



Gasemissie na toediening van organische meststoffen in de glastuinbouw

Risico's op plantschade in gesloten kassen

Pieter de Visser, Ton Gorissen, Wolter van der Zweerde

**Plant Research International B.V.,
Wageningen
maart 2004**

Nota nummer

© 2004 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : postkamer.pri@wur.nl
Internet : <http://www.plant.wur.nl>

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	2
2. Literatuurscan	3
3. Kasproef	7
3.1. Inleiding	7
3.2. Methoden	7
3.3. Resultaten	9
3.4. Conclusies	11
4. Risico's op plantschade	12
4.1. Inleiding	12
4.2. Ammoniakschade	12
4.3. Risicoschatting en aanbevelingen	14
5. Literatuur	15

Samenvatting

In deze studie is onderzocht wat de mogelijke schade aan kasgewassen is van emissie van gassen uit organische meststoffen, gebruikt in de biologische kasteelt. Allereerst is middels een korte literatuurstudie uitgezocht welke emissies zoal optreden bij de meest gebruikte meststoffen.

Gasvormige emissie betreft hoofdzakelijk kooldioxide, ammoniak, lachgas, methaan en vluchtige vetzuren. Met name de hoeveelheid vrijkomende ammoniak kan een belasting vormen voor een kasgewas.

Vervolgens is een kasproef uitgevoerd waarbij een aantal organische meststoffen aan grond werden toegevoegd. In de afgesloten kasjes werd de gasconcentratie van ammoniak, methaan en lachgas na 2 en na 14 dagen gemeten. Bij een aantal organische meststoffen werden hoge ammoniakconcentraties (>10 ppm) in de kaslucht gemeten. Het lijkt aannemelijk dat de hydrolyse van stikstofrijke organische verbindingen (ureum, urinezuur, eiwitten) de belangrijkste bron van ammoniak is, en niet reeds aanwezige ammonium. Lachgasconcentraties waren variabel en niet te relateren aan een specifieke meststof. Methaanconcentraties werden niet verhoogd door toepassing van de meststoffen.

Blootstelling van radijsplantjes aan de gemeten gasconcentraties leidde bij de hoge ammoniakconcentraties snel tot plantsterfte. Gemeten concentraties en effecten van ammoniak zijn in overeenstemming met reeds bekend fytoxiciteitsonderzoek. Met de resultaten kan een voorzichtige schatting gedaan worden van maximaal toe te passen meststoffenniveaus ter vermindering van directe plantschade door ammoniak.

1. Inleiding

In de biologische glastuinbouw is schade waargenomen bij gewassen bij aanvang van de teelt. De waargenomen gevallen blijken veelal voor te komen bij teelten in de winterperiode, als er weinig wordt gelucht. In het kader van het LNV-onderzoeksprogramma 'Systeeminnovaties Biologische gesloten teelten' is in deze studie de aandacht gericht op schadelijke gassen die in dergelijke situaties mogelijk vrij komen uit de toegediende organische meststoffen. Daarbij kunnen gassen uit reeds aanwezige componenten van de mest en uit afbraak van de mest vrijkomen. De studie is verdeeld in twee fasen:

Fase 1: beperkte literatuurstudie naar gasemissies en mogelijke schade aan planten

Doel van fase 1 is een schatting te maken van de hoeveelheid emissie van schadelijke stoffen uit organische meststof en bepaling van de shadedrempel via literatuurstudie.

Dit doel wordt bereikt door een quick scan in de literatuur m.b.t. gassen die mogelijk vrijkomen een tiental in Nederland meest gebruikte organische meststoffen, alsmede - indien gevonden - de emissiefluxen en shadedrempels voor vruchtgroentengewassen. Met deze gegevens kan mogelijk een globale emissieschatting worden gemaakt voor een bestaande kassituatie.

Fase 2: Pilot experiment emissie uit organische meststoffen

De doelen in deze fase zijn:

- (a) De bepaling van de emissie van enkele schadelijke componenten na toediening van organische meststoffen aan grond.
- (b) De bepaling van eventuele visuele plantschade na blootstelling aan in praktijk te verwachten gasconcentraties

De aanpak bestaat uit het nabootsen van een praktijksituatie door organische bemesting uit te voeren in mini-kasjes (volume ca. 570 L). Hierbij wordt een voor luchtverontreiniging kwetsbare plantensoort (indicatorsoort) in de mini-kas geteeld en vindt beoordeling van de schade plaats. Tevens worden steekproefsgewijs gasmonsters genomen om de oorzaak van eventuele plantschade te achterhalen.

De voorgestelde onderzoeks aanpak kan voor bekende gasschade een mogelijke uitspraak doen over de risico's bij aanwending van bepaalde organische meststoffen. Het is evenwel mogelijk dat onbekende stoffen ook een rol spelen in de plantschade. De kans hierop zal aan het eind van de studie bediscussieerd worden.

2. Literatuurscan

In de kas van de toekomst, de gesloten kas, kan het vrijkomen van gasvormige componenten uit organische meststoffen één van de problemen zijn die op gaan treden. In een vrijwel gesloten omgeving kunnen deze gassen zich mogelijk in de loop van de tijd ophopen. Afhankelijk van het type gas, de concentratie en de blootstellingsduur van de planten, kan fytotoxische schade ontstaan aan het gewas.

Een ‘quick literature scan’ is daarom uitgevoerd om een globaal overzicht te krijgen van de gasvormige componenten, waarvan in de literatuur is beschreven dat ze vrij kunnen komen na toediening van een tiental verschillende organische meststoffen.

In het volgende overzicht staan de belangrijkste organische meststoffen die in de kas toegepast kunnen worden. Van alle meststoffen zijn uiteraard de Engelse en Duitse equivalenten opgezocht om de scan mogelijk te maken. Een aantal meststoffen zoals kippenmest komt onder verschillende benamingen in de literatuur voor (‘chicken manure’ en ‘poultry manure’). Van een paar meststoffen is alleen de merknaam gegeven.

Tabel 2.1. Overzicht van de belangrijkste organische meststoffen.

Nederlandse term	Engels equivalent	Duits equivalent
Champost	Mushroom compost	Champignon (mist, kultursubstrat)
GFT-compost	(Household, food waste, garden waste) compost	Hausabfallkompost
(Pot)stalmest, vaste mest	(Cattle , animal, farm) manure, dung	(Kuh, Rinder) mist, Dung
Lucerne(meel, brokken), luzerne	Lucerne meal, dried lucerne, alfalfa meal	Alfalfamehl, Luzernemehl
Organisch afval	Organic waste	
Monterra	Monterra	Monterra
Sojameel	Soya meal	Sojamehl
Wulpak, wulpack (beide komen voor)	Wulpak, wulpack	Wulpak, wulpack
Maltaflor	Maltaflor	Maltaflor
Vinasse(kali)	Vinasse(kali)	Vinasse(kali)
Aminosol	Aminosol	Aminosol
Fontana	Fontana	Fontana
Kippenmest	Poultry manure, chicken manure	(Geflügel, Hühner) mist
Verenmeel	Feather meal	Federmehl
Groenbemester	Green manure	Gründungung
Beendermeel	Bone meal, bone powder	Knochenmehl
Bloedmeel	Blood meal	Blutmehl
Hoornmeel	Horn meal	Hornmehl

Bij de zoekopdrachten is gezocht naar combinaties van één van de bovenstaande termen met één van de woorden ‘emission’, ‘volatilis(z)ation’, or ‘Verflüchtigung’. Er is bewust niet gekozen om te zoeken naar bv ‘NH₃’, omdat van ammoniak al bekend is dat die stof vrij kan komen na toediening van

verschillende vormen van organische mest, terwijl het doel van de scan was om ook de minder bekende gasvormige emissies te identificeren.

Voor de 'quick literature scan' werden de volgende databases geconsulteerd met Winspirc[™]: *Biological Abstracts* (1969-2004) and *Current Contents* for agronomic and biological aspects (1996-2004). Internet werd alleen gebruikt met de zoekmachines *Google* en *MyWebSearch* voor aanvullende informatie. Alleen de zoektermen 'manure' en 'emission' leverde 21500 hits op in Google. Het was uiteraard niet mogelijk deze hits binnen de literatuurscan goed te screenen.

Er zijn in de zoekopdracht geen restricties aangebracht t.a.v. het toepassingsterrein, i.c. de gesloten kas, om alle gasvormige componenten die potentieel vrij kunnen komen bij toediening van organische mest te kunnen identificeren. Het zal echter duidelijk zijn dat hierdoor ook literatuur over bv lachgasmissies in rijstvelden opgenomen is in de resultaten.

Tabel 2.2. Overzicht van het aantal hits dat gevonden werd bij de verschillende zoekopdrachten in *Current Contents* en *Biological Abstracts*:

Zoektermen 'emission' or 'volatilisation' or 'volatilization' met:		
Meststof (zowel met Engelse als Duitse equivalenten gezocht)	Aantal hits	
	Current Contents	Biological Abstracts
(cattle manure or animal manure or farm manure)	138	116
(lucerne or alfalfa) meal	0	0
(household or food waste or garden waste) compost	0	1
organic waste	17	25
Maltaflor	0	0
Monterra (malt)	0	0
mushroom compost	2	1
soya meal	0	0
wulpak or wulpack	0	0
vinasse	2	0
aminosol	0	0
fontana	0	0
poultry manure	30	28
feather meal	0	0
green manure	31	2
bone meal	6	3
blood meal	2	3
horn meal	0	0

Van 44% van de meststoffen zijn emissiegegevens in de gescande literatuur gevonden. Van de overige 56% bleken geen gegevens voorhanden. Meststoffen waar de meeste literatuur over gasemissies van zijn beschreven zijn: vaste mest, kippenmest, organisch afval en groenafval. Over emissie na toediening van beendermeel, bloedmeel, champost en vinasse zijn enkele publicaties gevonden

De gevonden literatuur is vervolgens onderzocht op de aard van de gasvormige componenten die onderzocht waren. In het onderstaande overzicht staat aangegeven welke gassen werden gemeten na toediening van de meststoffen.

Tabel 2.3. Overzicht van de gasvormige componenten¹ die blijkens de gevonden literatuur uit de verschillende organische meststoffen geëmitteerd kunnen worden.

Meststof	Gasvormige componenten
(cattle manure or animal manure or farm manure)	NH ₃ , N ₂ O, NO, TRS (total reduced sulfurs), VFA (volatile fatty acids), CO (bij compostering), CH ₄ (bij compostering)
(lucerne or alfalfa) meal	geen gegevens
(household or food waste or garden waste) compost	N ₂ O, CH ₄
organic waste	NH ₃ , N ₂ O, CH ₄
Maltaflor	geen gegevens
Monterra (malt)	geen gegevens
mushroom compost	NH ₃
soya meal	geen gegevens
wulpak or wulpack	geen gegevens
vinasse	geen gegevens
aminosol	geen gegevens
fontana	geen gegevens
poultry manure	NH ₃ , N ₂ O, CH ₄ , PH ₃ (phosphine)
feather meal	geen gegevens
green manure	NH ₃ , N ₂ O, N ₂ , CH ₄
bone meal	NH ₃ , PH ₃ (phosphine)
blood meal	NH ₃
horn meal	geen gegevens

¹CO₂ komt vrij na toediening van alle organische meststoffen en is om die reden in de tweede kolom niet vermeld

Bovenstaand overzicht geeft aan welke gassen potentieel kunnen ontstaan na toediening van een aantal meststoffen, ongeacht het gewas waarbij het wordt gebruikt. Het is niet altijd duidelijk of de gassen uit de meststof zelf komen of dat de meststof omzettingen in de bodem stimuleert, waarbij gassen kunnen ontstaan. De meststoffen kunnen omstandigheden gunstig maken voor gasemissie vanuit andere bronnen in de grond, verandering in bv pH kan ammoniakemissie beïnvloeden.

Óf bovenstaande gassen ook geëmitteerd worden, hangt vaak af van de milieumomstandigheden en de kwaliteit van het toegediende organische materiaal (bv de C-N-ratio van de toegediende meststoffen). Veel gegevens over emissie van CH₄ en N₂O zijn bekend van rijstvelden, waar de milieumomstandigheden sterk verschillen met die in een gesloten kas.

Enkele gegevens komen uit composteringsonderzoek. Composterende zal voorafgaan aan toediening van de mest in de kas, maar het feit dat een aantal gassen vrij kan komen bij composterende verdient in ieder geval de aandacht. De emissie kan wellicht enige tijd na toediening van de als meststof continuerende. De ‘quick literature scan’ leverde grotendeels gasvormige componenten op waarvan verwacht mocht worden dat deze kunnen ontstaan na toediening van organische meststoffen. Naast kooldioxide zijn dit: ammoniak, lachgas en methaan. In de literatuur kunnen vele publicaties over deze stoffen gevonden worden.

Ammoniakgas (NH₃) komt vrij bij toediening van veel verschillende organische meststoffen: stalmest, kippenmest, champost, organisch afval, groenbemester, beendermeel en bloedmeel. Dat dit van de andere meststoffen niet beschreven is, houdt niet in dat ammoniak daar niet bij vrij kan komen. Deze opmerking geldt overigens voor alle gasvormige componenten.

Lachgas (N₂O) komt ook vrij bij verschillende meststoffen: stalmest, kippenmest, GFT, champost, organisch afval en groenbemester.

Methaanemissie (CH₄) is gemeten na toediening van dezelfde meststoffen als N₂O, beide worden dan ook m.n. onder anaerobe omstandigheden gevormd.

Kooldioxide (CO₂) komt altijd vrij bij afbraak van organische stof en kan in gesloten systemen tot hoge concentraties leiden. Tot aanzienlijke concentraties is CO₂ groeibevorderend (ca. 1500 ppm) maar boven 2500 ppm ontstaat groeiremming en bij zeer hoge concentraties uiteindelijk fytotoxiciteit (Bugbee et al., 1994).

Gasvormige componenten die minder vaak voorkomen in de literatuur zijn: CO, NO, TRS, PH₃ en VFA's:

Bij toepassing van stalmest werd soms emissie van koolmonoxide (CO) (Hellebrand and Kalk, 2001) en stikstofmonoxide (NO) (Akiyama and Tsuruta, 2003; Yan et al. 2003) gemeten. In het geval van CO was dit tijdens compostering.

Soms is er sprake van dat er TRS (total reduced sulfurs: H₂S, CH₃SH, CH₃SCH₃ and CH₃SSCH₃) componenten vrijkomen uit mestopslag (Gay et al. 2003). Bij uitgereden mest zijn geen referenties m.b.t. TRS gevonden, maar mogelijk dat deze stoffen na de bemesting nog wel vrij kunnen komen.

PH₃ (bekend als phosphine, phosphane, hydrogen phosphide or phosphorus hydride) is een simpel, maar toxisch gas. Volgens de literatuur kan het in ieder geval voorkomen bij toedienen van kippenmest en beendermeel (Cao et al, 2000), maar mogelijk komt het vaker vrij. Volgens Frank and Rippen (1987) is de halfwaardetijd van phosphine ongeveer 28 uur doordat het reageert met hydroxylradicalen, waarna het als fosfaat op de grond terecht komt. Zonlicht versnelt dit proces. Bij een kort durende emissie treedt wellicht geen langdurige accumulatie op in de atmosfeer van de kas.

De laatste groep stoffen waarvan is aangetoond dat deze kan vrijkomen wordt gevormd door VFA's (volatile fatty acids). De meeste publicaties rapporteren de emissie van VFA's uit varkensmest, maar ook uit andere meststoffen en uit composthopen kunnen deze gassen vrijkomen (McGinn et al, 2002).

3. Kasproef

3.1. Inleiding

Uit de literatuurstudie blijkt dat gasemissies voornamelijk zijn bestudeerd bij stallen, opslagplaatsen en bij aanwending in de open teelten. Daarnaast is bestaand onderzoek meestal kwalitatief van aard, i.e. er is geen kwantitative relatie tussen mestgift en hoeveelheid vervluchtigde stof. Het kwalitatieve onderzoek betrof ook vaak meststoffen die voor de biologische glastuinbouw minder relevant zijn, met uitzondering van stalmest en diverse composten.

Om specifiek die emissies te beoordelen die vrijkomen in de Nederlandse biologische glastuinbouw, is met de meest gebruikte meststoffen een kleine kasproef uitgevoerd.

Er waren twee doelen m.b.t. de kasproef:

1 – bepaling van orde van grootte van emissie en concentratie van een drietal gassen die het meest vrijkomen bij toediening van organische meststoffen

2 – bepaling van plantschade bij de gemeten gasniveau's

Om gasconcentraties en eventuele schade zonder meststof te bepalen, is ook een blanco behandeling met alleen grond meegenomen. Om zeker te zijn dat de gebruikte plantjes schade ondervinden van ammoniak, is tevens een ammoniak-behandeling uitgevoerd.

3.2. Methoden

Emissiemetingen en plantwaarnemingen zijn uitgevoerd m.b.v. mini-kasjes. Deze kasjes waren 1.20 x 0.80 x 1.00 (l x b x h in m). Berekend volume was ca. 570 L. De kasjes waren afgedicht met kit en tape, maar een 100% gesloten situatie kan niet worden gegarandeerd.

Per kasje werden 2 bakken met een mengsel van zandgrond van de Born (Wageningen) en meststof geplaatst. Deze grond, rijk aan organische stof, was afkomstig van een perceel achter PRI, Born-Zuid, Wageningen. De verhouding tussen emitterend grondoppervlak en kasvolume was vergelijkbaar met die van een conventionele kas met een hoogte van ca 4 m. De ruime meststofdosering was voor de meeste meststoffen equivalent aan een totale gift van 1200 kg N-totaal per hectare (= 28.8 g N per mini-kas). Uitzonderingen waren stalmest (600 kg N ha⁻¹) en DCM Ecomix (300 kg N ha⁻¹ vergelijkbaar met de DCM-gift bij bedrijf De Koning). De ammoniakbehandeling bestond eveneens uit 2 bakken grond, zonder toevoeging, en daarnaast een los bakje met tot 0.01 M NH₃ verdunde huishoudammoniakoplossing. De grond in de bakken werd op een vochtgehalte van 60% van verzadigd vochtgehalte gebracht, en werd nog 2 keer bevochtigd tijdens de proef d.m.v. een sprinklersysteem om uitdroging te voorkomen.

In elk kasje werd een bak met ingezaaide radijsplantjes geplaatst. De grond bestond uit vruchtbare teeltaarde zoals gebruikelijk bij het opkweken van diverse zaadplanten. Voordat de bak met plantjes werd geplaatst, werd de grond bevochtigd. Na start van de proef werd nog 2x water gespreid, identiek aan de wijze bij de bakken met alleen grond. Bij aanvang van de proef waren de plantjes ca. 4 cm hoog.

De gasmontering vond plaats kort na inzet en aan het eind van de proef. Er zijn twee proeven na elkaar uitgevoerd, met de volgende behandelingen en monsterdata:

Tabel 3.1. Opzet van de proef met mini-kasjes

	Proef 1	Proef 2
Start	2 december 2003	12 januari 2004
1ste gasmeting (uren na start)	40 uur	24 uur
2de gasmeting	384 uur	360 uur
Meststoffen:	Blanco 1 grond	Blanco 2 grond
	Luzerne	Champost van PPO-Horst
	Stalmest oud	Stalmest vers
	Maltaflor 1 (Monterra malt)(5%N)	Maltaflor 2 (Monterra malt)(5%N)
	Monterra (verenmeel)	Kippenmestkorrels
	0.01 M ammoniak-oplossing	DCM Ecomix

Per kasje werd 30 L gas gemonsterd m.b.v. teflon geurzakken en een onderdrukpompje. Monstersnelheid was 3 L per minuut. Gasanalyse vond plaats bij instituut AgroTechnology & Food Innovations (A & F). De volgende methoden werden gebruikt:
 Concentratie van NH_3 werd gemeten met een ammoniakconvector en chemiluminescentie-analyser.
 Concentraties van CH_4 en N_2O werden gaschromatografisch bepaald.



Figuur 3.1. Een van de mini-kasjes, waarin 2 bakken met grond & meststof, en 1 bak met jonge radijsplantjes.

3.3. Resultaten

Gasanalyses

De NH₃ en N₂O emissie blijkt tussen de diverse meststoffen te verschillen, terwijl alle CH₄-concentraties vergelijkbaar zijn met achtergrondwaarden van methaan (Tabel 3.2). De NH₃-meting bij ‘ammoniak’ behandeling laat zien dat zich in korte tijd aanzienlijke hoeveelheden kunnen verzamelen in de (vrijwel) gesloten kasjes. De eindmeting bij deze behandeling is niet uitgevoerd, aangezien de plantjes al in de eerste dagen stierven. Verder is er een aanzienlijke NH₃-emissie bij Maltaflor. De concentraties waarbij onherstelbare schade aan de radijsplant werd veroorzaakt, is aangegeven met een grijsint.

Tabel 3.2. Gasconcentraties (in ppm) in de lucht van de mini-kasjes. De grijsint geeft aan waar de plantjes vermoedelijk aan zijn gestorven. *n.*: eindmeting ‘Ammoniak’ meststof is niet uitgevoerd.

	NH ₃ Start	NH ₃ Eind	N ₂ O Start	N ₂ O Eind	CH ₄ start	CH ₄ Eind
Blanco 1	<0.1	4.4	0.39	0.43	2.20	2.35
Blanco 2	0.2	0.1	0.32	0.36	2.02	2.10
Luzerne	<0.1	0.3	6.16	0.94	2.11	2.50
Stalmest oud	<0.1	0.1	0.46	0.30	2.53	2.60
Ammoniak	37.4	<i>n.</i>	0.91	<i>n.</i>	2.13	<i>n.</i>
Monterra	<0.1	0.3	2.73	2.45	2.11	2.47
Maltaflor 1	0.3	114.0	5.05	0.67	2.11	2.44
Maltaflor 2	0.1	15.8	0.66	0.64	2.04	2.09
Stalmest vers	0.1	0.1	0.33	6.17	2.04	2.27
Ecomix	0.1	10.2	0.82	0.99	2.06	2.13
Kippenmest	0.3	5.8	0.52	1.00	2.13	2.13
Champost	4.0	0.3	1.22	1.10	3.01	2.11

Omrekening van NH₃-concentraties van ppm naar µg m⁻³ kan met omrekenfactor 696. De gemeten eindwaarden bij de proeven waarbij planten stierven bevinden zich in de range 4000 tot ca. 80.000 µg NH₃ m⁻³.

Plantmetingen

De opkomende radijsplantjes waren bij afsluiting van de mini-kassen ca. 4 cm lang. Op het oog waren er weinig verschillen tussen de planten onderling (zowel binnen een bak als tussen de bakken/behandelingen). De visuele beoordeling van de plantstatus gaf het volgende beeld:

Dag	Visuele kenmerken
3	Alle plantjes verlept bij Ammoniak
6	Alle plantjes dood bij Ammoniak, slecht bij Maltaflor-1
7	Alle plantjes dood bij Maltaflor-1. Bij Ecomix en Kippenmest krullen de blaadjes en verbleken
10	Plantjes bij Stalmest meer turgor, groter en groener. Ecomix-planten dood
11	Kippenmest-planten dood. Zwarte vlekken bij Maltaflor-2 en Verse mest.
14	Stalmestplanten iets groter en groener dan rest. Bij luzerne, monterra en blanco zijn bladeren gekruld en hebben lichte waas. Planten bij Maltaflor-2 dood.



Figuur 3.2. Radijsplantjes aan het eind van de proef bij de kippenmestbehandeling.



Figuur 3.3. Radijsplantjes aan het eind van de proef bij de controle-behandeling.

Grond- en meststoffenanalyse

De gebruikte grond bevatte een beperkte hoeveelheid N_{min}. Bij beide proeven was deze N_{min} in NO₃-vorm (zie tabel 3.3). Daarentegen bevatte de verse stalmest (proef 2) in pure vorm 4 mg NO₃-N en 5000 (!) mg NH₄-N kg⁻¹ drogestof, hetgeen in de grond werd verdund (Tabel 3.3). Na inbrengen van de mest werd het N_{min}-gehalte van de grond vaak aanzienlijk verhoogd, waarbij het aandeel nitraat danwel ammonium sterk verschilde tussen de diverse meststoffen.

Tabel 3.3. Concentraties van NO₃ en NH₄ (in mg N kg⁻¹ droge grond) in de grond van de bakken in de minikassen.

<i>Meststof</i>	<i>NO₃-N</i>	<i>NH₄-N</i>
Grond proef 1	49	<1
Grond proef 2	18	<1
Stalmest (oud)	86	30
Stalmest (vers)	49	800
Luzerne	19	77
Monterra	86	49
Maltaflor	159	64
Ecomix	1020	55
Kippenmest	162	2
Champost	54	60

3.4. Conclusies

Methaanemissie wordt niet of nauwelijks beïnvloed door de keuze van organische meststof. Methaan is bij de gemeten emissieniveaus verder geen negatieve factor voor de glasteelt.

Voor lachgas (N₂O) is de emissie variabel en weinig eenduidig. Zo laat Maltaflor in het eerste proefje wel, en in het tweede proefje geen hoge concentratie zien na 1 dag gesloten kas. Luzerne laat een duidelijke verhoging van N₂O zien direct na de start, hetgeen niet te relateren is aan hoge nitraatconcentraties in het materiaal. Normaliter is de emissie van N₂O o.a. afhankelijk van de nitraatconcentratie. Dit verband lijkt in de proef niet aanwezig.

De opvallend hoge concentraties aan ammoniak, o.a. bij Maltaflor en Ecomix, veroorzaken binnen 14 dagen algehele plantsterfte. De hoge concentraties lijken niet direct terug te voeren op een eigenschap van de meststof. Er is in ieder geval geen relatie met de NH₄-gehalten van de mest (zie Tabel 3.3), wat duidelijk geïllustreerd wordt door de veel ammonium bevattende verse stalmest, die geen meetbare ammoniak produceert maar wel sterk ruikt naar geurstoffen (skatol e.d.). Normaliter wordt bij hoge pH wel een relatie met ammonium gevonden, zoals bij giften van NH₄NO₃ op kalkgronden. Dergelijke pH-waarden zijn hier niet aan de orde. Bij één van de controle-behandelingen is ook een aanzienlijke concentratie aan ammoniak gemeten (omgerekend 2780 µg NH₃ m⁻³), maar dit had geen schade tot gevolg. Ammoniakemissie wordt meestal gerelateerd aan de hoeveelheid aanwezige ureum of urinezuur (FOMA, 1996). Ureum wordt snel omgezet in ammoniak o.i.v. urease, dat vaak in grote hoeveelheden aanwezig is in de microflora in bodem en stal. Ook andere eenvoudig af te breken eiwitten kunnen door hydrolyse ammoniak produceren. Het is zeer waarschijnlijk dat in zowel kippenmest, Ecomix als met name Maltaflor dergelijke eiwitten aanwezig zijn. Als de onstane ammoniak in het bodemcompartiment behouden kan blijven, kan het een belangrijke bijdrage aan de stikstofvoeding van de plant leveren.

Hoewel dit een aanzienlijke hoeveelheid N kan betreffen, kan veel van de ontstane ammoniak tijdens het transport van grond naar lucht weer resorberen aan grond en bodemwater. Zodoende zijn de gemeten gashoeveelheden in de mini-kasjes slechts een gedeelte van de ontstane ammoniak, en ook een kleine fractie van de gegeven N. De grootste hoeveelheden bij de eindmeting bij Maltaflor zijn 0.3% van de gegeven hoeveelheid van 28.8 g per kasje. Waarschijnlijk staat de geëmitteerde ammoniak wel in verband met de aanwezige ureum. Nadere ureumanalyses zouden een relatie kunnen aantonen tussen ureumgehalte en emissieniveau.

4. Risico's op plantschade

4.1. Inleiding

De blootstelling van kasplanten aan uit mest vrijkomende gassen hangt af van meststoftype en – dosering, de bodemcondities en de mate van ventilatie door de tuinder. Uit dit onderzoek (hoofdstukken 2 en 3) lijkt ammoniak de voornaamste veroorzaker van plantschade te zijn. De concentraties methaan zijn onschadelijk, evenals die van N₂O waarvoor een etmaalgemiddelde van 75 µg m⁻³ pas schade veroorzaakt (WHO, 2001). De vraag is of de verklaring t.a.v. ammoniak overeen stemt met ander ammoniak-onderzoek. Hieronder wordt kort dergelijk onderzoek toegelicht, waarna een vergelijking wordt gemaakt met de hier verkregen resultaten.

4.2. Ammoniakschade

De kans op directe plantschade door een gegeven ammoniakconcentratie is tot op heden vaak getoetst aan een effectgrenslijn. Deze lijn bestaat uit een verzameling veld- en kaswaarnemingen en de methode is dus empirisch van aard. Het proces van ammoniakschade is onder te verdelen in een drietal categorieën van afnemende plantschade:

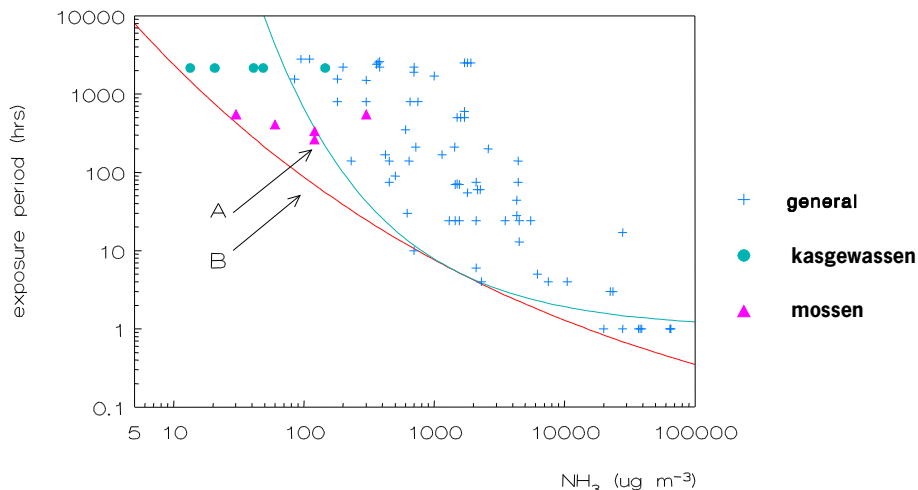
1. etsing bladoppervlak,
2. ammoniumtoxiciteit,
3. verstoorde voedingsbalans door stikstofovermaat.

ad 1. Dit is vooral een pH-effect. De schade treedt alleen op bij zeer hoge concentraties die vooral door incidenten veroorzaakt worden. De concentraties zijn > 3300 µg m⁻³ gedurende 1 uur.

ad 2. De toxische werking wordt veroorzaakt door hoge NH₄-concentraties in het celvocht. Deze accumulatie is een gevolg van een te lage assimilatie-capaciteit. De fotosynthese en enkele processen die via membranen werken worden geremd. De effectieve concentratieniveaus zijn 100 tot 2000 µg m⁻³ voor het jaargemiddelde.

ad 3. De plant is al (meer dan) optimaal van N voorzien. Meer stikstof leidt niet tot meer groei maar wel tot verhoogde gevoeligheid voor stress. Deze stress kan zowel abiotisch (droogte, vorst) als biotisch (ziekten, plagen) zijn. Vaak hebben planten bij dit N-niveau de neiging meer blad en minder vrucht of wortel te produceren. De grens waar boven N supra-optimaal wordt verschilt per soort en ligt tussen 1,8 en 3 % N in het blad. Oorzaak zijn luchtconcentraties van 20 tot 400 µg m⁻³ jaargemiddeld.

Voor de evaluatie van kritische concentraties in relatie tot luchtverontreiniging wordt hier een zgn. 'envelope'-benadering gebruikt: voor een reeks van expositieduren worden effectieve concentratieniveaus onderscheiden. Hiermee kan een lijn met NOEC(no observable effect concentrations)-waarden geconstrueerd kan worden, waaronder geen luchtverontreinigingseffect verwacht wordt. In deze benadering gaat het om de eerste, soms subtiele effecten van luchtverontreiniging, dit in tegenstelling tot benaderingen die bijv. de LC50 (lethale concentratie voor 50 % van de populatie) hanteren. Het resultaat voor de effecten van NH₃ is uitgezet samen met de gesignaleerde schadegevallen (Fig. 4.1).



Figuur 4.1 Verzameling van schadelijke effecten van NH_3 op meerdere plantensoorten bij een aantal exponentiële niveaus. De licht gekromde lijn (B) is getrokken onder alle effectieve blootstellingsniveaus, de sterk gekromde lijn (A) sluit kwetsbare plantensoorten (kasgewassen en ook heidesoorten) uit.

De effectgrenslijn A wordt beschreven door:

$$(1 + \log t) * (-1 + \log C) = 4,0089 \quad (3)$$

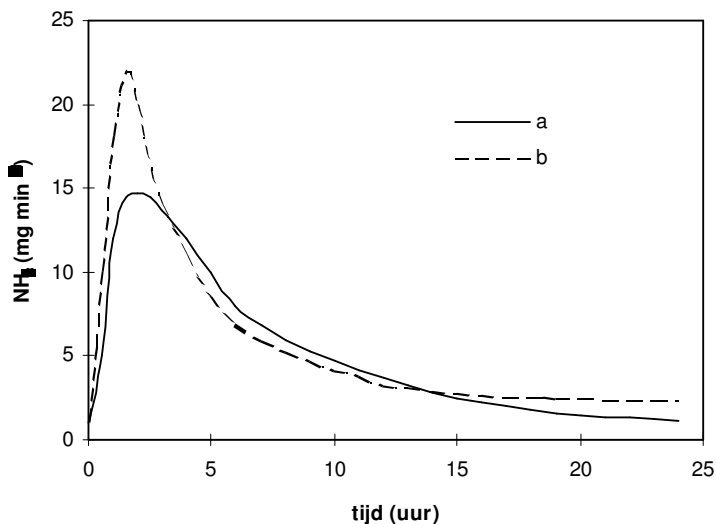
waarbij t de expositieduur in uren en C de concentratie in $\mu\text{g m}^{-3}$.

Volgens de grenslijn B wordt, na licht extrapolatie a.d.h.v. de kwetsbare soorten, bij een jaargemiddelde concentratie van $8 \mu\text{g m}^{-3}$ 95 % van de in Nederland aanwezige plantensoorten beschermd. Deze waarde is vergelijkbaar met de achtergrondconcentratie in immisiegebieden, op ruime afstand van gebieden met veel veehouderij.

De abiotische omstandigheden spelen een belangrijke rol in de uiteindelijke NH_3 -effecten op de plant. De weersomstandigheden hebben invloed op zowel de NH_3 -opname als op het NH_3 -assimilatievermogen. Meer wind en dus meer turbulentie verminderen de grenslaagweerstand boven het blad, zodat meer NH_3 (en CO_2) kan worden opgenomen. De plant kan meer N verwerken indien de CO_2 -assimilatiesnelheid hoog is. Een voldoende aanbod aan koolhydraten is nodig om de opgeloste ammonium te assimileren in aminozuren.

Het blijkt dat de kasgewassen tot de meest gevoelige plantensoorten behoren, waarbij de NOEC-waarde ligt bij de lage waarden van schadecategorie 2. Schade kan reeds ontstaan bij concentraties van $100 \mu\text{g m}^{-3}$ gedurende 80 uur, of $20 \mu\text{g m}^{-3}$ gedurende 1000 uur (ca. 40 dagen). De hoogste waarden zoals gemeten bij Maltaflor-, Ecomix- en kippenmest-toediening zouden volgens deze grenslijn binnen schadecategorie 1 vallen en door aantasting van het bladweefsel snel tot plantsterfte leiden. Als de emissie lineair met de tijd heeft plaatsgevonden, zou bij kippenmest reeds na 10 dagen een concentratie van ca. $3000 \mu\text{g m}^{-3}$ zijn bereikt en hebben geleid tot plantsterfte. Dergelijke concentraties werden bij Maltaflor en Ecomix al binnen 10 dagen bereikt. De hoge concentratie in één van de controlebehandelingen lag onder het niveau van schadecategorie 1 en leidde niet tot schade in de meetperiode.

De ammoniakemissie vindt meestal snel na toediening van mest plaats (Fig. 4.2), en kasplanten zullen vooral op korte-termijn na mestaanwending met ammoniak belast worden. In een gesloten kas kan de ammoniak na verloop van tijd verdwijnen door kleine lekken danwel oplossing in condenswater of plantopname.



Figuur 4.2. Ammoniakemissie na het aanbrengen van mest (a) en na het sproeien van 2 kg urine (b) op een rooster (naar Elzing et al., 1992).

4.3. Risicoschatting en aanbevelingen

Aanwending van een aantal organische meststoffen vormt een duidelijke risico-factor bij het begin van de teelt van kasgewassen. In vier van de vijf schadegevallen was sprake van een te hoge gasconcentratie van ammoniak, terwijl de componenten lachgas en methaan niet boven de achtergrondconcentratie uit kwamen. Er is geen verband gevonden tussen optreden van plantschade en ammoniumconcentratie in de meststof. Ammoniakemissie wordt meestal geschat uit de gegeven ureum of uit de gegeven N, als maat voor het ureum-niveau. De N-dosering was nagenoeg constant in alle mestbehandelingen, dus emissieverschillen zijn hoogstwaarschijnlijk te herleiden uit verschillen in ureum- en/of eiwitgehalten. Deze gehalten zijn niet bekend voor deze meststoffen. Kwantitatieve relaties tussen dergelijke gehalten en emissie zijn niet bekend uit de literatuur. Voor praktijksituaties lijkt bepaling van een dergelijke relatie volgens deskundigen vrijwel onhaalbaar (Sommer and Hutchings, 2001). Voor gecontroleerde omgevingscondities kan slechts verder experimenteel onderzoek een kwantitative relatie tussen ureum- of urinezuurniveau's en emissie aantonen. Ook de korrelgrootte en menging van de meststof in de grond zullen hierbij een rol spelen.

Met de huidige resultaten kan wel een grove schatting van een schadevrije bemesting gemaakt worden. Gesteld dat (a) geen schade optreed bij $3300 \mu\text{g m}^{-3}$ en (b) de gasconcentratie evenredig is aan de N-gift, dan is een maximum dosis van 400 kg N middels Maltaflor vrij van plantschade. Deze conclusie beperkt zich tot de gebruikte grond, de gebruikte oppervlakkige (5cm diep) mestinwerking, de gebruikte testplant (jonge radijs) en een blootstelling gedurende 14 dagen. Voor de meststoffen Ecomix en kippenkorrels lijkt een lichte vermindering van de gift (niveau's waren equivalent aan 300 en 1200 kg N voor respectievelijk Ecomix en kippenkorrels) reeds voldoende om bij een dergelijk mini-kas systeem een schadevrije plantengroei te waarborgen. Omdat deze proef zich baseert op eindmetingen, en niet op tussentijdse metingen met waarschijnlijk lagere concentraties, wordt aangeraden bij vermelde meststoffenniveaus een veiligheidsmarge in te bouwen. Naast reductie van de gift, kunnen oplossingen voor ammoniakschade gezocht worden in:

- (a) Meststoffen dieper inwerken (in proef is slechts 5 cm ingewerkt)
- (b) andere meststoffen
- (c) aanzuren van de bovengrond
- (d) meststoffen zo vroeg mogelijk toedienen, snel beginnen met stoken en dan afluchten.

5. Literatuur

- Akiyama, H. and H. Tsuruta. 2003. Effect of organic matter application on N₂O, NO, and NO₂ fluxes from an Andisol field - art. no. 1100. *Global Biogeochemical cycles* 17:
- Amon, B., T. Amon, J. Boxberger and C. Alt. 2001. Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60:103-113.
- Bugbee, B., Spanarkel, B., Johnson, S., Mone, O., Koerner, G., 1994. CO₂ crop growth enhancement and toxicity in wheat and rice, *Advances in Space Research*, vol. 14, no. 11: 257-267.
- Clemens, J. and H.-J. Ahlgrimm. 2001. Greenhouse gases from animal husbandry: mitigation options. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60:287-300.
- Cao, HF, J. Liu, YH. Zhuang and D. Glindemann. 2000. Emission sources of atmospheric phosphine and simulation of phosphine formation. *SCIENCE-IN-CHINA-SERIES-B-CHEMISTRY*. 43 (2): 162-168.
- Elzing, A., Kroodsmma, W., Scholtens, R. en Uenk, G.H., 1992. Ammoniakemissie-metingen in een modelsysteem van een rundveestal: theoretische beschouwingen. IMAG-DLO rapport no. 92-3, Wageningen, 23 pp.
- FOMA, 1996. Veevoeding en ammoniakemissie: stand van zaken in het onderzoek. Financieringsoverleg mest- en ammoniakonderzoek (FOMA), kwaliteitsreeks no. 37.
- Frank, R. and G. Rippen. 1987. Verhalten von phosphin in der atmosphäre. [Fate of phosphine in the atmosphere]. *Lebensmitteltechnik*, July/August 1987. 409-411.
- Gay, S.W., D.R. Schmidt, C.J. Clanton, K.A. Janni, L.D. Jacobson and S. Weisberg. 2003. Odor, total reduced sulfur, and ammonia emissions from animal housing facilities and manure storage units in Minnesota. *Applied Engineering in Agriculture* 19: 347-360.
- Hellebrand, H.J. and W.D. Kalk. 2001. Emission of carbon monoxide during composting of dung and green waste. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 79-82.
- Marcelis, L.F.M., Voogt, W., de Visser, P.H.B., Postma, J., Heinen, M., De Werd, R. and Straatsma, G.. 2003. Organische stofmanagement in biologische kasteelt. PRI-rapport no. 70, Wageningen, NL.
- McGinn, S.M., K.M. Koenig and T. Coates. 2002, Effect of diet on odorant emissions from cattle manure. *Canadian Journal of Animal Science* 82: 435-444.
- Sommer, S.G. and Hutchings, N.J., 2001. Ammonia emission from field applied manure and its reduction. *European Journal of Agronomy* 15(1): 1-15.
- WHO, 2001. Air Quality Guidelines for Europe 2000, second edition. World Health Organisation, Regional Publications, European Series No. 91. Regional Office for Europe, Copenhagen.
- Yan, X,Y., H. Akimoto and T. Ohara. 2003. Estimation of nitrous oxide, nitric oxide and ammonia emissions from croplands in East, Southeast and South Asia. *Global Change Biology* 9: 1080-1096.