie van methaan	15
3.2.2 Overige invloeden op de emissie van methaan	15
3.3 Overige milieueffecten	16
3.3.1 Ammoniakemissie na aanwending	16
3.3.2 Geuremissie	17
3.3.3 Uitspoeling van nitraat	17
4 Verschillen in emissies tussen vergiste en onvergiste mest	19
4.1 Mestaanwending in de praktijk	19
4.1.1 Kenmerken van de huidige situatie	19
4.1.2 Aanwending van vergiste mest	21
4.2 Emissies in de praktijk	21
4.2.1 Lachgasemissie	21
4.2.2 Methaanemissie	28
4.2.3 Ammoniakemissie	28
4.2.4 Geuremissie	29
4.2.5 Nitraatuitspoeling	31
5 Conclusies en aanbevelingen	33
5.1 Conclusies	33
5.2 Aanbevelingen	35
Bronnen	37
Bijlage 1 Mesteigenschappen	39

Samenvatting

Rond mestvergisting bestaat een aantal vragen die onvoldoende onderbouwd beantwoord kunnen worden, waaronder de milieukundige effecten na aanwending van vergiste mest. Doel van dit onderzoek is om kennis over broeikasgasemissies (methaan en lachgas) in het buitenland te inventariseren en door te vertalen naar de Nederlandse situatie. Om een compleet beeld te krijgen zijn ook overige milieueffecten (ammoniakemissie, nitraatuitspoeling en geuremissie) en bedrijfsmatige aspecten meegenomen in het onderzoek.

Belangrijk bij de interpretatie van de beschreven resultaten in dit onderzoek is dat het aantal bronnen waarop dit onderzoek is gebaseerd beperkt is. Hierdoor dient voorzichtig te worden omgegaan met de resultaten. Kwantitatieve uitspraken over de verschillen tussen vergiste en onvergiste mest in emissies van broeikasgassen na aanwending kunnen we op basis van dit onderzoek dan ook niet doen. Wel geven we belangrijke kennislacunes aan.

Eigenschappen van vergiste mest

De gewijzigde samenstelling van vergiste mest t.o.v. onvergiste mest (tabel S1) is de basis voor verschillen in milieu effecten bij mestaanwending.

Tabel S1. Relatieve eigenschappen van vergiste en onvergiste mest

	Vergiste mest	Onvergiste mest
Droge stof	Laag	Hoog
NH ₄ ⁺	Hoog	Laag
Makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen (MAK)	Laag	Hoog
PH	Hoog	Laag

Lachgasemissie

Lachgas is een broeikasgas dat vrijkomt uit anaërobe omzettingsprocessen (nitrificatie en denitrificatie) in de bodem. De beschikbaarheid van minerale stikstof (nitraat en ammonium), makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen (MAK) en de aanwezigheid van anaërobe locaties in de bodem bepalen in welke mate deze processen en dus ook lachgasemissie plaatsvindt.

Indien de voorziening van MAK in de bodem limiterend is, geeft de hogere toediening van MAK in onvergiste mest (zie tabel S.1) meer lachgasemissie dan vergiste mest. Indien de voorziening van organische stof in de bodem niet limiterend is zal de toediening van meer minerale stikstof in vergiste mest een hogere lachgasemissie geven dan onvergiste mest.

Dit algemene beeld wordt onderschreven door resultaten van een beperkt aantal onderzoeken. Uit de studies is onvoldoende duidelijk wanneer de hoeveelheid MAK in de bodem limiterend dan wel niet limiterend is, waardoor we alleen voor uitersten in de Nederlandse situatie een inschatting geven van het effect van aanwending van vergiste i.p.v. onvergiste mest;

- Bij aanwending op bouwland op arme zandgrond zal vergiste mest minder lachgasemissie geven dan onvergiste mest.

- Bij aanwending op langdurig grasland op klei- of veengrond zal vergiste mest meer lachgasemissie geven dan onvergiste mest.

Een andere belangrijke factor die de lachgasemissie bij mestaanwending beïnvloedt is de aanwendingstechniek. Voor mest in het algemeen geldt dat het inbrengen van de mest in de bodem (d.m.v. injectie) een hogere lachgasemissie geeft. Een onderzoek waarin mestinjectie van vergiste mest op zowel bouw- als grasland meer lachgasemissie geeft t.o.v. bovengrondse technieken bevestigt dit.

Onderzoekresultaten over de interactie tussen het al dan niet vergisten van mest en de toepassingstechniek op de lachgasemissie zijn echter onbekend. Zodoende kunnen we geen algemene uitspraken doen over het effect van aanwending van vergiste mest i.p.v. onvergiste mest bij de in Nederland gebruikelijke aanwendingstechnieken.

Methaanemissie

Het merendeel van de totale methaanemissie ontstaat tijdens verteringsprocessen in dieren (voornamelijk herkauwers). De methaanemissie na aanwending van mest wordt over het algemeen als verwaarloosbaar verondersteld.

Methaan komt na mestaanwending vrij door emissie van opgelost methaan uit de mest en via methanogenese (anaërobe omzetting van vetzuren in methaan). Methaan is het hoofdproduct van mestvergisting en dus is het streven zoveel mogelijk methaan te produceren uit de mest en gecontroleerd op te vangen. Zodoende is in vergiste mest weinig tot geen methaan aanwezig en ook het basis-materiaal voor methanogenese is sterk verminderd. Hierdoor is de methaanemissie vanuit vergiste mest lager dan uit onvergiste mest.

Ammoniakemissie

Op basis van een hoger gehalte minerale stikstof en een hogere pH verwachten we een hogere ammoniakemissie bij aanwending van vergiste mest dan onvergiste mest, maar een eerste onderzoek hiernaar laat een tegenovergesteld beeld zien. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn dat door de lagere viscositeit vergiste mest sneller in de bodem wegzakte (in het onderzoek was de mest bovengronds toegediend), of dat tijdens het vergisten het meeste ureum en urinezuur gebruikt is in andere processen, waardoor na aanwending deze stoffen niet direct via omzetting leiden tot verhoogde ammoniak emissie.

Geuremissie

Stankoverlast wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door vluchtige vetzuren (bijvoorbeeld fenolen) en ammoniak. In verscheidene onderzoeken is aangetoond dat door de afbraak van vluchtige vetzuren tijdens het vergistingsproces de geuremissie vanuit deze componenten sterk vermindert wordt. Over de geuremissie van ammoniak is op basis van de beschikbare literatuurgegevens geen eenduidige uitspraak mogelijk.

Nitraatuitspoeling

Vergiste mest bevat voor planten meer direct opneembare stikstof in de vorm van ammonium en nitraat, waardoor met vergiste mest een nauwkeuriger bemesting kan worden uitgevoerd. De kans op overbemesting en daarmee nitraatuitspoeling is daardoor kleiner. Hierbij dient echter te worden opgemerkt dat bij aanwending van vergiste mest op het verkeerde tijdstip (buiten groeiseizoen of bij hevige regenval) of in te grote hoeveelheden deze stikstof zeer gemakkelijk uitspoelt.

Mestkwaliteit

De discussie rondom mestkwaliteit (en dan vooral de 'functies' van mest) kent vele invalshoeken en standpunten. Rekening moet worden gehouden met het effect van vergiste mest op bodemvruchtbaarheid op de lange termijn en op het bodemleven. Zowel bij agrariërs als onderzoekers komt dit in een steeds bredere belangstelling (bijv. onderzoek en werking effectieve micro-organismen). De vraag welke effecten vergiste mest in dit kader heeft, met de unieke verhouding tussen MAK (relatief laag) en minerale stikstof (relatief hoog), is dan ook relevant.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Het vergisten van mest is in Nederland een techniek in opkomst. Naast een klein aantal vergistingsinstallaties op onderzoek- en praktijkbedrijven is een toenemende belangstelling vanuit de praktijk merkbaar. In het buitenland wordt mestvergisting op veel grotere schaal toegepast dan in Nederland. In Duitsland zijn enkele honderden biogasinstallaties op bedrijfsniveau en Denemarken kent vele, vooral centrale, mestvergistingsinstallaties. Verder wordt vergisting vrij veel toegepast in Zwitserland en Oostenrijk. Recentelijk hebben Tijmensen e.a. (2003) marktontwikkelingen en beleid rond mestvergisting in enkele ons omringende landen in beeld gebracht.

De laatste jaren zijn in Nederland in diverse onderzoeken, veelal ondersteund vanuit het ROB-programma, economische perspectieven en milieutechnische aspecten onderzocht. Naast deskstudies vindt sinds kort ook onderzoek plaats aan vergisting in de praktijk op proefbedrijven (varkensproefbedrijf Sterksel en de melkveeproefbedrijven Nij Bosma Zathe en De Marke).

Bij het hier bovengenoemde onderzoek lopen onderzoekers op tegen vragen rond vergisting die onvoldoende beantwoord en onderbouwd kunnen worden. Eén van die punten betreft milieu- en landbouwkundige effecten van aanwending van vergiste mest. Daarbij spelen de volgende vragen:

- Wat is de emissie van (overige) broeikasgassen (met name lachgas, zie Oene-ma e.a. (2001)) bij aanwending van vergiste mest in vergelijking met normale mest?
- Wat zijn overige milieu effecten (bijv. emissie van ammoniak, uitspoeling van nitraat, geur) bij aanwending van vergiste mest in vergelijking met normale mest?
- Wat is de bemestende waarde van vergiste mest in vergelijking met normale mest?

Bezien vanuit de broeikasproblematiek is alleen de emissie van (overige) broeikasgassen van belang. Toch kan dat niet los worden gezien van overige milieueffecten en bedrijfsmatige aspecten. Voor overige milieueffecten kent de agrarische sector duidelijke doelstellingen (zoals ammoniak en nitraat) en de bemestende waarde is essentieel voor de bedrijfsvoering. Het is daarom van belang om bij beantwoording van de vraag wat de broeikasgasemissie is bij aanwending van vergiste mest rekening te houden met overige milieueffecten en bedrijfsmatige aspecten zoals bemestende waarde.

De ruime ervaringen die in het buitenland zijn opgedaan met vergisting en toepassing van vergiste mest kunnen een waardevolle kennisbron zijn voor bovengenoemde vragen. Daarbij dient wel opgemerkt te worden dat buitenlandse onderzoeksresultaten en ervaringen niet onvoorwaardelijk opgaan voor de Nederlandse situatie. Immers, omstandigheden zoals mestsamenvatting, techniek van aanwenden, bodemsoort, wel of niet toepassen van co-vergisten en welke producten worden co-vergist hebben invloed op zowel bedrijfsmatige aspecten als milieueffecten en deze omstandigheden kunnen aanzienlijk verschillen tussen landen.

In dit onderzoek brengen we kennis uit het buitenland over broeikasgasemissies bij aanwending van vergiste mest in kaart en vertalen dit door naar de Nederlandse situatie. Daarbij nemen we kennis over overige milieueffecten en bedrijfsmatige aspecten mee.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

De doelstelling van dit project is inventarisatie van buitenlandse kennis over broeikasgasemissies bij aanwending van vergiste mest en interpretatie van deze kennis voor de Nederlandse situatie.

De volgende onderzoeksvragen willen we beantwoorden:

- Welke kennis is in het buitenland beschikbaar over broeikasgasemissies bij aanwending van vergiste mest?
- Hoe kan deze buitenlandse kennis worden doorvertaald naar de Nederlandse situatie?
- Welke, concrete maatregelen kunnen gedefinieerd worden om reductie van overige broeikasgassen te bereiken bij het aanwenden van vergiste mest in Nederland?
- Wat zijn, na de inventarisatie, resterende vragen m.b.t. broeikasgasemissies bij aanwending van vergiste mest in de Nederlandse situatie en welke praktijkmetingen zijn nodig om deze vragen te beantwoorden?

Daarnaast proberen we kennis en inzicht te vergaren over de volgende vragen:

- Welke buitenlandse kennis is beschikbaar rond overige milieueffecten (zoals ammoniakemissie, nitraatuitspoeling en geur) bij aanwending van vergiste mest, hoe kunnen we dit doorvertalen naar de Nederlandse situatie, zijn er bepaalde interacties met broeikasgasemissies en resteren hier onbeantwoorde vragen die nader onderzocht dienen te worden?
- Hoe kan de kennisverspreiding rond dit onderwerp worden vormgegeven?

1.3 Werkwijze

Deze bureaustudie is gebaseerd op (inter)nationale bronnen. De gevonden kennis is afkomstig uit vier richtingen:

- Het actief benaderen van buitenlandse experts
- Informatie via het internet
- Publicaties in internationale wetenschappelijk tijdschriften
- Nederlandse onderzoeksgegevens.

Alle vier de zoekrichtingen zijn (met wisselend succes) gebruikt. Advies bij Nederlandse experts is in de loop van het project ingewonnen.

1.4 Hoofdstukwijzer

Om een duidelijk beeld te geven over de vergiste mest staan we in hoofdstuk 2 kort stil bij de eigenschappen van vergiste mest. In hoofdstuk 3 gaan we in op de emissie van lachgas (N_2O), methaan (CH_4), ammoniak (NH_3) en geur en de uitspoeling van nitraat (NO_3^-).

In hoofdstuk 4 bespreken we de verschillen in emissies tussen vergiste en onvergiste mest en maken we de vertaalslag naar de Nederlandse situatie. Hoofdstuk 5 bestaat uit de conclusies en aanbevelingen uit deze studie.

2 De eigenschappen van vergiste mest

Wijzigingen in de samenstelling van vergiste mest bepalen voor een belangrijk deel het (mogelijke) verschil in broeikasgasemissies en overige emissies tussen vergiste en onvergiste mest. Daarom behandelen we hier kort de belangrijkste verschillen van vergiste mest ten opzichte van onvergiste mest.

2.1 Mesteigenschappen na vergisting

De samenstelling van vergiste mest verschilt duidelijk voor verschillende kenmerken ten opzichte van onvergiste mest. In Bijlage I geven we een overzicht van de mesteigenschappen van vergiste en onvergiste mest uit verschillende (internationale) bronnen. In tabel 2.1 is deze tabel samengevat.

Tabel 2.1. Relatieve eigenschappen van vergiste en onvergiste mest op basis van internationale literatuur (uitgebreide gegevens zie Bijlage I)

	Vergiste mest	Onvergiste mest
Droge stof	Laag	Hoog
Totaal N, P, K	Gelijk	Gelijk
NH ₄ ⁺	Hoog	Laag
Makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen (MAK)	Laag	Hoog
pH	Hoog	Laag

Uit deze studies blijkt dat het droge stofgehalte na vergisting lager is dan voor vergisting, dit betekent dat de hoeveelheid waterige bestanddelen in de mest toeneemt.

Het totale N, P en K gehalte in de mest verandert niet of nauwelijks (gebaseerd op Birkmose (2000) en gegevens van proefbedrijf De Marke uit 2001). Echter, de hoeveelheid minerale stikstof neemt duidelijk toe door vergisting ten koste van organisch gebonden stikstof. De relatieve fractie van minerale N (t.o.v. totale N) was, voor zover bekend, in alle gevallen hoger bij vergiste mest.

Door de afbraak van koolstofverbindingen en het ontsnappen van CH₄ en CO₂ daalt de totale hoeveelheid C in de mest. De totale hoeveelheid N blijft gelijk. Dit betekent dat de C:N ratio lager wordt door vergisting. Echter, in het enige onderzoek waarbij de C:N ratio genoemd is (Velthof e.a. 2002) bleek de C:N ratio van vergiste mest juist hoger te zijn. Maar in dat onderzoek is het totale N gehalte fors gedaald in vergiste mest, dit in tegenstelling tot de algemene trend. Er wordt geen verklaring gegeven voor deze daling.

Tijdens het vergistingsproces neemt de pH toe. Dit heeft onder andere gevolgen voor de evenwichtsvergelijking tussen ammoniak en ammonium (paragraaf 3.3). Een laatste verschil is het lagere gehalte aan makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen (MAK) bij vergiste mest. Een goede methode om inzicht te krijgen in de hoeveelheid MAK in mest is via onderzoek naar de Biological Oxygen Demand (BOD) van een mestsoort. De BOD wordt uitgedrukt in gram zuurstof per kg mest.

Hoe hoger de BOD, hoe meer organisch materiaal aanwezig is dat makkelijk kan worden afgebroken (en dat dus ook kan worden gebuikt voor methanogenese). Bij relatief lage BOD gehalten, is een kleine hoeveelheid MAK in mest en relatief meer moeilijk afbreekbare organische koolstofverbindingen en anorganische complexen (CO_2 , HCO_3^- en CO_3^{-2}).

De BOD van vergiste mest is veel lager dan bij onvergiste mest (Wulf e.a. 2002a; Clemens & Huschka 2001). Tijdens de vergisting worden de vluchtige vetzuren (Volatile Fatty Acids; VFA's) en ander makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen afgebroken tot biogas. In een studie van Velthof e.a. (2002) was het gehalte aan VFA's in onvergiste mest bijna twee keer hoger dan in vergiste mest.

2.2 Mest na co-vergisting

Met co-vergisting worden naast mest andere organische producten mee vergist, om hogere biogasopbrengsten te realiseren en hiermee de installatie rendabeler te maken. In het buitenland wordt co-vergisting met veel succes toegepast, waarbij vaak 70 tot 80% mest wordt vergist met 20 tot 30% organisch afvalmateriaal. In Nederland komt co-vergisting voornamelijk niet van de grond, vanwege procedurele belemmeringen en omvangrijke wet- en regelgeving.

In de onderzochte literatuur is geen vergelijking gevonden tussen samenstelling en emissies van co-vergiste en vergiste (zonder co-vergisting) mest. In dit onderzoek besteden we daarom geen aandacht aan de effecten van co-vergiste mest op de emissie van broeikasgassen en overige milieu effecten. Inmiddels is op de praktijkcentra voor varkens (Sterksel) en voor melkvee De Marke een onderzoek gestart naar de effecten van co-vergisting op de mestsamenstelling na vergisting.

2.3 Wat is goede mest?

Alhoewel deze vraag buiten dit onderzoek valt willen we hem toch graag stellen; *Wat is goede mest?* Zijn dat mestsoorten waarbij bekend is wanneer de meststoffen vrijkomen voor de plant (bijv. kunstmest), zijn dat mestsoorten waarbij na bemesting weinig emissies naar het milieu worden verwacht, zijn dat mestsoorten die zowel de structuur en organische stof gehalte in de bodem verbeteren als meststoffen vrijgeven voor planten (stalmest)?

Het is van belang om stil te staan bij het doel van bemesting. Vraag een akkerbouwer wat hij van meststoffen verwacht, en hij geeft een ander antwoord dan een melkveehouder, die weer een ander antwoord zal geven dan een boomteler. Duidelijk is dat de eigenschappen van vergiste mest verschillen van onvergiste mest. Het hoge percentage minerale N zorgt dat meer stikstof direct kan worden opgenomen door de plant, waardoor een nauwkeurige bemesting kan worden uitgevoerd.

Het percentage makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen is lager geworden in vergiste mest, met als gevolg dat er minder energiebronnen beschikbaar zijn voor het bodemleven. Dit kan de lachgasemissie verlagen en bodemorganismen stimuleren de moeilijker afbreekbare fractie om te zetten, maar kan ook andere processen beperken. Ondanks een toename van inzicht in het functioneren van de bodem en erkenning van het belang van een gezonde bodem kunnen op dit soort vragen nog geen eenduidige antwoorden worden gegeven.

De discussie rondom mestkwaliteit (en dan vooral de 'functies' van mest) is eigenlijk nog maar net begonnen en zeker nog niet uitgekristalliseerd. Vooral effecten op het bodemleven staan in een steeds bredere belangstelling, zowel bij de agrariër (denk aan toevoegingen met bijvoorbeeld effectieve micro-organismen) als bij onderzoekers. Het meenemen van vergiste mest, met de vrij unieke verhouding moeilijk afbreekbare verbindingen en hoge Nmin-gehalten, in enkele onderzoeken kan hierbij mogelijk nieuwe inzichten bieden.

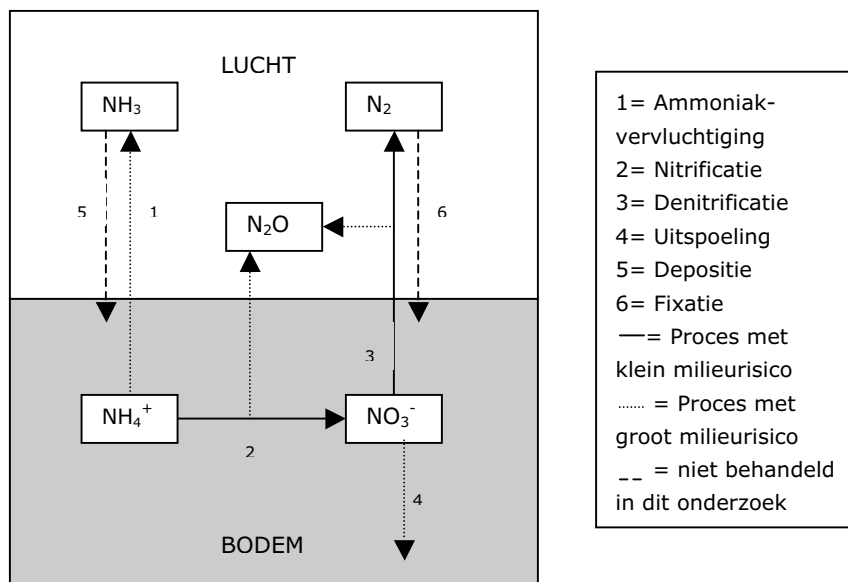
Tenslotte is het goed om in beschouwing te nemen dat vergisting van mest gecombineerd kan worden met andere mestbewerkingstechnieken om de waarde van mest te verbeteren en mogelijke nadelen weg te nemen (bijv. risico op hoog ammoniakemissie). Denk bijvoorbeeld aan een aërobe omzettingstap (bijv. compostering met toevoeging van stro) na vergisting.

3 De milieueffecten

In dit hoofdstuk behandelen we de emissie van lachgas (§3.1) en methaan (§3.2) na aanwending van mest. Om een compleet beeld te krijgen over milieu effecten na aanwending behandelen we ook kort de emissies van ammoniak (§3.3), geur (§3.4) en nitraat (3.5). We beschrijven eerst hoe de verschillende emissies ontstaan, waarna we het effect van mestsamenstelling op de emissie bespreken en tenslotte de overige factoren die van invloed zijn op de emissies.

Bij aanwending van mest is vooral broeikasgasemissie te verwachten in de vorm van lachgas, het aandeel van methaanemissie aan de totale uitstoot van broeikasgassen is zeer gering. Met de resultaten van methaanemissie na toediening van onvergiste mest van Wulf e.a. (2002b) kunnen we een kwantitatieve inschatting maken van de methaanemissie bij aanwending van onvergiste mest: 2,4-8,9 kg CO₂ eq/ha. In vergelijking met N₂O emissie uit onvergiste mest in datzelfde onderzoek is de emissie in CO₂-equivalenten gering: 48-86 kg CO₂ eq/ha. De methaanemissie is weliswaar een factor 10 lager, maar daarmee niet helemaal verwaarloosbaar.

Lachgasemissie is onlosmakelijk verbonden met ammoniakemissie en nitraatuitspoeling via de stikstofkringloop (versimpeld weergegeven in figuur 3.1).



Figuur 3.1. Versimpelde weergave van de stikstofkringloop tussen bodem en atmosfeer. Tijdens nitrificatie (2) en denitrificatie (3) kan lachgas ontstaan

De emissie van broeikasgassen in Nederland kan voor een aanzienlijk deel worden toegeschreven aan de landbouw (tabel 3.1). Vooral de emissie van de 'overige broeikasgassen' methaan en lachgas uit de landbouw levert een aanzienlijke bijdrage. Voor ammoniak is de landbouw met 91% veruit de belangrijkste bron (tabel 3.1).

Tabel 3.1. De emissie van de broeikasgassen (Mton CO₂- equivalenten) methaan, lachgas en kooldioxide en daarbij de ammoniakemissie (miljoen kg NH₃) voor Nederland en de bijdrage vanuit de landbouw in 2000 volgens het Milieucompendium (bron: Mol & Hilhorst (2003))

	Totale Broeikas-Gasemissie	Waarvan Methaan	Waarvan Lachgas	Waarvan Kooldioxide	Ammoniak
Nederland	224,5 [§]	20,7	15,5	182,6	152
Landbouw	23,0 (10%)	8,7 (42%)	7,2 (48%)	7,1 (3,9%)	139 (91%)

[§] Inclusief 5,7 Mton CO₂-equivalenten van overige gassen (volgens Olivier e.a. 2002)

3.1 Lachgasemissie na aanwending

Lachgas is een broeikasgas dat vrijkomt nadat dierlijke mest is uitgescheiden (dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld CO₂ en CH₄ die ook vrijkomen uit dieren). De emissie van lachgas op wereldschaal wordt geschat op 15 miljoen ton per jaar, met een geschatte bijdrage van 30% door de landbouw (Vos e.a. 1998). In Nederland is de uitstoot van lachgas in 2001 48 miljoen kg, waarvan 23 miljoen kg (= 48%) wordt veroorzaakt door de landbouw (CBS 2003).

Lachgas heeft per kg een broeikasgaswerking van 310 CO₂-equivalenten (op basis van de warmtevasthoudende werking). Dit resulteert in een bijdrage van 7,2 Mton CO₂-equivalenten (tabel 3.1) (schattingen variëren, andere bronnen geven 9 Mton CO₂-equivalenten uit de landbouw). De totale lachgasemissie na toediening van mest wordt geschat op ongeveer 3 Mton CO₂-equivalenten, wat neerkomt op 40% van de totale lachgasemissie vanuit de landbouw (tabel 3.2).

Tabel 3.2. Totale emissie van lachgas (Mton CO₂ equivalenten) door de landbouw en de bijdrage van enkele bronnen (absoluut en relatief) in 2000. (Aangepast uit; van Mol & Hilhorst (2003))

	Totaal	Stal en mestopslag	Beweiding	Mest toediening	Kunstmest gebruik
Lachgasemissie	7,56	0,19 (2%)	0,80 (11%)	3,01 (40%)	2,02 (27%)

Lachgas komt vrij in drie verschillende processen (een overzicht in Clemens & Ahlgrim 2001):

- Microbiële nitrificatie;
- Microbiële denitrificatie;
- Chemische denitrificatie.

De emissie vindt plaats door snelle nitrificatie (ammonium wordt via enkele tussenstappen omgezet tot nitraat) en denitrificatie (nitraat wordt via tussenstappen omgezet naar stikstofgas (N₂)). Dit wordt op gang gebracht door de aanwezigheid van

ammonium en/of nitraat en MAK (Velthof e.a. 2002; Clemens & Huschka 2001). Nitrificatie en denitrificatie zijn anaërobe processen. Het ontstaan van lachgas tijdens nitrificatie komt niet onder alle omstandigheden voor (Vos e.a. 1998). Denitrificatie blijkt dan ook in de meeste gronden een veel grotere bijdrage te leveren aan de lachgasemissie dan nitrificatie (Clemens & Huschka 2001).

3.1.1 Het effect van de mestsoort op de emissie van lachgas

Lachgasemissie na mestaanwending wordt voornamelijk bepaald door de aanwezigheid MAK en minerale N (ammonium en nitraat).

In Velthof e.a. (2002) blijkt dat bij toediening van verschillende meststoffen ook de lachgasemissie verschilt. De hoogste lachgasemissie kwam voor bij varkensmest, op afstand gevolgd door kunstmeststoffen, rundermest en kippenmest (tabel 3.3). Het opvallend hoge percentage lachgasemissie bij varkensmest en zeugenmest wordt door Velthof e.a. verklaard door het grote deel van organische stof in varkens- en zeugenmest dat gemakkelijk afbreekbaar is ten opzichte van bijvoorbeeld rundermest.

Tabel 3.3. Chemische samenstelling van verschillende mestsoorten en N₂O emissie na toediening aan de bodem

Mest	DS- gehalte g kg ⁻¹	Total N	NH ₄ -N g kg ⁻¹	Total C	N ₂ O emissie % van toegediende N
Zwavelzure ammoniak	-	-	-	-	4,0
Ammonium nitraat	-	-	-	-	2,1
Dunne rundermest	114	5,31	1,66	51	3,0
Dunne rundermest (bio)	106	3,74	1,33	44	1,8
Jongveemest	106	5,93	2,55	44	1,9
Dunne Varkensmest	19	2,46	1,47	7	7,3
Dunne Varkensmest (bio)	144	5,12	1,48	58	7,5
Zeugenmest	20	1,90	0,98	7	13,9
Leghennenmest	644	32,72	2,91	256	1,9
Vleeskuikenmest	699	51,60	3,98	255	0,5
Eendenmest	255	8,44	1,80	103	0,6

Bron: Velthof e.a. (2002)

De aanwezigheid van veel MAK stimuleert het bodemleven en daarmee de mineralisatie. Mineralisatie heeft twee gevolgen die van invloed zijn op lachgasemissie. Allereerst kunnen er door mineralisatie anoxische (zuurstofarme) locaties in de bodem ontstaan (Wulf e.a. 2002b). Anaërobe en anoxische locaties bevorderen denitrificatie, wat leidt tot de productie en emissie van lachgas (Clemens & Huschka 2001; Wulf e.a. 2002b). Ten tweede levert mineralisatie de bouwstenen van denitrificatie (nitraat) op, wat de lachgasemissie stimuleert (Velthof e.a. 2002). Minerale N in de vorm van nitraat en ammonium is de grondstof voor respectievelijk denitrificatie en nitrificatie. Indien er niet voldoende N in de bodem aanwezig is, kan denitrificatie en nitrificatie minder optreden, waardoor ook de lachgasemissie zal verminderen.

Welke van beide bepalend is voor de mate van lachgasemissie wordt voornamelijk bepaald door omstandigheden in de bodem. Clemens & Huschka (2001) hebben in een onderzoek onbehandelde mest vergeleken met dezelfde mest waarbij de

ammonium was verwijderd. Beide werden in een laboratoriumproef toegediend aan een bodem van lemig zand (1,1 mg N g⁻¹ grond en 11 mg C g⁻¹ grond).

Uit het experiment bleek dat de emissie bij de behandelde mest (zonder ammonium) niet-significant hoger is dan bij de onbehandelde mest. Dit zou betekenen dat onder deze omstandigheden ammonium niet limiterend is.

In hetzelfde onderzoek werd de onbehandelde mest vergeleken met dezelfde mest waarbij suiker was toegevoegd (een bron van MAK). Hierbij was de hoeveelheid ammonium gelijk, maar verschilde de hoeveelheid MAK. In dit geval was de lachgasemissie bij de behandelde mest hoger dan bij de onbehandelde mest. Hieruit kunnen we afleiden dat de hoeveelheid makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen onder deze omstandigheden de mate van lachgasemissie meer bepaalt dan de hoeveelheid minerale stikstof (ammonium/nitraat) in de mest. Dit kan worden verklaard door de lage hoeveelheid MAK in de bodem. Indien aan deze bodem mest wordt toegediend met een hoger gehalte makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen zal de lachgasemissie toenemen.

In het hierboven beschreven experiment is de MAK in de bodem limiterend. In de praktijk kan dit voorkomen bij bijvoorbeeld bouwland op zandgrond. Onder omstandigheden waar de hoeveelheid MAK in de bodem minder of niet limiterend is, zoals bijvoorbeeld in blijvend grasland op klei of veen, zal de hoeveelheid MAK in de mest een geringere invloed hebben op de lachgasemissie en bepaalt de hoeveelheid minerale N in de mest de lachgasemissie (Velthof persoonlijke communicatie).

3.1.2 Overige invloeden op de emissie van lachgas

Naast de samenstelling van mest spelen een aantal andere factoren ook een rol bij de emissie van lachgas uit de bodem:

- Bodemsoort;
- Toepassingstechniek;
- Waterhuishouding;
- Microbieel leven;
- Toepassingstijdstip.

Bodemsoort

De bodem heeft grote invloed op lachgasemissie. Naast de (in de vorige paragraaf beschreven) beschikbaarheid van MAK spelen nog twee andere bodemeigenschappen een rol. Enerzijds speelt de mineralisatie van organisch materiaal (met name in veenbodems) een rol. Hierbij ontstaan nitraat en ammonium, die gebruikt kunnen worden voor denitrificatie en nitrificatie. Anderzijds is de aanwezigheid van anaërobe locaties in de bodem van belang; bij een compacte bodem (fijne poriënstructuur zoals kleigrond) is de lachgasemissie daarom groter dan bij een minder compacte bodem (zand).

In zandgrond is weinig organisch materiaal en een relatief grove poriënstructuur, waardoor de emissie van lachgas relatief laag is. Op kleiige gronden is de poriënstructuur erg fijn. Op veen is de poriënstructuur redelijk fijn, maar is veel organisch materiaal aanwezig. Dit betekent dat op zandgrond de emissie lager is dan op kleiige grond (Kroes e.a. 2000; Clemens & Huschka 2001) en dat veen een hogere lachgasemissie geeft dan klei (Kroes e.a., 2002). Velthof e.a. (2002) vonden echter een verhoogde emissie van N₂O op zandgrond in vergelijking tot klei. De onderzoekers gaven hier geen verklaring voor.

Toepassingstechniek

De toepassingstechniek van mest op het veld heeft een duidelijke invloed op de lachgasemissie. Uit onderzoek blijkt dat injecteren een hogere emissie van lachgas geeft t.o.v. bovengronds aanwenden (tabel 3.4). Op kleiige grond is dit ongeveer een factor 4, op zandige grond is dit een factor 2.

Dit verschil is waarschijnlijk te verklaren doordat bij injectie van de mest in de bodem de kans op anaërobe en anoxische locaties verhoogd is, wat leidt tot een verhoogde denitrificatie en daardoor een hogere lachgasemissie (Wulf e.a. 2002b).

Tabel 3.4. Het effect van de toepassingsmethoden en bodemsoort op het verlies van lachgas en ammoniak uit mest (Aangepast van Chadwick e.a. 1999)

Bodemsoort	Toepassingsmethode	hoeveelheid M^3/ha^{-1}	N-content $Kg\ m^{-3}$	N_2O -N verlies %	NH_3 -N verlies %
Kleilig leem	Injectie	30	1.7	6.16	10.7
Kleilig leem	Bovengronds	30	1.7	1.96	71.8
Zandig leem	Injectie	34	2.0	0.1	1.4
Zandig leem	Bovengronds	32	2.0	0.05	31.9

Waterhuishouding

De waterhuishouding in de bodem zorgt voor grote verschillen in de emissie van lachgas. Voor klei- en zandgronden geldt: Hoe natter de bodem, hoe meer lachgasemissie (zie o.a. Granli & Bockman (1994); Clemens & Huschka (2001)), door meer anaërobe locaties. Voor veengronden geldt juist het omgekeerde, hoe hoger het grondwater, hoe minder lachgasemissie (van Dijk 2003; Velthof e.a. 2002; Kroes e.a. 2000). Dit verschil tussen grondsoorten in lachgasemissie is te verklaren door de mineralisatie in veen, die erg hoog is onder aërobe omstandigheden (laag grondwater) en de aanwezigheid van MAK. De aanwezigheid onder aërobe omstandigheden van ammonium en nitraat en MAK is zo goed, dat lachgasemissie hoger is dan onder anaërobe omstandigheden vanwege een hoog grondwaterniveau.

Microbieel leven

Een hoge microbiële activiteit in de bodem zorgt voor een toename in lachgasemissie. Door de hoge microbiële activiteit is de zuurstofvraag ook hoog, waardoor anaërobe locaties in de bodem ontstaan. Hier kan denitrificatie optreden. Daarnaast kan ook bij biologische mineralisatie lachgasemissie optreden.

De principes achter lachgasemissie en het effect van bodemmicrobiologie zijn echter nog grotendeels een "black box". Bekend is dat bij een verhoogde aanwezigheid van MAK de biologische activiteit hoger is in de bodem, wat kan leiden tot anaërobe locaties, of als mogelijke energiebron kan dienen voor denitrificerende micro-organismen.

Toepassingstijdstip

De laatste belangrijke factor die de emissie van lachgas bepaalt is het toepassings-tijdstip van mest. De lachgasemissie is in grote mate afhankelijk van microbiologische (de)nitricatie. Bij een hogere temperatuur is het microbiële bodemleven actiever dan bij een lagere temperatuur. Een voorjaarstoepassing vroeg in het seizoen (bij lage temperaturen) zal vaak tot minder emissie leiden dan een toepassing later in het seizoen. Andere factoren die mede de lachgasemissie bepalen zijn ook afhankelijk van het (toepassings)tijdstip. Vroeg in het voorjaar is de

grondwaterstand hoger dan later in het voorjaar en in de zomer. Op veengrond is het daardoor niet mogelijk om het land te betreden.

3.2 Methaanemissie na aanwending

Methaan wordt onder ongestoorde omstandigheden vastgelegd door de bodem (CH_4 -sink). Er zijn twee belangrijke redenen waarom een verstoring in dit proces kan optreden (Boeckx & Van Cleemput 2001); i) door het omvormen van ongestoorde grond (ongestoorde ecosystemen) naar landbouwgrond en ii) door bemesting met meststoffen die ammoniak bevatten.

Ammoniak verstoort de oxidatie van CH_4 en kan bij een verhoogde nitrificatie-activiteit zorgen dat methanotrophe (methaangebruikende) micro-organismen worden belemmerd in hun omzettingen.

In tegenstelling tot lachgas is methaan een broeikasgas dat voornamelijk vrijkomt tijdens verteringsprocessen in dieren (voornamelijk herkauwers) en uit excreta van dieren. Een goed overzichtsartikel hierover (en over mogelijkheden om deze vormen van emissie te minimaliseren) is geschreven door Clemens & Ahlgrimm (2001).

De emissie van een kilogram methaan is gelijk aan 21 CO_2 -equivalenten. De mondiale emissie van methaan wordt geschat op 590 miljoen ton per jaar, waarvan 40% is toe te schrijven aan de landbouw (Vos e.a. 1998). Hierbij neemt de uitstoot uit herkauwers een groot gedeelte in (13%). In Nederland was de emissie van methaan in 2001 973 miljoen kilogram, waarvan 413 miljoen kg (=42%) werd toegeschreven aan de landbouw (CBS 2003). Dit komt neer op 8,7 Mton CO_2 -equivalenten (tabel 3.1). Van de totale uitstoot van methaan uit de landbouw wordt 77% veroorzaakt door pensvergisting. De bijdrage van methaanemissie vanuit dierlijke mest *na aanwending* wordt als verwaarloosbaar ingeschat (tabel 3.5).

Na aanwending van de mest kan er een korte periode zijn waarbij er CH_4 emissie is, maar volgens Clemens & Ahlgrimm (2001) is deze CH_4 flush niet significant. Dit komt overeen met een onderzoek door Wulf e.a. (2002b), die na zodenbemesting van mest direct na toepassing een korte piek zien in CH_4 emissie, om vervolgens een bijna verwaarloosbare CH_4 emissie te meten.

Na het aanwenden van mest is emissie van methaan op twee manieren mogelijk; i) via het vrijkomen van opgelost CH_4 , wat was opgebouwd voor de aanwending van de mest en ii) via methanogenese (vorming van methaan in een bacterieel proces) in de bodem onder anaërobe omstandigheden waarbij vetzuren worden omgezet naar methaan (dit is ook het principe waarop het vergisten van mest op berust, waarbij de methaan opgevangen wordt om te dienen als energiebron (biogas)).

De hoeveelheden CH_4 die vrijkomen na aanwending van de mest zijn echter relatief klein vergeleken met de emissie van N_2O of NH_3 (Wulf e.a. 2002b; Clemens & Ahlgrimm 2001). Dit verklaart de geringe aandacht in onderzoek voor deze emissie, waardoor weinig informatie te vinden is over de emissie van CH_4 na aanwending van mest.

Tabel 3.5. Totale emissie van methaan (Mton CO_2 equivalenten) door de landbouw en de bijdrage van enkele bronnen (absoluut en relatief) in 2000. (Aangepast uit; van Mol & Hilhorst (2003))

	Totaal	Pensfermentatie	Mestopslag	Toediening
Methaanemissie	8,7	6,7 (77%)	1,9 (22%)	0 (0%)

3.2.1 Het effect van mestsoort op de emissie van methaan

Zoals gezegd zijn er twee mogelijkheden voor het vrijkomen van methaan na toepassing; door methaan dat al aanwezig is in de mest en door het vrijkomen van methaan via de omzetting van vetzuren door methanogene micro-organismen. Dit betekent dat mest met veel vetzuren, of met organische verbindingen die makkelijk kunnen worden omgezet naar vetzuren, veel basismateriaal heeft voor methanogene micro-organismen.

Varkensmest bevat over het algemeen meer MAK dan rundermest (zie ook tabel 2.1), waardoor CH₄ emissie vanuit varkensmest na aanwending waarschijnlijk hoger is dan bij rundermest.

Omdat methanogenese plaatsvindt onder anaërobe omstandigheden is daarnaast de viscositeit van mest mogelijk van belang. Dichte mest die niet makkelijk uit elkaar valt kan leiden tot veel anaërobe locaties en daardoor meer methanogenese. Ook kan de dikkere mest mogelijk langer de CH₄ in oplossing houden door een stabielere omgeving (minder snel uit elkaar vallen).

3.2.2 Overige invloeden op de emissie van methaan

Belangrijke factoren die de methaanemissie beïnvloeden na aanwending van mest zijn:

- Bodemsoort;
- Toepassingstechniek;
- Overige factoren.

Bodemsoort

In een bodem met een verhoogde kans op anaërobe omstandigheden is de methaanemissie over het algemeen ook groter. Een bodem opgebouwd uit fijn materiaal (bijvoorbeeld door een hoog klei gehalte (dichte poriënstructuur)) heeft over het algemeen een hogere methaanemissie dan grovere grond (met bijvoorbeeld veel zand) (Boeckx & Van Cleemput 2001), omdat bij gronden met een fijne bodemstructuur meer kans is op anaërobe condities, en daarom CH₄ productie.

Toepassingstechniek

Net als bij lachgasemissie is bij methaanemissie de toepassingstechniek van invloed op de emissie. Injecteren of het onderwerken van mest zorgt voor meer anaërobe locaties, waardoor de emissie van methaan toeneemt (Wulf e.a. 2002b). Op bouwland zijn verschillen gevonden van een factor 2 tussen bovengronds uitrijden en injecteren, op grasland zelfs een factor 4.

Overige factoren

Naast bovengenoemde factoren zijn ook de vochttoestand in de bodem, de pH in de bodem en de compactie van de bodem van belang voor de CH₄ emissie. Bij een vochtige bodem neemt het aantal anaërobe locaties toe en dat zorgt voor een toename van methanogenese (Wulf e.a. 2002b). Een zeer compacte bodem zorgt ook voor een verhoogde methanogenese.

3.3 Overige milieueffecten

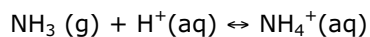
Vanwege het belang van nitraat en ammoniak in wet- en regelgeving worden deze milieueffecten kort behandeld in deze paragraaf. Daarnaast wordt ook gekeken naar geuremissie na aanwending van vergiste mest.

3.3.1 Ammoniakemissie na aanwending

Ammoniakemissie is een groot probleem bij de aanwending van mest. In Nederland wordt de ammoniakemissie in de jaren tachtig geschat op ongeveer 7,6 ton NH₃ per km² (Fangmeier e.a. 1994). Nederland is hiermee één van de koplopers op het gebied van ammoniak emissie. Van de Nederlandse ammoniakemissie kan 91% worden toegeschreven aan de landbouw (tabel 3.1).

Ammoniak is een vluchtig omzettingsproduct van stikstofverbindingen (Vos e.a. 1998) dat vooral problemen veroorzaakt door de bemestende waarde; ammoniakemissie zorgt voor eutrofiëring van oppervlaktewater en voor verzuring. Daarnaast komen door het vervluchtigen van ammoniak minder voedingsstoffen beschikbaar voor de plant.

Ammoniak ontstaat uit dierlijke mest, en in mindere mate uit stikstofkunstmest. Dierlijke mest kan worden opgedeeld in urine en feces. De urine bevat ureum en urinezuur, wat kan worden omgezet (door bacteriën) tot ammoniak. Bij dit proces zal de pH van de mest stijgen, waardoor meer ammoniak vervluchtigt. Dit komt omdat ammoniak in evenwicht is met ammonium:



Door een stijging van de pH (en dus een daling van het aantal H⁺ moleculen) verschuift het evenwicht naar links, waardoor meer ammoniak zal vervluchtigen. Indien dit in een afgesloten ruimte bevindt of in de bodem, dan zal het ammoniak niet kunnen vervluchtigen, maar zal er een evenwicht ontstaan, waardoor er geen verdere ammoniakemissie zal plaatsvinden. Hierbij is natuurlijk ook de bufferende werking van de bodem van belang.

Uit de feces en uit kunstmest is de vervluchtiging over het algemeen veel minder, maar onder sommige omstandigheden (lees hoge temperatuur, veel wind, een actief bodemleven) kan de ammoniakemissie oplopen.

Er is veel bekend over het effect van toepassingstechniek op de vervluchtiging van ammoniak uit mest. In Nederland moet mest emissiearm worden aangewend om de ammoniakemissie uit mest terug te dringen. Dit betekent in de bodem injecteren, tussen het gewas op de bodem brengen (zodebemesting) of op bouwland bovengronds aanwenden en direct onderwerken. Uit een studie van Chadwick e.a. (1999) (tabel 3.4) blijkt dat de ammoniakemissie op kleiig leem bij bovengronds uitrijden een factor 7 hoger is dan injecteren. In diezelfde studie bleek dat op zandig leem het verschil in ammoniakemissie tussen bovengronds uitrijden en injecteren een factor 22 kan zijn in het voordeel van injecteren van mest. Wulf e.a. (2002a) vonden in een experiment eenzelfde verschil; bij bovengronds uitrijden met een spatplaat was de ammoniakemissie het hoogst, gevolgd door de sleepvoet methode, de zodenbemesting en de injectie.

Indirect broeikaseffect

Indirecte lachgasemissies zijn emissies uit natuurgebieden en oppervlaktewater die het gevolg zijn van omzettingen van stikstofverbindingen die afkomstig zijn van NH₃, NO_x en NO₃⁻ en opgelost organische N uit de landbouw (Oenema e.a. 2001). De omvang van deze bijdragen is echter niet bekend. Sommige experts schatten dat een derde van alle lachgasemissie afkomstig is van indirecte lachgasemissie.

Deze getallen zijn echter nooit wetenschappelijk bewezen. Door het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wordt de indirecte broeikasgasemissie geschat op 1% van de geëmitteerde NH₃. Dit zou betekenen dat een hoge ammoniakemissie resulteert in een hoge indirecte lachgasemissie. Op basis van tabel 3.1 kan worden berekend dat de indirecte lachgasemissie in dat geval ongeveer 0,4 Mton CO₂-equivalenten bedraagt. In dit onderzoek besteden we verder geen aandacht aan indirecte lachgasemissies door ammoniakemissie.

3.3.2 Geuremissie

Stankoverlast door mestaanwending is een erkend probleem. Geuremissie van mest kan leiden tot hinder voor burgers of bewoners van een gebied.

Stankoverlast door mest wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door vluchtige vetzuren (bijvoorbeeld fenolen) (Tijmensens e.a. 2002). Vluchtige vetzuren zijn korte (cyclische) koolstofverbindingen die relatief makkelijk afbreekbaar zijn. De emissie van ammoniak kan ook leiden tot geuroverlast (Erisman 2000).

3.3.3 Uitspoeling van nitraat

De Nederlandse overheid en de Europese gemeenschap proberen via wet- en regelgeving de uitspoeling van nitraat naar het grondwater te minimaliseren. In Nederland is gekozen voor een systematiek waarbij gebruik wordt gemaakt van een mineralen balans op bedrijfsniveau, Minas (MINeralen Aangifte Systeem). Tijdens dit project is duidelijk geworden dat de Europese gemeenschap niet akkoord gaat met het Nederlandse mest- en mineralenbeleid, waardoor nog onduidelijkheid is over toekomstige wet- en regelgeving.

Feit blijft dat de uitspoeling van nitraat zorgt voor eutrofiëring van oppervlakte- en grondwater, en voor problemen bij het winnen van drinkwater. Nitraat ontstaat door nitrificatie, het proces waarbij ammonium in enkele tussenstappen wordt omgezet in nitraat. Ammonium en nitraat zijn beide opneembaar voor planten, maar bij een overmaat van beide kan nitraat uitspoelen.

4 Verschillen in emissies tussen vergiste en onvergiste mest

In dit hoofdstuk vertalen we de kennis uit hoofdstuk 3 waar mogelijk door naar de Nederlandse praktijksituatie. Dit doen we aan de hand van kenmerken van de Nederlandse praktijksituatie (4.1). In paragraaf 4.2 vergelijken we de meetresultaten van onderzoeken naar vergiste en onvergiste mest. Vervolgens combineren we dit met de kenmerken van de Nederlandse situatie maken we een inschatting van verschillen in emissies tussen vergiste en onvergiste mest na aanwending.

4.1 Mestaanwending in de praktijk

4.1.1 Kenmerken van de huidige situatie

Kenmerken van de Nederlandse praktijksituatie bij mestaanwending:

Mest

De grootste hoeveelheden dierlijke mest in Nederland zijn varkens- en rundermest, die beide goed geschikt zijn voor vergisting. Rundermest wordt voor het overgrote deel geproduceerd op grondgebonden melkveebedrijven, waardoor de mest op hetzelfde bedrijf wordt geproduceerd als aangewend. Varkensmest is onder te verdelen in vleesvarkens- en zeugenmest en komt meestal vrij op niet grondgebonden bedrijven, waardoor de mest wordt afgezet naar bedrijven met een vraag naar mest, zoals akkerbouwbedrijven. De gemiddelde samenstelling van mest is in tabel 4.1 weergegeven.

Tabel 4.1. De gemiddelde samenstelling (g/kg mest) van varkens- en rundermest (KWIN Veehouderij 2001)

	Droge stof (g/kg)	Org. stof (g/kg)	N totaal (g/kg)	N min (g/kg)	P2O5 (g/kg)	K2O (g/kg)
Dunne rundermest	90	66	4,9	2,6	1,8	6,8
Zeugenmest	55	35	4,2	2,5	3,0	4,3
Vleesvarkensmest	90	60	7,2	4,2	4,2	7,2

Bodem en grondgebruik

De bodemsoort bepaalt voor een belangrijk deel de emissies van overige broeikasgassen en is ook bepalend voor de manier van mestaanwending. De helft van de melkveehouderij is op zandgrond te vinden en een derde is gesitueerd op kleigrond (Reijneveld e.a. 2000). Akkerbouw vindt ook hoofdzakelijk plaats op klei- en zandgrond.

Het meest voorkomende grondgebruik op melkveehouderijbedrijven is grasland. Daarnaast wordt op veel melkveehouderijbedrijven snijmaïs geteeld (als teelt

vergelijkbaar met akkerbouwgewassen). Dit vindt vooral op zandgrond plaats, omdat het een gewas is dat goed bestand is tegen droogte. De meest geteelde gewassen op akkerbouwbedrijven zijn granen, aardappelen en suikerbieten.

Mestaanwending

De ammoniakwetgeving verplicht agrariërs in Nederland de mest emissiearm aan te wenden. Toegestane technieken zijn:

- mest- en zode-injectie: de mest wordt in de bodem van resp. bouwland en grasland geïnjecteerd.
- Zodebemesting: de mest wordt in een ondiepe sleuf tussen het gras aangebracht.
- Sleepvoetenmachine: de mest wordt op de bodem in stroken tussen het gras gelegd.
- Op bouwland mag de mest ook bovengronds worden aangewend indien het direct na aanwending wordt ondergewerkt.

De meest toegepaste technieken op grasland zijn zodebemesting en sleepvoetenmachine. Voor bouwland zijn het bovengronds aanwenden en direct onderwerken en de mestinjectie de meest toegepaste technieken.

Aanwending van mest op grasland is niet toegestaan tussen 1 september en 1 februari om nitraatuitspoeling in herfst en winter te voorkomen (Besluit Gebruik Meststoffen). Op klei- en veengronden gaat het verbod pas in op 16 september. Dit betekent dat vooral op grondgebonden bedrijven in de wintermaanden de mest moet worden opgeslagen. Bedrijven met een krappe opslagcapaciteit zullen direct na 1 februari mest gaan uitrijden. Mestaanwending op bouwland is in deze periode op klei- en veengrond wel toegestaan (niet op zandgrond).

In veel situaties bepaalt het gewas en grondsoort of de mest in het najaar wordt toegediend. Op kleigronden heeft de bodem in het voorjaar onvoldoende draagkracht voor aanwending van dierlijke mest. Na zaai en/of poten van het gewas is aanwending van dierlijke mest in veel gevallen technisch niet meer mogelijk. Daardoor kan de mest pas na de oogst van het gewas in het najaar worden toegediend. Onder druk van de mestwetgeving is ook de akkerbouwer genoodzaakt om steeds zuiniger om te gaan met de mineralen, waardoor steeds meer getracht wordt om de dierlijke mest in het voorjaar aan te wenden. Cijfers over verdeling van mestaanwending over voor- en najaar zijn echter niet bekend.



Foto 1 en 2: Emissie arme mestaanwending op bouwland (mestinjectie) en grasland (zode bemesting).

Waterhuishouding

De waterhuishouding is veelal gerelateerd aan de bodemsoort. Zandgronden hebben over het algemeen een goede ontwatering en lage grondwaterstand. Kleigronden hebben vaak een hogere grondwaterstand. Veengebodemsoorten hebben een hoge grondwaterstand.

4.1.2 Aanwending van vergiste mest

In de situatie dat vergiste mest wordt aangewend i.p.v. onvergiste mest is het aanmerkelijk dat van alle kenmerken rond mestaanwending alleen de mestsamenstelling wijzigt (hoofdstuk 2). Hierbij nemen we aan dat er geen eisen worden gesteld m.b.t. de aanwending van vergiste mest op basis van bijv. milieuaspecten. Overige kenmerken zoals waterhuishouding, bodemsoort en grondgebruik blijven bij aanwending van vergiste in plaats van onvergiste mest onveranderd. Vooralsnog gaan we ervan uit dat ook de aanwendingstechniek en -tijdstip ongewijzigd blijft, omdat deze aspecten voornamelijk bepaald worden door bodemsoort, gewas en regelgeving.

Vergiste mest heeft enkele voordelen t.o.v. onvergiste mest in de bedrijfsvoering van agrariërs. Allereerst geeft het hogere gehalte minerale stikstof in vergiste mest de mogelijkheid gericht te sturen op de behoefte van de plant. Doordat minerale stikstof makkelijker wordt opgenomen door de plant, neemt waarschijnlijk het stikstofverlies via uitspoeling af. Echter de hogere mobiliteit van stikstof in vergiste mest geeft juist ook meer kans op verliezen in de vorm van nitraatuitspoeling en ammoniakemissie bij toepassing op het verkeerde moment (bijvoorbeeld in het najaar bij een groot neerslagoverschot).

Een tweede belangrijk voordeel in de bedrijfsvoering is de lagere viscositeit van vergiste mest. Hierdoor is vergiste mest homogener en beter verpompbaar en geeft het minder kans op verstoppingen en korstvorming. Een laatste voordeel van vergiste mest is de verminderde stankoverlast ten opzichte van onvergiste mest. Vooral voor direct omwonenden rond een boerderij geeft dit voordelen.

4.2 Emissies in de praktijk

Een uitspraak over verschillen in emissie van vergiste en onvergiste mest na aanwending baseren we op de voorgaande hoofdstukken en paragraaf 4.1. Dit gebeurt in drie stappen. Allereerst wordt de *verwachting* uitgesproken over de verschillen tussen vergiste en onvergiste mest. Daarna wordt dit vergeleken met de *resultaten van (internationale) experimenten*. Tenslotte wordt er een doorvertaling gemaakt wat de *betekenis is voor de Nederlandse situatie*.

4.2.1 Lachgasemissie

Verwachting

Vergiste mest heeft meer minerale N en een lagere hoeveelheid MAK dan onvergiste mest. Een lagere hoeveelheid MAK remt nitrificatie en denitrificatie met een lagere lachgasemissie tot gevolg. Daarentegen stimuleert een hoger gehalte minerale N nitrificatie en denitrificatie met een hogere lachgasemissie tot gevolg. De mate waarin deze twee factoren limiterend zijn in een bepaalde situatie bepaalt welk effect het sterkst zal optreden.

Resultaten van experimenten

Het aantal wetenschappelijke onderzoeken waarin de lachgasemissie bij aanwending van vergiste en onvergiste mest wordt vergeleken valt tegen. Wij hebben drie concrete onderzoeken gevonden, twee uit Duitsland en één uit Nederland, wat onvoldoende is om een gefundeerde uitspraak te doen over het verschil in lachgasemissie tussen vergiste en onvergiste na aanwending. Op basis van deze literatuur kunnen we wel een eerste beeld vormen over hoe lachgasemissie hierdoor beïnvloed wordt.

In Clemens & Huschka (2001) is een vergelijking gemaakt tussen de toepassing van vergiste mest en onvergiste mest (in hetzelfde experiment dat beschreven is in § 3.1). Beide mestsoorten werden in een laboratoriumproef toegediend aan een bodem van lemig zand ($1,1 \text{ mg N g}^{-1}$ grond en 11 mg C g^{-1} grond). De vergiste mest had een lagere hoeveelheid MAK (zie tabel 4.2; BOD) dan de onvergiste mest. Na toediening aan de bodem was de lachgasemissie significant lager (ruim 80%) bij de vergiste mest ten opzichte van de onvergiste mest. Mogelijke verklaring is de aanwezigheid van relatief weinig MAK in de bodem, waardoor de aanwezigheid van MAK in de mest bepalend is voor de omvang van de lachgasemissie; hoe hoger de hoeveelheid MAK in de mest hoe hoger de lachgasemissie. In het experiment werd een positieve correlatie gevonden tussen de lachgasemissie en de BOD van mest. Wulf e.a. (2002b) hebben de aanwending van vergiste en onvergiste mest vergeleken op zowel grasland als bouwland. De aanwezigheid van opgelost organische koolstof in de bodem was hoger bij grasland dan bij bouwland (137 mg kg^{-1} bij grasland, ten opzichte van 38 mg kg^{-1} op het bouwland). Het gehalte MAK in de vergiste mest was lager dan in de onvergiste mest, terwijl het gehalte aan minerale N hoger lag (tabel 4.2). Dit is zoals verwacht. De mest werd op het gras- en bouwland aangewend met een sleepslangtechniek, waarbij de slangen, waaruit de mest stroomt, op 30 cm afstand over de bodem en/of (deels)over het gewas slepen. Na aanwending was op grasland de lachgasemissie (niet-significant) hoger voor vergiste mest. De meest waarschijnlijke verklaring voor deze hogere lachgasemissie is de aanwezigheid van relatief veel MAK in de graslandbodem. Hierdoor is de hoeveelheid MAK niet limiterend als energiebron voor het bodemleven, maar de aanwezigheid van minerale N. Door het hogere gehalte minerale N in vergiste mest, geeft deze mestsoort op grasland meer lachgasemissie dan onvergiste mest. Met de kanttekening dat dit verschil niet significant is, onderbouwt dit experiment de hypothese dat in situaties met een niet-limiterende hoeveelheid MAK (bijv. graslandbodems) de lachgasemissie hoger is na aanwending van vergiste t.o.v. onvergiste mest.

Op bouwland vonden Wulf e.a. (2002b) vrijwel geen verschil in lachgasemissie tussen vergiste en onvergiste mest. In de bouwlandbodem is minder opgeloste organische koolstof aanwezig dan bij grasland, waardoor waarschijnlijk ook de hoeveelheid MAK in de bodem beperkter is. Toch geeft de onvergiste mest met een hoger gehalte makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen niet meer lachgasemissie. Wellicht was in het experiment zowel de minerale N als de MAK niet limiterend voor de lachgasemissie, waardoor er geen duidelijk verschil was in lachgasemissie tussen vergiste en onvergiste mest.

Wulf e.a. (2002b) verklaren het verschil in lachgasemissie tussen vergiste en onvergiste mest op grasland en bouwland aan de hand van de viscositeit van de mest. Doordat vergiste mest een lagere viscositeit heeft dan onvergiste mest (uitgedrukt in droge stof percentage) zal deze bij bovengronds aanwenden met de sleepslangtechniek sneller in de bodem zakken, wat leidt tot meer anaërobe locaties en dus tot verhoogde lachgasemissie. De dikkere onvergiste mest bleef bij grasland op of tussen het gras achter, terwijl dit niet het geval was op bouwland.

Mogelijk heeft de viscositeit bijgedragen aan het verschil in lachgasemissie, waarschijnlijker is echter het verschil in aanwezigheid van MAK in grasland en bouwland. Velthof e.a. (2002) hebben in een incubatiestudie het effect van vergisting van 10 verschillende varkensmesten op mestsamenvorming en N₂O-emissie bepaald. Opvallend is dat het totale gehalte aan stikstof in vergiste mest $\pm 1/3$ lager is dan bij onvergiste mest. Dit komt niet overeen met de standaard aannames over mestvergisting, waarbij wordt aangenomen dat het gehalte aan totale stikstof bij vergisting gelijk blijft. In andere resultaten zien we een gelijkblijvend of geringer dalend N-totaal gehalte. Wel is bij het onderzoek van Velthof e.a. zoals verwacht de fractie N-mineraal van de N-totaal toegenomen door vergisting: van 59 naar 65 %.

Velthof e.a. (2002) vonden in de meeste gevallen bij vergiste mest een lagere lachgasemissie. Dit is geen eenduidig effect want zij constateren verschillen tussen zand- en kleigrond. Op kleigrond gaf de vergiste mest in 3 van de 10 gevallen juist een hogere lachgasemissie dan onvergiste mest. Op zandgrond was dit slechts bij één van de tien mesten het geval. Mogelijke verklaring hiervoor is dat in kleibodem een hoger percentage organische stof aanwezig is, waardoor er meer kans is op lachgasemissie door aanwending van vergiste i.p.v. onvergiste mest. Met deze resultaten beredeneren Velthof e.a. (2002) dat het aannemelijk is dat de kans op reductie van lachgasemissie door de inzet van vergiste mest op bouwland (geringe hoeveelheid organische stof) groter is dan op grasland (grote hoeveelheid organische stof). De resultaten van dit onderzoek geven geen eenduidig beeld van de interactie tussen bodem en lachgasemissie maar geven wel aan dat deze interactie bestaat.

Op basis van de uitgevoerde wetenschappelijke onderzoeken van Wulf e.a. (2002b), Clemens & Huschka (2001) en Velthof e.a. (2002) is tabel 4.2 opgesteld met de gevonden N₂O-emissies voor vergiste en onvergiste mest na toediening. Om de reductie in lachgasemissie bij aanwending van vergiste mest ten opzichte van onvergiste mest inzichtelijk te maken hebben we een reductiefactor berekend die de verhouding geeft tussen lachgasemissie van vergiste en onvergiste mest. Is de factor lager dan 1, dan is de lachgasemissie lager voor vergiste mest t.o.v. onvergiste mest, is de factor hoger dan 1, dan geldt het omgekeerde. Verder is bij alle onderzoeken de range aangegeven in de reductiefactor (gebaseerd op de standaard afwijking of de werkelijk uitgevoerde metingen). Tussen de onderzoeken is grote variatie in de reductiefactor; van 0,2 (de laagste reductiefactor uit het onderzoek van Clemens & Huschka (2001)) tot 1,9 (de hoogste reductiefactor gevonden voor het bovengronds toediening van mest op grasland in Wulf e.a. (2002b)). Deze range geeft het verschil *tussen* de onderzoeken en niet *binnen* de onderzoeken. Verschillen tussen onderzoeken kunnen worden verklaard door de eigenschappen van de bodem (aanwezigheid van MAK) en de mestsamenvorming (hoeveelheid MAK en minerale N in de mest). Verschillen tussen onderzoeksomstandigheden maken dat resultaten van de verschillende onderzoeken onvoldoende vergelijkbaar zijn, waardoor op basis van de reductiefactoren geen algemene uitspraak kan worden gedaan over de kwantitatieve gevolgen op de lachgasemissie bij aanwending van vergiste i.p.v. onvergiste mest. Over het effect van bodemsoort (veen, klei of zand) zijn geen resultaten gevonden.

Het effect van de toedieningstechniek op lachgasemissie bij vergiste mest is vergeleken door Wulf e.a. (2002b). Op bouwland werd de mest toegediend via:

- Bovengronds breedwerpig uitrijden,
- Mestinjectie,
- Sleepslangtechniek,
- Sleepslangtechniek, direct gevolgd door onderwerken van de mest.

Op grasland werd de mest toegediend via:

- Bovengronds uitrijden,
- Zode-injectie,
- Sleepslangtechniek,
- Sleepvoetenmachine.

Zoals verwacht was de lachgasemissie het hoogst bij het injecteren van mest, zowel op bouwland als grasland. Bij het toedienen van mest via injectie is een grotere kans op anaërobe locaties, wat kan leiden tot denitrificatie en daarmee lachgasemissie. Bij de overige toepassingstechnieken traden geen significante verschillen op.

Wulf e.a. (2002b) hebben bij de verschillende toedieningstechnieken niet het verschil in lachgasemissie tussen vergiste en onvergiste mest bestudeerd. Een uitspraak over het verschil in reductie van emissie tussen vergiste en onvergiste mest in relatie tot de toedieningstechniek is daarom niet mogelijk.

Lachgas komt na aanwending over een bepaald tijdstraject vrij. Wellicht zijn er verschillen tussen vergiste en onvergiste mest in de snelheid en periode van vrijkomen van lachgas na mestaanwending.

Een interessante hypothese is of de onvergiste mest op langere termijn meer lachgasemissie geeft dan vergiste mest door het hogere gehalte organische stof en organisch gebonden N dat pas op langere termijn beschikbaar komt voor het bodemleven. Zowel Wulf e.a. en Clemens & Huschka (2001) hebben slechts een beperkte periode gemeten. Wulf e.a. (2002) hebben over een periode van 7 weken gemeten, Clemens & Huschka (2001) hebben een kortere meetperiode van ruim 8 dagen gehanteerd. Velthof e.a. (2002) geven niet aan hoelang zij gemeten hebben. Deze hypothese kunnen we dan ook op basis van deze onderzoeken niet weerleggen of onderbouwen. Toetsing van deze hypothese verdient daarom in een eventueel vervolgonderzoek ook enige aandacht.

Betekenis voor de Nederlandse situatie

Uit de (summier beschikbare) onderzoeksgegevens kunnen met beperkte onderbouwing enkele conclusies worden getrokken die van belang zijn voor de Nederlandse situatie. Van belang voor de lachgasemissie is de aanwezigheid van makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen en minerale N in de mest en de hoeveelheid MAK in de bodem. Indien de hoeveelheid MAK in de bodem limiterend is, dan zal de hoeveelheid MAK in de mest de lachgasemissie bepalen. Indien de hoeveelheid MAK in de bodem hoog en daarmee niet limiterend is, zal de hoeveelheid minerale N in de mest bepalend zijn.

De vraag is dan welke bodems gecombineerd met welk grondgebruik in Nederland een limiterende of juist niet limiterende hoeveelheid MAK hebben. Bodems waarvan met zekerheid kan worden gezegd dat die een ruime hoeveelheid (niet limiterend) MAK bevatten zijn veen- en kleigronden met langdurig grasland. Deze gronden bevatten van nature relatief veel organische stof en door de langdurige teelt van grasland heeft zich veel organische stof in de bodem kunnen opbouwen.

Bodems waarvan met zekerheid kan worden gezegd dat die een limiterende hoeveelheid MAK bevatten zijn arme zandgronden met bouwland. Deze gronden bevatten weinig organische stof en door de wisselteelt met bouwland kan weinig of geen organische stof worden opgebouwd.

Tussen deze twee uitersten zitten echter vele combinaties van grondsoorten en teelten waarvoor minder duidelijk is wat de beschikbaarheid van opgeloste organische koolstofverbindingen in de bodem is. Bijvoorbeeld grasland op zandgronden en akkerbouw op kleigronden. Voor deze gronden met die teelten kunnen we op

basis van deze kennis onvoldoende inschatten wat het effect is van aanwending van vergiste t.o.v. onvergiste mest op de lachgasemissie.

In Nederland zijn op bouwland bovengronds aanwenden gecombineerd met direct onderwerken en mestinjectie de meest gebruikte mestaanwendingstechnieken, op grasland zijn dit zodebemesting en de sleepvoetenmachine.

Uit het onderzoek van Wulf e.a. (2002b) blijkt dat injectie t.o.v. de meer bovengrondse technieken op zowel bouw- als grasland een duidelijk hogere lachgasemissie geeft. Tussen de andere onderzochte technieken zijn geen duidelijke verschillen gemeten.

Over het algemeen kunnen we dus aangeven dat het voor wat betreft de reductie van lachgasemissie wenselijk is om de mest zo oppervlakkig mogelijk aan te wenden. Dit wordt natuurlijk beperkt door de ammoniakwetgeving. Concreet betekent dit dat om de lachgasemissie te beperken de nu nog toegepaste mestinjectie op bouwland beter vervangen kan worden door het bovengronds aanwenden in combinatie met direct onderwerken. Dit geeft echter wel een verhoging van de ammoniakemissie van 9,0 naar 19,7% (%N dat ontsnapt als NH₃ van de toegediende minerale N) (Huijsmans e.a. 1997 en 1998).

Op grasland wordt in de praktijk vrijwel geen mestinjectie meer toegepast maar meer bovengrondse technieken als sleepvoetenmachine of zodebemesting. Het reduceren van de lachgasemissie door niet meer uitvoeren van injectie is hier dus niet meer relevant. We kunnen verder geen vergelijking maken in lachgasemissie tussen zodebemesting en de sleepvoetenmachine omdat Wulf e.a. (2002b) geen aanwendingstechniek hebben onderzocht die vergelijkbaar is met zodebemesting.

Tabel 4.2. Reductiefactoren voor lachgasemissie van vergiste mest ten opzichte van onvergiste mest uit verschillende onderzoeken

Bron	Mestsoort*	Co-vergisting	Gewas	Toedieningstechniek ^{&}	BOD	Ntotaal	Nmin	Gemiddelde N ₂ O-emissie ²	Standaard afwijking	Reductiefactor vergiste mest	Range [§]
	-	-	-	-	g O ₂ l ⁻¹ mest	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g N ₂ O ha ⁻¹	g N ₂ O ha ⁻¹	-	-
Wulf e.a. (2002b)	RM Vergist	OHM [#]	Grasland	ST (30)	3	3,8	2,2	300	235	1,9	0,2-17
	RM Onvergist	-	Grasland	ST (27)	21	4,3	1,6	155	125		
	RM Vergist	OHM	Akkerland	ST (30)	3	3,8	2,2	250	95	0,9	0,4-1,8
	RM Onvergist	-	Akkerland	ST (27)	21	4,3	1,6	280	95		
Clemens & Huschka (2001)	RM Vergist	-	Potproef 1	B (30)	1,2	-	1,27	13	7	0,2	0,05-0,6
	RM Onvergist	-	Potproef 1	B (30)	6,8	-	1,23	75	44		
	RM Vergist	-	Potproef 2	B (30)	1,2	-	0,04	19	19	0,2	0-0,5
	RM Onvergist	-	Potproef 2	B (30)	7,0	-	0,07	105	31		
Velthof e.a. (2002)	VM vergist	-	Zandgrond	?	1,6 ^f	3,7	2,4 [∞]	-	-	0,7	0,4-1,3
	VM onvergist	-	Zandgrond	?	3,0 ^f	5,5	3,3 [∞]	-	-		
	VM vergist	-	Kleigrond	?	1,6 ^f	3,7	2,4 [∞]	-	-	0,8	0,4-1,5
	VM onvergist	-	Kleigrond	?	3,0 ^f	5,5	3,3 [∞]	-	-		

* RM RunderMest; VM VarkensMest

[&] ST SleepslangTechniek; B Bovengronds; tussen haakjes hoeveelheid toegediende mest (m³/ha)

[§] Gebaseerd op de standaardafwijking

[#] Organische Huishoudelijk Materiaal

^f Bij deze bron is bij DOB gewerkt met Vluchtigevetzuren (g C kg⁻¹)

[∞] Bij deze bron staat het gehalte Nmineraal (g kg⁻¹)

²Significante verschillen: Wulf e.a. (2002b) alleen de eerste twee weken van de metingen op grasland en bouwland (totale meetperiode 7 weken). Bij Clemens & Hutschka alleen significante verschillen bij *Potproef 2* (totale meetperiode 8,25 dagen). Bij Velthof e.a. (2002) onbekend.

Tabel 4.3. Reductiefactoren voor methaanemissie van vergiste mest ten opzichte van onvergiste mest uit verschillende onderzoeken

Bron	Mestsoort*	Co-vergisting	Gewas	Toedie- ningtech- niek ^{&}	BOD	Ntotaal	Nmin	Gemiddelde CH ₄ -emissie ^Ω	Standaard afwijking	Reductiefactor vergiste mest	Range [§]
	-	-	-	-	g O ₂ l ⁻¹ mest	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g CH ₄ ha ⁻¹	g CH ₄ ha ⁻¹	-	-
Wulf e.a. (2002b)	RM Vergist	OHM [#]	Grasland	ST	3	3,8	2,2	128	60	0,4	0,2-0,7
	RM Onvergist	-	Grasland	ST	21	4,3	1,6	425	85		
	RM Vergist	OHM	Akkerland	ST	3	3,8	2,2	56	47	0,5	0,07-1,1
	RM Onvergist	-	Akkerland	ST	21	4,3	1,6	112	17		

* RM RunderMest

& ST SleepslangTechniek

§ Gebaseerd op de standaardafwijking

Organische Huishoudelijk Materiaal

Ω Significante verschillen: Wulf e.a. (2002b) niet bekend

4.2.2 Methaanemissie

Verwachting

Algemeen wordt aangenomen dat de emissie van methaan na mestaanwending verwaarloosbaar is. Dit geldt in nog sterkere mate voor vergiste mest door de afwezigheid van opgelost methaan en een lager gehalte makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen.

De reductie van methaan in Mton CO₂ equivalenten door toediening van vergiste i.p.v. onvergiste mest is verwaarloosbaar ten opzichte van lachgasemissie bij mestaanwending en methaanemissie door respiratie van herkauwers.

Resultaten van experimenten

Het enige bij ons bekende onderzoek over verschillen in methaanemissie tussen vergiste en onvergiste mest na aanwending is dat van Wulf e.a. (2002b). Op basis van het onderzoek kan een reductiefactor voor methaanemissie van vergiste mest ten opzichte van onvergiste mest worden berekend van 0,4 en 0,5 voor resp. akkerland en grasland (tabel 4.3). De reden voor de lagere methaanemissie is dat methaan bij mestvergisting wordt weggevangen in de biogasreactor, waardoor methaan grotendeels is verdwenen uit vergiste mest. Daarnaast is de methaanproductie lager door een verminderde hoeveelheid energiebronnen (MAK voor de methanogene organismen makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen) voor de methaanemissie (dit is immers al gebruikt in de biogasinstallatie).

Betekenis voor de Nederlandse situatie

De methaanemissie bij aanwending van mest is verwaarloosbaar in vergelijking met andere emissies zoals lachgas en ammoniak. Desalniettemin is het aannemelijk dat vergiste mest minder methaanemissie geeft vanwege een lagere hoeveelheid makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen in de mest. Dit komt overeen met een studie van Wulf e.a. (2002b). In hun onderzoek blijkt dat methaanemissie vanuit vergiste mest lager is dan methaanemissie uit onvergiste mest (een factor 2 op bouwland, en zelfs een factor 3 op grasland).

4.2.3 Ammoniakemissie

Verwachting

Bij vergiste mest wordt onbehandelde mest onder anaërobe en afgesloten omstandigheden bewaard. De methaan wordt uit de mest gefilterd, maar het ammoniak blijft in de mestvergister aanwezig. Hierdoor ontstaat een evenwicht tussen de ammoniak in de lucht, en de ammonium in de mest (afhankelijk van de pH). Vergiste mest heeft een hoge pH en een hoge concentratie ammonium in vergelijking tot onvergiste mest. De verwachting is dat daardoor de ammoniakemissie na toediening van vergiste mest hoger is dan na toediening van onvergiste mest.

Resultaten van experimenten

Eén van de weinige onderzoeken die tot nu toe is uitgevoerd om het verschil tussen ammoniakemissie na aanwending tussen vergiste en onvergiste mest te bepalen is gedaan door Wulf e.a. (2002a).

Opvallenderwijs vond hij bij aanwending met de sleepslangtechniek van vergiste en onvergiste mest op bouwland en grasland in beide gevallen een hogere emissie van ammoniak uit de onvergiste mest (althoewel niet significant), terwijl op basis van de mesteigenschappen (tabel 4.4) een tegenovergesteld uitkomst werd verwacht. Wulf e.a. (2002a) geven als verklaring het verschil in viscositeit tussen de vergiste en onvergiste mest. Vergiste mest is veel vloeibaarder dan de onvergiste mest,

waardoor het mogelijk sneller in de bodem verdwijnt, en daarmee de vervluchtiging van ammoniak wordt beperkt.

Tabel 4.4. Chemische en fysische eigenschappen van co-vergiste runderdrijfmest¹ en onvergiste runderdrijfmest

	Co-vergiste mest	Onvergiste mest
Droge stof gehalte (g kg ⁻¹)	4,8	8,1
Total N (g kg ⁻¹)	3,8	4,3
NH ₄ ⁺ -N (g kg ⁻¹)	2,2	1,6
COD ² , (g O ₂ kg ⁻¹)	41	111
BOD ³ , (g O ₂ kg ⁻¹)	3	21
pH	8,9	7,6

¹ Co-vergiste mest (70% runderdrijfmest (zelfde als onvergiste mest) en 30% bioafval (organisch huishoudelijk afval))

² Onderdelen die kunnen worden geoxideerd door chemische processen

³ Onderdelen die kunnen worden geoxideerd door biologische processen

Bron: Wulf e.a. (2002a)

Betekenis voor de Nederlandse situatie

Het hierboven beschreven onderzoek laat een lagere (niet significante) ammoniakemissie zien bij aanwending van vergiste mest t.o.v. onvergiste mest. Dit is tegen de verwachting dat vergiste mest meer ammoniakemissie zou geven bij aanwending dan onvergiste mest. Een verklaring is mogelijk de hogere viscositeit van vergiste mest. Deze resultaten zijn gevonden bij aanwending met een sleep-slangtechniek. Onderzoeksgegevens bij aanwending met overige technieken (zoals mestinjectie) ontbreken. Op basis van dit ene onderzoek kunnen we geen algemene uitspraak doen over de te verwachten ammoniakemissie bij aanwending van vergiste mest t.o.v. onvergiste mest onder Nederlandse omstandigheden. Maar het geeft aan dat het niet onomstotelijk vast staat dat vergiste mest meer ammoniakemissie zal geven bij aanwending dan onvergiste mest.

4.2.4 Geuremissie

Verwachting

Stankoverlast door mest wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door vluchtige vetzuren. Vluchtige vetzuren, inclusief de stankveroorzakende koolstofverbindingen, worden afgebroken tijdens de anaërobe vergisting van mest (tabel 4.5), waardoor de geuremissie ook lager zal zijn.

Tabel 4.5. Gehalten aan stankveroorzakende stoffen bij verse varkensmest en na 20 dagen vergisten bij 30°C in mg l⁻¹

Stankveroorzakende verbinding:	Verse (onvergiste) mest ¹	Vergiste mest ¹	Geurdrempel waarde ²
fenol	24,6	1,1	0,0002
p-cresol	103,3	0,8	0,00001
4-ethyl phenol	25,4	1,0	-
indol	0,9	0,2	-
skatol	8,7	3,4	-

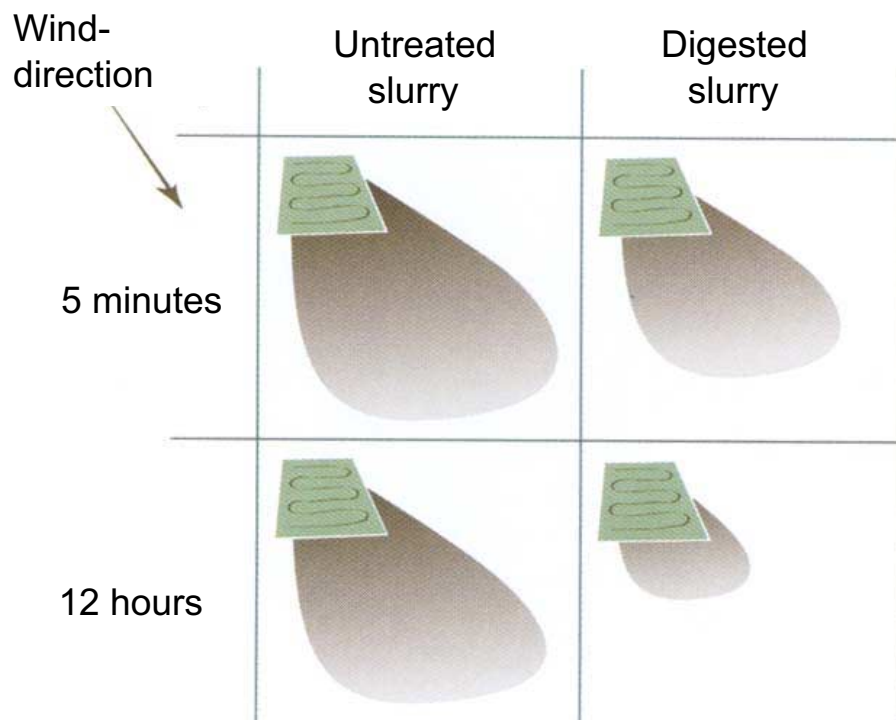
¹Bron: Van Velsen (1981)

²Bron: vastgesteld in ventilatielucht van varkensstallen: Schaefer (1973)

Resultaten van experimenten

Uit onderzoek van het Deense ministerie van landbouw is gebleken dat de geuroverlast van mest na aanwending veel lager is bij vergiste mest dan bij onvergiste mest. Vijf minuten na aanwending is er al een verschil in geuroverlast tussen vergiste mest en onvergiste mest. Na 12 uur is dit verschil nog verder vergroot. In figuur 4.1 is dit schematisch weergegeven. De stankoverlast van untreated slurry (onvergiste mest) wordt vergeleken met de digested slurry (vergiste mest) na 5 minuten en 12 uur. Het groene vlak linksboven is het perceel waarop mest is toegediend. Het grijze vlak is het gebied waarin stankoverlast optreedt. Bij de vergiste mest is de stankoverlast na zowel 5 minuten als 12 uur na toediening kleiner dan bij de onvergiste mest.

In een ander onderzoek van Van Velsen (1981) is aangetoond dat de gehalten aan stankveroorzakende stoffen in varkensmest door vergisten sterk afnemen (tabel 4.5). Onderzoek van Harreveld (1981) onderschrijft dit resultaat.



Figuur 4.1. Verschil in geuroverlast van vergiste mest (digested slurry) en onvergiste mest (untreated slurry) na vijf minuten en 12 uur na toediening van de mest. Het groene vlak linksboven geeft schematisch het perceel weer waarop mest is uitgereden. Het grijze vlak is het gebied waarin stankoverlast is. Bij de vergiste mest is de stankoverlast zowel na 5 minuten na toediening als 12 uur na toediening kleiner dan bij de onvergiste mest

In de vorige paragraaf zijn we ingegaan op de ammoniakemissie, waaruit bleek dat nog onvoldoende duidelijk is of de emissie hoger of lager is bij vergiste mest ten opzichte van onvergiste mest. Een uitspraak over de specifieke stankhinder door ammoniak kan daarom nog niet worden gegeven.

Betekenis voor de Nederlandse situatie

Onderzoek onderschrijft de verwachting dat geuremissie bij aanwending van vergiste mest lager zal zijn dan bij onvergiste mest. Onduidelijk is nog het effect op de ammoniakemissie (vorige paragraaf) dat ook geuroverlast geeft.

4.2.5 Nitraatuitspoeling

Verwachting

Bij vergiste mest is meer stikstof direct als ammonium en nitraat voor de plant beschikbaar, waardoor de stikstof in de mest gericht aan de plant kan worden aangeboden (als een soort kunstmest). Een lagere hoeveelheid stikstof in organische vorm geeft minder stikstof dat vrijkomt uit mineralisatie. Stikstof dat vrijkomt bij mineralisatie kan gemakkelijker verloren gaan omdat het vrij kan komen op een moment dat de plant het niet opneemt (buiten het groeiseizoen, bijv. in de herfst), waardoor gebruik van vergiste mest tot een verminderde kans op uitspoeling leidt. Cruciaal hierbij is dat de mest wel op dat moment moet worden aangeboden dat de plant ook nutriënten opneemt. Indien dit niet het geval is, is de stikstof in vergiste mest veel gevoeliger voor uitspoeling dan in onvergiste mest. Dus bij veel neerslag na aanwending van de vergiste mest kan de vrij beschikbare stikstof gemakkelijker uitspoelen.

Resultaten uit experimenten

Een Deens onderzoeksteam is op dit moment ook bezig met een onderzoek naar uitspoeling van nitraat vanuit vergiste en onvergiste mest¹. Uitkomsten van dit onderzoek zijn nog niet in het Engels bekend, maar met de onderzoekers is contact gelegd.

Betekenis voor de Nederlandse situatie

Er zijn nog geen onderzoeksresultaten bekend waarin het effect op nitraatuitspoeling tussen vergiste en onvergiste mest is bepaald. Op basis van de verwachtingen kunnen we nog onvoldoende inschatten wat de gevolgen zijn op de nitraatmissie. Wel kan worden aangegeven dat risico's op nitraatuitspoeling al in belangrijke mate zijn beperkt in de huidige wetgeving. Mest mag namelijk alleen in het groeiseizoen worden aangewend (behalve op bouwland op klei en veen).

¹ Peter Sørensen (Peter.Sorensen@agrsci.dk) en Torkild Søndergaard Birkmose (TSB@landscenret.dk) hebben aan The Danish Institute of Agricultural Science onderzoek gedaan naar vergiste mest. Ze vonden dat nitraat uitspoeling niet hoger was bij vergiste mest dan bij gronden die met kunstmest waren bemest. De resultaten zijn in het Deens gepubliceerd: <http://www.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/gvm266.pdf>

5 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van deze internationale literatuurstudie kunnen we enkele conclusies trekken over verschillen in emissies tussen aanwending van vergiste en onvergiste mest. Een belangrijke kanttekening daarbij is echter het beperkte aantal bronnen waarop dit onderzoek gebaseerd is. Hierdoor dient voorzichtig te worden omgegaan met de resultaten uit dit onderzoek. De gegevens zijn belangrijk voor de beeldvorming omtrent aanwending van vergiste mest en het effect op de broeikasgasemissie. Kwantitatieve uitspraken over de verschillen tussen vergiste en onvergiste mest in emissies van broeikasgassen na aanwending kunnen we op basis van dit onderzoek dan ook niet doen. Wel kunnen we aangeven waar nog belangrijke kennislacunes zijn.

De onderzoeksresultaten geven onvoldoende aanknopingspunten en onderbouwing om maatregelen te definiëren die de emissie van broeikasgassen reduceren bij aanwending van vergiste mest. Hierdoor is ook onvoldoende basis om aanbevelingen te doen over de kennisverspreiding rondom dit onderwerp. De conclusies m.b.t. lachgas-, methaan- en ammoniakemissie, nitraatuitspoeling en mestkwaliteit zijn hieronder puntsgewijs weergegeven. Tenslotte geven we een aantal aanbevelingen n.a.v. dit literatuuronderzoek.

5.1 Conclusies

Lachgasemissie

- De verwachting dat vergiste mest meer lachgasemissie geeft dan onvergiste mest bij toediening op bodems met een niet-limiterende hoeveelheid MAK (makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen) wordt onderbouwd door één van de behandelde experimenten in dit literatuuronderzoek.
- Op basis daarvan kunnen we concluderen dat het aannemelijk is dat aanwending van vergiste mest op klei- en veengronden met langdurig grasland (veel organische stof in de bodem) leidt tot meer lachgasemissie dan bij aanwending van onvergiste mest.
- De verwachting dat vergiste mest minder lachgasemissie geeft dan onvergiste mest bij toediening op bodems met een limiterende hoeveelheid MAK wordt ook onderbouwd door diverse experimenten in dit literatuuronderzoek.
- Op basis daarvan kunnen we concluderen dat het aannemelijk is dat aanwending van vergiste mest op arme zandgronden met akkerbouw (weinig organische stof) leidt tot minder lachgasemissie dan bij aanwending van onvergiste mest.
- Voor overige grondsoorten en grondgebruik (bijv. grasland op zandgrond en bouwland op klei) kunnen we geen kwalitatieve uitspraak doen over het verschil in lachgasemissie tussen aanwending van vergiste en onvergiste mest. Dit komt voort uit onvoldoende literatuuurgegevens over de omstandigheden wanneer de hoeveelheid makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen in de bodem limiterend dan wel niet-limiterend is.
- Bij het gebruik van vergiste mest geven aanwendingstechnieken waarbij de mest in de bodem wordt geïnjecteerd (mestinjectie) meer lachgasemissie dan

technieken waarbij de mest op of boven de grond wordt aangewend (bijv. sleepslangtechniek, sleepvoetenmachine).

- Over de interactie tussen aanwendingstechniek en mestsoort (vergiste vs onvergiste mest) zijn geen onderzoeksresultaten bekend. Zodoende kunnen we geen uitspraken doen over het effect van aanwending van vergiste mest i.p.v. onvergiste bij de in Nederland gebruikelijke mestaanwendingstechnieken.

Methaanemissie

- Een lagere hoeveelheid makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen in de vergiste mest geeft samen met het ontbreken van opgelost methaan een lagere methaanemissie na aanwending van vergiste mest t.o.v. onvergiste mest.
- Een breed onderbouwde kwantificering van de methaanemissie bij mestaanwending ontbreekt. Duidelijk is wel dat deze methaanemissie vele malen kleiner is dan de lachgasemissie.

Ammoniakemissie

- Op basis van een beschreven onderzoeksresultaat concluderen we dat het niet onomstotelijk vast staat dat de ammoniakemissie bij aanwending van vergiste mest hoger is dan bij onvergiste mest. Dit in tegenstelling tot de verwachting dat door bijv. het hogere minerale N-gehalte vergiste mest meer ammoniakemissie zou geven dan onvergiste mest. Dit bij ons enig bekende onderzoeksresultaat over ammoniakemissie bij vergiste mest is echter onvoldoende om een gefundeerde uitspraak te doen over een verschil in ammoniakemissie tussen vergiste en onvergiste mest.

Geuremissie

- Op basis van theorie en praktijkexperimenten kunnen we concluderen dat de geuremissie door vluchtige vetzuren met vergiste mest sterk minder zal zijn dan bij onvergiste mest. Ammoniak geeft ook geuremissie, maar over deze geurcomponent kunnen we geen conclusie geven omdat onderbouwing over de effecten op ammoniakemissie onvoldoende is.

Nitraatuitspoeling

- Over de effecten van vergiste mest op de nitraatuitspoeling t.o.v. onvergiste mest kunnen we geen eenduidige conclusies geven. Wel lijkt vergiste mest een 'betrouwbaarder' N-meststof te zijn. Er is met meer zekerheid te zegen wanneer de stikstof beschikbaar is voor planten, omdat meer van de stikstof niet gebonden is. Echter de snel beschikbare stikstof in vergiste mest is gevoelig voor uitspoeling bij veel neerslag na aanwending.

Mestkwaliteit

- Een gezond bodemleven krijgt steeds meer belangstelling en het belang ervan wordt steeds breder erkend. Er is echter nog geen volledig inzicht in het functioneren van het bodemleven, laat staan de invloed van de karakteristieke samenstelling van vergiste mest op het bodemleven.

5.2 Aanbevelingen

- Nader onderzoek naar de effecten van en interacties tussen bodemsoort, bodemgebruik (grasland vs bouwland) , mestsoort en –samenstelling (vergiste vs onvergiste mest) en aanwendingstechniek op de emissie van lachgas onder Nederlandse omstandigheden is vereist om een betere zowel kwalitatieve als kwantitatieve inschatting te maken van de lachgasemissie door aanwending van vergiste mest onder Nederlandse omstandigheden. Hierbij is ook onderzoek naar de verschillen in lachgasemissie op langere termijn tussen vergiste en onvergiste mest door afbraak van organische stof en organisch gebonden N gewenst.
- Ammoniakemissie en nitraatuitspoeling geven beide een onwenselijke milieubelasting. Om de milieubelasting met ammoniak en nitraat te minimaliseren is uitgebreide regelgeving² opgezet. Om de vraag te kunnen beantwoorden of het gebruik van vergiste mest past binnen de doelstellingen van het ammoniak- en nitraatbeleid is nader onderzoek naar de gevoeligheid van de minerale stikstof in vergiste mest om te ontsnappen als ammoniakemissie en nitraatuitspoeling na aanwending vereist. Factoren zoals N-mineraalgehalte, viscositeit, aanwendingstechniek, toepassingstijdstip, klimatologische omstandigheden moeten in dergelijk onderzoek betrokken worden.
- Het ondergronds aanwenden van zowel onvergiste als vergiste mest geeft meer lachgasemissie dan bovengrondse technieken. In de praktijk is bij aanwending van mest op bouwland reductie van lachgasemissie haalbaar door de toegepaste mestinjectie te vervangen door andere toegestane bovengrondse technieken zoals het bovengronds aanwenden en direct onderwerken. Dit zal wel leiden tot een toename in de ammoniakemissie.
- Nader onderzoek naar de invloed van toediening van vergiste mest op het bodemleven t.o.v. onvergiste mest is wenselijk. Aspecten zoals bemestende waarde en gewasopbrengst moeten hierbij tevens in kaart worden gebracht.

² Tijdens het schrijven van dit rapport werd duidelijk dat het Nederlandse nitraatbeleid in de ogen van de Europese Commissie tekort schiet. Nederland zal daarom de komende tijd het mestbeleid moeten herzien.

Bronnen

- Birkmose, T. (2000). Centralised biogas plants; a contribution to sustainable agriculture. The Danish Agricultural Advisory Centre, Skejby, Denmark.
- Boeckx, P., & Van Cleemput, O. (2001). Estimates of N₂O and CH₄ fluxes from agricultural lands in various regions in Europe. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 60, 35-47.
- CBS (2003). Statistisch jaarboek 2003. Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen.
- Chadwick, D., T. Misselbrook & B. Pain (1999). Potential for reducing gaseous N emissions from high input agriculture. Abstract in: *10th Nitrogen Workshop, 23-26 August 1999, Copenhagen*.
- Clemens, J. & A. Huschka (2001). The effect of biological oxygen demand of cattle slurry and soil moisture on nitrous oxide emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 59, 193-198.
- Clemens, J. & H.J. Ahlgrimm (2001). Greenhouse gases from animal husbandry: mitigation options. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 60, 287-300.
- Dijk, J. van (2003). Peilbeheer in veenweidegebieden; kiezen of delen? De effecten van peilbeheer op grondwater, emissie van broeikasgassen, bodemdaling en landbouw in de westelijke veenweidegebieden. Afstudeerscriptie Hogeschool Zeeland, Vlissingen.
- Erisman, J.W. (2000). De vliegende geest: Ammoniak uit de landbouw en de gevolgen voor de natuur. Betatext, Bergen (Noord-Holland).
- Fangmeier, A., A. Hadwiger-Fangmeier, L. Van der Eerden & H-J. Jäger (1994). Effect of atmospheric ammonia on vegetation – a review. *Environmental Pollution* 86, 42-82.
- Granli, T. & O.C. Bockman (1994). Nitrous oxide in agriculture. *Norwegian journal of agricultural sciences* 12: 127.
- Harreveld, A. van (1981). De geuremissie tijdens en na het verspreiden van varkensmest. IMAG, rapport 37, Wageningen.
- Huijsmans, J.F.M., J.G.L. Hendriks en G.D. Vermeulen 1998. Draught requirement of trailing-foot and shallow injection equipment for applying slurry to grassland. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71, 347-356.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol en B.W. Bussink 1997. Reduction of ammonia emission by new slurry application techniques on grasslands. In: Jarvis, S.C. and B.F. Pain (eds.) *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*. CAB International Wallingford, pp. 281-285.
- Kroes, J.G., F.J.E. van der Bolt, P. Groenendijk, I.E. Hoving & M.H.A. de Haan (2000). Beperking van lachgasemissie door waterbeheer; een systeemanalyse. Alterra-rapport 114.6. Alterra, Wageningen.

- Kwantitatieve Informatie (KWIN) Veehouderij 2001-2002. September 2001. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.
- Mol, R.M. de & M.A. Hilhorst (2003). Methaan-, lachgas- en ammoniakemissies bij productie, opslag en transport van mest. Wageningen, IMAG.
- Mosier, A. (1998). Soil processes and global change. *Biological Fertility of Soils*. 27, 221-229.
- Oenema, O., G.L. Velthof & P.J. Kuikman (2001). Beperking van emissie van methaan en lachgas uit de landbouw: iindentificatie van kennishiaten. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 380.
- Olivier, J.G.J., L.J. Brandes, J.A.H.W. Peters & P.W.H.G. Coenen (2002). Greenhouse gas emissions in the Netherlands. National Inventory Report 2002. RIVM report 773201 006/2002.
- Reijneveld, J.A., B. Habekotté, H.F.M. Aarts & J. Oenema (2000). Typical Dutch. Zicht op verscheidenheid binnen de Nederlandse melkveehouderij. Lelystad; Praktijkonderzoek Veehouderij.
- Tijmensen, M.J.A., R.C.A. van den Broek, R. Wasser, A. Kool, R.M. de Mol & M.A. Hilhorst (2002). Mestvergisting op boerderijschaal in bestaande opslagsystemen. Apeldoorn; Novem Publicatiecentrum.
- Tijmensen, M.J.A., S. van Dun, R.C.A. van den Broek, F. Schillig, Holm-Nielsen, I. Kunto & D. Martin (2003). Internationale verkenning mestvergisting. Ecofys, Utrecht.
- Velsen, F.M. van (1981) Anaerobic digestion of piggery waste. Landbouwhogeschool, Wageningen (proefschrift).
- Velthof, G.L., J. Dolging, G.J. Kasper, J.W. van Groeningen, W.J.M. de Groot, A. van den Pol-van Dasselaar & P.J. Kuikman (2002). Beperkingen van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden; Eindrapport voor Reductie Overige Broeikasgassen Landbouw Cluster 1. Alterra, Wageningen.
- Vos, J., A.Th.G. Elzebroek & K. Scholte (1998). Milieuaspecten van de landbouw. Wageningen; Landbouwniversiteit Wageningen.
- Wulf, S., M. Maeting & J. Clemens (2002a). Application Technique and Slurry Co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide and methane emissions after spreading: I. Ammonia volatilization. *Journal of Environmental Quality* 31: 1789-1794.
- Wulf, S., M. Maeting & J. Clemens (2002b). Application Technique and Slurry Co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide and methane emissions after spreading: II. Greenhouse gas emissions. *Journal of Environmental Quality* 31: 1795-1801.

Bijlage I Mesteigenschappen

Mesteigenschappen van vergiste mest in vergelijking met onvergiste mest in verschillende (internationale) onderzoeken

Bron	Mestsoort [§]	DS [#] -gehalte	Total N	Total C	C:N ratio	NH ₄ -N	NO ₃ ⁻	Minerale N	% Nmin van N tot	VFA [*]	BOD ^{&}	pH
		%	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹		g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	%	g C kg ⁻¹	g O ₂ kg ⁻¹	
Velthof e.a. (2002)	VM vergist	6,8	3,7	24	18,1	-	-	2,4	65	1,6	-	8,20
	VM onvergist	9,8	5,5	34	15,5	-	-	3,3	60	3,0	-	7,96
Wulf e.a. (2002)	RM vergist [§]	4,8	3,8	-	-	2,2	-	-	58	-	3	8,9
	RM onvergist	8,1	4,3	-	-	1,6	-	-	37	-	21	7,6
Clemens & Huschka (2001)	RM vergist	6,9	-	-	-	1,27	0	-	-	-	1,2	7,6
	RM onvergist	4,7	-	-	-	1,23	0	-	-	-	6,8	7,1
Birkmose (2000)	RM/VM ^f vergist	2,8	5,0	-	-	4,0	-	-	80	-	-	7,5
	RM onvergist	6,0	5,0	-	-	2,8	-	-	56	-	-	6,5
	VM onvergist	4,0	5,0	-	-	3,8	-	-	76	-	-	7,0
De Marke labproef 2001	RM vergist	5,0	3,5	-	-	-	-	2,3	66	-	-	-
	RM onvergist	7,5	3,5	-	-	-	-	1,9	54	-	-	-
Sterksel	VM vergist	4,0	5,2	-	-	-	-	3,7	67	-	-	-
	VM onvergist	5,2	4,2	-	-	-	-	2,6	61	-	-	-

[§] VM: varkensmest; RM: rundermest

[#] DS-gehalte: droge stof gehalte

^{*} Volatile Fatty Acids: vluchtige vetzuren

[&] BOD: Biological Oxygen Demand: maat voor de hoeveelheid makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen

[§] Mest is covergist: 70% rundermest en 30% organisch huishoudelijk afval

^f Vergiste mest bestaat uit 50% rundermest en 50% varkensmest