

Ammoniakemissie na toediening van verdunde mest

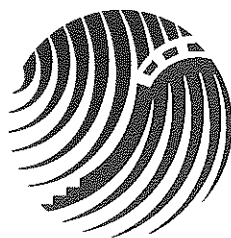
Het effect van de verdunning van mest en andere
factoren op de ammoniakemissie na bovengrondse
breedwerpige mesttoediening

J.F.M. Huijsmans

J.M.G. Hol

M.M.W.B. Hendriks CWB (CPRO-DLO)

imag-dlo



Ammoniakemissie na toediening van verdunde mest

Het effect van de verdunning van mest en andere
factoren op de ammoniakemissie na bovengrondse
breedwerpige mesttoediening

J.F.M. Huijsmans

J.M.G. Hol

M.M.W.B. Hendriks CWB (CPRO-DLO)

Intern verslag

Nota P 97-75

Oktober 1997

DLO Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG-DLO)

Mansholtlaan 10-12

Postbus 43, 6700 AA Wageningen

Telefoon 0317 - 476300

Telefax 0317 - 425670

Interne mededeling IMAG-DLO. Niets uit deze nota mag elders worden vermeld, of worden
vermenigvuldigd op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van IMAG-
DLO.

Bronvermelding zonder weergave van de feitelijke inhoud is evenwel toegestaan, op voorwaarde van
de volledige vermelding van: auteursnaam, jaartal, titel, instituut en notanummer en de toevoeging:
'niet gepubliceerd'.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any
nature, in any form of by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise,
without the prior written permission of IMAG-DLO.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Databestanden en gevolgde methodiek	3
3	Statistische analyse	5
3.1	Emissieverschillen tussen technieken (verdunningen)	5
3.2	Factoren die invloed hebben op de emissie	5
4	Resultaten	7
4.1	Emissieverschillen tussen technieken (verdunningen)	7
4.2	Factoren die invloed hebben op de emissie	7
5	Discussie	11
6	Conclusies en aanbevelingen	12
	Literatuurlijst	13
	Bijlagen	

1 Inleiding

Het milieubeleid van de rijksoverheid is erop gericht de ammoniakemissie uit de landbouw vergaand te reduceren. Circa 50% van de totale ammoniakemissie die optreedt in de landbouw vindt plaats na de mesttoediening op het land (Groot Koerkamp et al, 1990).

De hoogte van de ammoniakemissie na de mesttoediening wordt onder andere bepaald door de mest-samenstelling (de ammoniumconcentratie, de zuurgraad en het drogestofgehalte), omgevingsfactoren (weersomstandigheden, grondsoort, bodemconditie en eventuele begroeiing) en bedrijfstechnische factoren (mestgift, structuur van de grond, toedieningstechniek, verdunning en toevoeging van middelen aan de mest). Interacties tussen deze factoren zijn in het algemeen complex van aard, zodat moeilijk is aan te geven welke factor bepalend is voor de hoogte van de emissie (Mulder en Huijmans, 1994).

Voor het emissiearm toedienen van de mest zijn de laatste jaren in Nederland veel nieuwe technieken ontwikkeld. In de periode van 1989 tot en met 1993 zijn deze technieken onderzocht op de ammoniakemissie na mesttoediening in vergelijking met de ammoniakemissie die optreedt na bovengronds, breedwerpig toedienen van mest. Dit had tot doel het emissiereducerend effect van de betreffende techniek te bepalen. Een van de onderzochte technieken was het verdunnen van de mest met water. Door verdunnen van de mest werd de indringing in de grond verbeterd. De effectiviteit van deze methode leek sterk afhankelijk van de weersomstandigheden en grondcondities. De metingen gaven een grote spreiding in de emissie te zien (REM, 1992). Op grond van deze resultaten kon geen eenduidig oordeel worden gegeven over de bereikbare emissiereductie en welke omstandigheden specifiek van invloed waren op de hoogte van de emissie na het bovengronds verspreiden van verdunde en onverdunde mest.

De laatste jaren werd het in de veenweidegebieden toegelaten verdunde mest uit te rijden met een sproeiboom. Deze machine bestond uit een aantal spuitkoppen die de verdunde mest bovengronds breedwerpig via een spreidplaat naar beneden verspreidden. Deze methode werd met name toegepast in het voorjaar. In het kader van de besluitvorming over de toelating van het uitrijden van verdunde mest (sproeiboom) als emissiearme techniek, was een beter inzicht in de emissiereductie en de spreiding in de emissie bij het uitrijden van verdunde mest gewenst. Hiertoe is onderzoek uitgevoerd naar het effect van verdunnen van mest op de emissie en de factoren die de spreiding in deze emissie(reductie) kunnen verklaren, door gebruik te maken van een reeds bestaande onderzoekgegevens. De resultaten van dit onderzoek worden in dit rapport beschreven.

2 Databestanden en gevolgde methodiek

In de periode 1989 tot 1993 zijn door de DLO-veldmeetploeg, het IMAG-DLO en het NMI metingen verricht naar de ammoniakemissie na het toedienen van verdunde mest op grasland. Deze metingen werden uitgevoerd volgens de micrometeorologische massabalans methode en hadden tot doel het emissiebeperkend effect van de verdunning te bepalen ten opzichte van onverdunde mest. In deze onderzoeken werd steeds een proefveld met onverdunde en met verdunde mest aangelegd, waarbij de emissie gedurende verschillende tijdsperiodes werd gemeten. Het aanleggen van de proefvelden vond ongeveer gelijktijdig plaats, zodat de factoren die de emissie konden beïnvloeden voor beide proefvelden binnen een experiment gelijk waren. De metingen startten direct na het toedienen van de mest waarbij de monstername periodes als volgt werden ingedeeld: 0-0,5 uur na het uitrijden, 0,5-1,5 uur, 1,5-3 uur, 3-6 uur, 6-9 uur, 9-22 uur, 22-46 uur, 46-72 uur en 72-96 uur na het uitrijden. De emissie werd uitgedrukt als een percentage van de ammoniumgift (NB: wanneer in de tekst ammonium wordt gebruikt wordt hieronder verstaan de som van de hoeveelheid ammonium en ammoniak in de mest). De cumulatieve emissie werd verkregen door sommatie van de gemeten emissies gedurende deze tijdsintervallen. Een korte beschrijving van deze meetmethode en de opzet van de experimenten staat in Bijlage 1.

Naast de meting van de ammoniakemissie na het toedienen van de mest werden bij iedere meting de volgende invloedsfactoren gemeten of verzameld:

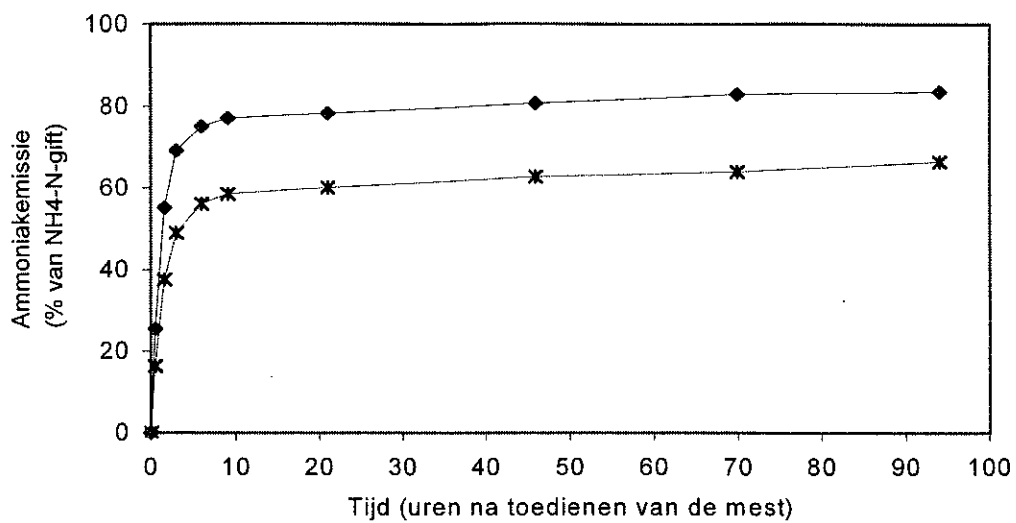
- weersomstandigheden tijdens de meting: windsnelheid, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. Deze gegevens werden continu gemeten en gemiddeld over de tijdsperiodes waarover de emissie werd gemeten.
- bodem- en gewastoeestand bij aanvang van de meting: grondsoort (klei, veen of zand), bodemvochtgehalte en grashoogte.
- mestgegevens bij aanvang van de meting: gift (m^3/ha), samenstelling (drogestof-ammoniumgehalte) en soort (rundermest of varkensmest).

Van de emissiegegevens en de beschikbare invloedsfactoren werd een dataset gemaakt voor de verdere analyse. Naast de experimenten die in Bijlage 2 staan genoemd werd bij de analyse gebruik gemaakt van de resultaten van alle in het verleden uitgevoerde proeven waarbij onverdunde mest bovengronds breedwerpig was toegediend (referentiemetingen). Dit waren 32 proeven.

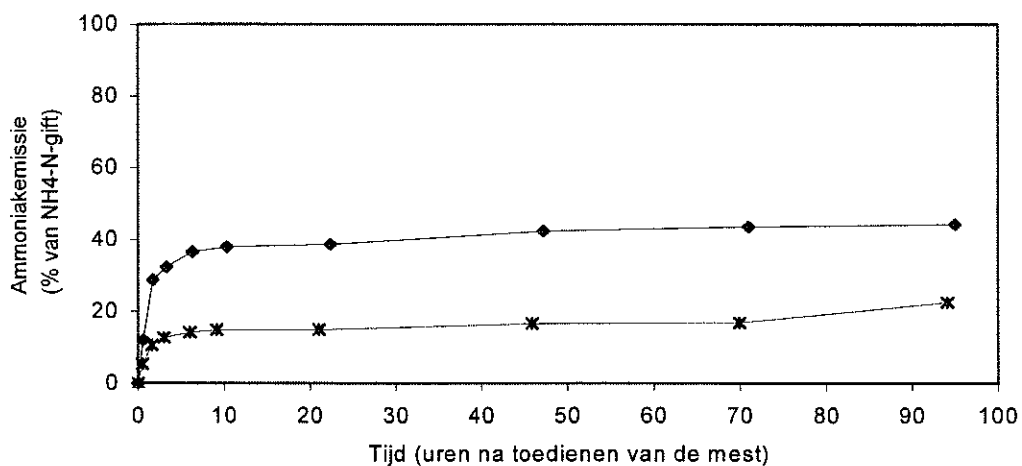
Bij de opzet van de proeven werden de verdunningen aangemaakt door water aan een tank met mest toe te voegen totdat de betreffende gewichtsverhouding was bereikt. Van de uitgereden (verdunde) mest werden monsters genomen om de samenstelling van de mest vast te stellen. De verdunning werd berekend aan de hand van de ammoniumgehalten van de onverdunde en verdunde mest en werd weergegeven als een verhouding: verdunning 1:1 betekent 1 deel mest en 1 deel water. Bij het uitrijden van de verdunde mest was het in de onderzoeken de opzet om de werkelijke mestgift ($\text{kg NH}_4\text{-N}$ per ha) gelijk te houden aan de onverdunde mestgift. Dit betekende dus dat bij het verdunnen een grotere hoeveelheid water (de verdunning) werd uitgereden.

In Bijlage 2 is een overzicht gegeven van de resultaten van de metingen bij het toedienen van verdunde mest. In totaal zijn 20 metingen verzameld: 8 metingen bij een verdunning van 1:1, 3 bij een verdunning 1:2 en 9 bij een verdunning 1:3. In week 15 en 28 in 1989 en week 31 in 1990 werd dunne varkensmest uitgereden, in de andere experimenten dunne rundermest.

In Figuur 1 en 2 zijn voorbeelden gegeven van het verloop van de cumulatieve ammoniakemissie na de mesttoediening. Uit deze figuren blijkt dat het verloop van de cumulatieve emissie in deze experimenten min of meer gelijk was en dat alleen de hoogten van de optredende emissie verschilden.



Figuur 1. Voorbeeld van het verloop van de ammoniakemissie na het toedienen van 1:1 verdunde mest (-*)- en onbehandelde mest, referentie (-♦-).



Figuur 2. Voorbeeld van het verloop van de ammoniakemissie na het toedienen van 1:3 verdunde mest (-*)- en onbehandelde mest, referentie (-♦-).

3 Statistische analyse

De vraag die moest worden beantwoord was tweeledig namelijk:

1. Is er verschil in emissie voor de verschillende technieken: verschil tussen de referentiemethode (bovengronds breedwerpig verspreiden van de mest) en verdunning (mest verdund met water bovengronds breedwerpig verspreid, zoals bij de referentiemethode). Hierbij werden 3 verschillende verdunningen onderzocht: nl. 1:1, 1:2 en 1:3 (mest:water).
2. Welke factoren hebben invloed op de emissie bij het bovengronds breedwerpig toedienen van verdunde en onverdunde mest.

Voor een goede schatting van de variabiliteit werd de dataset met de gegevens van de verdunningsproeven (20 experimenten) gekoppeld aan de reeds bestaande dataset van alle referentiemetingen (32 experimenten) die de afgelopen jaren zijn uitgevoerd. Bij de metingen werd niet de cumulatieve emissie gemeten, maar de toename van de emissie tussen opeenvolgende tijdstippen. Om de invloed van de gebruikte techniek (verdunning) op de emissie te analyseren werd de cumulatieve emissie op een bepaald tijdstip genomen. Gekozen werd voor de cumulatieve emissie na 6 uur (over de periode dat de emissie per tijdseenheid ongeveer het grootst is), en de cumulatieve emissie voor de hele waarnemingsperiode (circa 96 uur). Daartoe werd de cumulatieve emissie op een tijdstip ongeveer 6 uur na begin van het experiment gedeeld door de tijd verstreken sinds het begin van het experiment (er was enige variatie in de tijdstippen waarop de emissie gemeten werd). Verder werd de cumulatieve emissie op het laatst gemeten tijdstip wel direct geanalyseerd (zonder te corrigeren voor de lengte van de meetperiode).

3.1 Emissieverschillen tussen technieken (verdunningen)

In het volgende is de cumulatieve emissie gegeven als percentage van de NH_4 -gift; deze wordt in het vervolg relatieve cumulatieve emissie genoemd. Voor de analyses van vraag 1, de invloed van de techniek (verdunning) op de emissie werd het volgende model gebruikt:

$$y_{ij} = \alpha_i + \beta_j + e_{ij} \quad (1)$$

hierin is y_{ij} = de logaritme van de relatieve cumulatieve emissie voor tijdstip 6 gedeeld door de meettijd of de logaritme van de relatieve cumulatieve emissie na 96 uur (of laatste gemeten tijdstip); α_i = de verwachte relatieve cumulatieve emissie voor techniek i , op log-schaal, β_j = het toevalseffect voor de j -de experimentele eenheid (veldje binnen een experiment) en e_{ij} is het residu. De verwachtingswaarde van zowel β_j als e_{ij} is 0.

Er werd verondersteld dat de emissie normaal verdeeld was (op log-schaal) en dat de variantie op de log-schaal constant was. Als vaste effecten werden in dit geval de technieken (verdunningen) meegenomen, terwijl de variatie in de omstandigheden tussen meetperioden, dus de weken waarin gemeten was, als toevalseffecten in het model werden opgenomen. Dit laatste was te verantwoorden door aan te nemen dat binnen een week de omstandigheden gelijk waren voor de verschillende technieken (onverdunde en verdunde mest). De experimenten werden op ongeveer hetzelfde tijdstip gestart, de velden waarop de mest werd uitgereden lagen binnen een bepaalde week geografisch dicht bij elkaar (op hetzelfde perceel) en de mest werd genomen uit dezelfde mestopslag. Het bovenstaande model, waarin vaste en toevalseffecten vertegenwoordigd waren, de variatie constant en de relatie tussen respons en effecten lineair verondersteld werd, was een lineair gemengd model en kon gefit worden met behulp van de Genstat procedure REML (Genstat, 1993).

3.2 Factoren die invloed hebben op de emissie

Bij de analyse van de factoren die invloed hebben op de emissie werd geanalyseerd of de variatie, die aangemerkt werd als toevalsvariatie (tussen experimenten) bij de techniekvergelijking (vergelijking (1)), te verklaren was uit gegevens die beschikbaar waren over de weersomstandigheden, de bodem- en gewastoeestand, de mestgift, de mestsamenstelling en de mestsoort. Bij deze analyse werden de gemiddelde weersomstandigheden per geanalyseerde periode gebruikt en de bodem-, gewas- en

mestgegevens op het moment van de mesttoediening. Om de invloedsfactoren op de emissie te bepalen werd een regressie-analyse uitgevoerd op de logaritme van de beide gekozen responsvariabelen (6 uur en 96 na toedienen van de mest).

In de analyse werden de referentietechniek en het verdunnen opgevat als een en dezelfde techniek: zowel de verdunde als onverdunde mest werd bovengronds breedwerpig verspreid; alleen het ammoniumgehalte (g/kg) van de uitgereden mest en de mestgift (m^3/ha) verschilden.

De emissie werd uitgedrukt als percentage van de ammoniumgift (kg/ha), dit is de mestgift vermenigvuldigd met de NH_4 -concentratie van de mest. In deze relatieve emissie was dus gecorrigeerd voor het ammoniumgehalte en de mestgift. Om nu de invloed van mestgift en NH_4 -concentratie op de emissie te kunnen analyseren werd de relatieve emissie weer teruggetransformeerd naar de oorspronkelijke emissie (kg ammoniak per ha). Hierdoor kon de invloed van veranderende mestgift en ammoniumgehalte op de emissie bepaald worden. Een analyse werd uitgevoerd op zowel de cumulatieve emissie na 6 uur (gecorrigeerd voor tijdstip) als de totale emissie (cumulatieve emissie op laatste meettijdstip). Voor de analyse van de invloed van de gemiddelde weersomstandigheden, mestkenmerken en bodem- en gewastoeestand, werd een regressie-analyse uitgevoerd op y_i , de logaritme van beide bovengenoemde respons variabelen:

$$y_i = f(\text{weer, mest, bodem, gewas}) + e_i \quad (2)$$

4 Resultaten

4.1 Emissieverschillen tussen technieken (verduunningen)

Bij de berekening van de emissie na 6 uur werd de emissie op de oorspronkelijke schaal uitgedrukt als percentage van de ammoniumgift per tijdseenheid (per uur). Na terugtransformatie naar de oorspronkelijke schaal werden de gemiddelden voor de emissie nog met 6 vermenigvuldigd, om zodoende om te rekenen naar een cumulatieve relatieve emissie over de eerste 6 uur. Bij berekening van de emissie na 96 uur werd de emissie op de oorspronkelijke schaal uitgedrukt als percentage van de ammoniumgift. In Tabel 1 staan de geschatte gemiddelde cumulatieve emissies na 6 uur (per uur) en na 96 uur voor de verschillende technieken.

Tabel 1. Relatieve emissie per uur na 6 uur, de hieruit berekende cumulatieve relatieve emissie na 6 uur en de cumulatieve relatieve emissie na 96 uur. Verschillende letters binnen een kolom duiden op een significant verschil.

	Relatieve emissie per uur na 6 uur	Cumulatieve relatieve emissie na 6 uur	Cumulatieve relatieve emissie na 96 uur
Referentie (n=15)	8,8 ^a	53,1	64,8 ^a
1:1 verduunning (n=8)	6,7 ^b	40,4	48,4 ^b
1:2 verduunning (n=3)	2,3 ^c	13,9	18,5 ^c
1:3 verduunning (n=9)	3,0 ^c	18,1	24,3 ^c

Zowel voor de emissie (per uur) na 6 uur als voor de emissie na 96 uur verschillen alle voorspelde gemiddelden significant van elkaar, behalve het verschil in emissie tussen 1:2 verduunning en de 1:3 verduunning; deze verschillen waren niet significant. Hierbij moet worden opgemerkt dat de emissie bij de 1:2 verduunning slechts in 3 proeven was gemeten.

De gemeten emissies vertoonden een relatief grote spreiding. Met de gegevens van Tabel 1 werden de gemiddelde emissiereducties berekend, dit was bij de 1:1 verduunning 25%, bij de 1:2 verduunning 71% en bij de 1:3 verduunning 63%. De 1:2 verduunning betrof slechts een beperkt aantal metingen.

4.2 Factoren die invloed hebben op de emissie

Uit de analyse (volgens paragraaf 3.2) van alle gemeten invloedsfactoren, zoals deze genoemd zijn in hoofdstuk 2, volgde dat de emissie gedurende de eerste 6 uur na het bovengronds breedwerpig toedienen van de mest met name bepaald werd door de volgende factoren:

- mestgift (m^3/ha)
- ammoniumgehalte in de mest (g/kg mest)
- ammoniumgift (kg/ha)
- grondsoort
- gemiddelde temperatuur gedurende de eerste 6 uur na uitrijden
- gemiddelde windsnelheid gedurende de eerste 6 uur na uitrijden

De interactie tussen de variabelen mestgift en ammoniumgehalte is vertegenwoordigd in de variabele ammoniumgift.

Bij de analyse van de emissie na 96 uur bleek dat de emissie na het bovengronds breedwerpig toedienen van de mest met name bepaald werd door de volgende factoren:

- mestgift (m^3/ha)
- ammoniumgehalte in de mest (g/kg mest)
- ammoniumgift (kg/ha)
- grondsoort

De gemiddelde temperatuur en windsnelheid (gedurende 96 uur na toedienen) hadden geen significante invloed op de emissie, dit in tegenstelling tot wat bij de emissie gedurende de eerste 6 uur werd gevonden.

De emissie gedurende de eerste 6 uur vertegenwoordigde een groot deel van de uiteindelijke totale emissie (zie Tabel 1) en vertoonde daarmee ook een duidelijke correlatie. Het was daarom te verwachten dat de invloedsfactoren gedurende deze eerste 6 uur ook de totale emissie na 96 mede bepaalden.

Daarom werd een extra analyse uitgevoerd waarbij de periode afhankelijke variabelen (temperatuur, windsnelheid, relatieve luchtvochtigheid en straling) voor de eerste 6 uur als invloedsfactoren voor de emissie na 96 uur werden meegenomen. Uit deze analyse volgde dat de emissie na 96 uur met name bepaald werd door de volgende factoren:

- mestgift (m^3/ha)
- ammoniumgehalte in de mest (g/kg mest)
- ammoniumgift (kg/ha)
- grondsoort
- gemiddelde temperatuur gedurende de eerste 6 uur na uitrijden
- gemiddelde windsnelheid gedurende de eerste 6 uur na uitrijden

Samenvattend kan vergelijking (2) dus voor de responsvariabele emissiesnelheid gedurende de eerste 6 uur en de totale emissie na 96 uur als volgt weergegeven worden:

$$y = C_j + \beta_1 * T_6 + \beta_2 * W_6 + \beta_3 * \text{NH}_4\text{-N} + \beta_4 * \text{mestgift} + \beta_5 * (\text{NH}_4\text{-N} * \text{mestgift}) + e \quad (3)$$

Uit de analyse bleek dat verlaging van de gemiddelde temperatuur over de eerste 6 uur (T_6) een lagere emissie gaf, terwijl een verhoging van de gemiddelde windsnelheid gedurende de eerste 6 uur (W_6) een hogere emissie gaf. Een verhoging van de ammoniumconcentratie van de mest ($\text{NH}_4\text{-N}$) afzonderlijk leidde tot een verlaging van de emissie; verhoging van de mestgift gaf een verlaging van de emissie. Verhoging van de ammoniumgift ($\text{NH}_4\text{-N} * \text{mestgift}$) leidde tot een verhoging van de emissie. Uit de analyse bleek dat verdunning van de mest uiteindelijk tot een lagere emissie leidde. Resultaten van de analyse gaven aan dat het effect van de grondsoort (C_j : klei, veen, zand) in het algemeen het emissieniveau op de veengrond 20% lager was dan op de kleigrond. Dit gold zowel voor de referentie als de verdunningen. Hierbij moet opgemerkt worden dat de emissiemetingen waren uitgevoerd op een zware kleigrond (komklei). Het emissieniveau op de zandgrond was lager dan op de veengrond.

In Tabel 2 staan de gegevens en de spreiding van de invloedsfactoren en de variabelen waarop de regressie-analyse heeft plaatsgevonden. Voorspellingen met het model hebben een geldigheid voor de betreffende dataset. Zo kan niet onbepaald geëxtrapoleerd worden naar omstandigheden die niet voldoende met meetgegevens zijn onderbouwd.

Tabel 2. Gemiddelde, minimum en maximum waarden van de omstandigheden en de mestgegevens over alle experimenten.

	Gemiddelde	Minimum	Maximum
Temperatuur tot 6 uur ($^{\circ}\text{C}$)	16,4	7,4	30,3
Temperatuur totale meetperiode ($^{\circ}\text{C}$)	13,2	5,5	22,4
Windsnelheid tot 6 uur (m/s)	3,5	1,2	7,6
Windsnelheid totale meetperiode (m/s)	2,7	1,2	6,6
Mestgift (m^3/ha)	18,9	8,3	47,4
Ammoniumgehalte (g/kg mest)	2,2	0,4	6,4
Ammoniumgift (kg/ha)	33,8	14,3	110,2

Uitgaande van de regressiemodellen kon een voorspelling worden gemaakt van de grootte van de invloed van deze factoren en variabelen op de uiteindelijke emissie.

Voorbeeld 1

In Tabel 3 staan de gekozen uitgangspunten voor de invloedsfactoren waarbij de mestgift werd gevarieerd. De resultaten van de voorspellingen van de cumulatieve relatieve emissie na 6 en 96 uur worden gegeven in Tabel 4.

Tabel 3. De gekozen uitgangspunten voor de invloedsfactoren waarbij de mestgift werd gevarieerd.

	Referentie	1:1 verdunning	1:3 verdunning
Mestgift A (m ³ /ha)	10	20	40
Mestgift B (m ³ /ha)	15	30	60
Ammoniumgehalte in de mest (g/kg)	2	1	0,5
Grondsoort	Klei	Klei	Klei
Gemiddelde temperatuur de eerste 6 uur (°C)	15	15	15
Gemiddelde windsnelheid de eerste 6 uur (m/s)	3	3	3

Tabel 4. Voorspelde cumulatieve relatieve emissie na 6 uur en na 96 uur (% van de ammoniumgift) op basis van de uitgangspunten genoemd in Tabel 3.

Na 6 uur				Na 96 uur		
	Referentie	1:1 verdunning	1:3 verdunning	Referentie	1:1 verdunning	1:3 verdunning
Mestgift A	62	49	22	75	60	29
Mestgift B	49	31	9	60	39	13

Tabel 4 geeft een illustratie van de hoogte van de relatieve emissie van zowel de referentie als de verdunningen.

Voorbeeld 2

In Tabel 5 zijn uitgangspunten gegeven, waarbij de mestgift gelijk bleef, maar de windsnelheid werd gevarieerd. De temperatuur was 5 °C lager gekozen dan in voorbeeld 2. De resultaten van de schattingen van de relatieve emissie voor deze situatie worden gegeven in Tabel 6.

Tabel 5. De gekozen uitgangspunten voor de invloedsfactoren waarbij de windsnelheid werd gevarieerd.

	Referentie	1:1 verdunning	1:3 verdunning
Mestgift (m ³ /ha)	15	30	60
Ammoniumgehalte in de mest (g/kg)	2	1	0,5
Grondsoort	Klei	Klei	Klei
Gemiddelde temperatuur de eerste 6 uur, (°C)	10	10	10
Gemiddelde windsnelheid de eerste 6 uur (m/s)	1	1	1
Gemiddelde windsnelheid de eerste 6 uur (m/s)	3	3	3
Gemiddelde windsnelheid de eerste 6 uur (m/s)	5	5	5

Tabel 6. Voorspelde cumulatieve relatieve emissie na 6 uur en na 96 uur (% van de ammoniumgift) op basis van de uitgangspunten genoemd in Tabel 5.

Na 6 uur				Na 96 uur		
	Referentie	1:1 verdunning	1:3 verdunning	Referentie	1:1 verdunning	1:3 verdunning
Windsnelheid 1 m/s	34	21	6	43	29	9
Windsnelheid 3 m/s	43	27	8	54	35	12
Windsnelheid 5 m/s	55	34	10	66	44	14

Tabel 6 illustreert dat de voorspelde relatieve emissie hoger werd voor hogere windsnelheden voor zowel de referentie als de verdunningen.

Met beide voorbeelden wordt geïllustreerd dat de verschillende factoren invloed hadden op de emissie. Een onderlinge vergelijking van voorbeeld 1 en 2 illustreert dat de verlaging van de temperatuur een lagere relatieve emissie gaf; een verhoging van de windsnelheid (bij de lagere temperatuur) gaf echter een verhoging van de relatieve emissie.

De hier gemaakte voorspellingen hebben een geldigheid voor de betreffende dataset (zie Tabel 2). Zo kan niet onbeperkt geëxtrapoleerd worden naar omstandigheden die niet voldoende met meetgegevens zijn onderbouwd.

5 Discussie

De uitgevoerde onderzoeken in Nederland waren gericht op het bepalen van de emissiereductie bij het verdunnen van mest ten opzichte van de emissie bij onverdunde mest. Voor een goede bepaling hiervan werden deze vergelijkende metingen uitgevoerd onder gelijke veld- en weersomstandigheden op verschillende tijdstippen gedurende het jaar.

De uitgevoerde onderzoeken waren niet opgezet voor de bepaling van het effect van verschillende invloedsfactoren op de hoogte van de optredende ammoniakemissie. De analyse, zoals beschreven in paragraaf 3.2 vereiste een groot aantal waarnemingen. Met de beschikbare data (47 referentiemetingen en 20 verdunningsmetingen) kon een deel van de optredende variatie verklaard worden. De analyses hebben kwantitatief het effect aan kunnen geven van de invloedsfactoren mestgift, ammoniumgehalte, ammoniumgift, grondsoort en de gemiddelde temperatuur en windsnelheid gedurende de eerste 6 uur na uitrijden.

In de literatuur worden invloedsfactoren wel vaak genoemd. Verschillende onderzoekers hebben geprobeerd verklaringen te geven voor de hoogte van de optredende ammoniakemissie. Het bleek moeilijk om ammoniakfluxen te relateren aan meteorologische parameters (Allen *et al.*, 1988). Uit verschillende onderzoeken bleek dat bedrijfstechnische en omgevingsfactoren invloed hadden op de uiteindelijke ammoniakemissie. Er was geen overeenstemming over de mate waarin de weersomstandigheden de emissie bepaalden. Volgens Brunke *et al.* (1988) zou de emissie van dunne mest niet zozeer afhankelijk zijn van één enkele meteorologische variabele, maar meer van een combinatie van factoren die tot uitdroging van de mest leiden, en dus tot hogere ammoniumconcentraties. Dit was enigszins te zien aan het dag-nachtritme in de hoogte van de emissie op de tweede en derde dag. Door een lage windsnelheid, een lage temperatuur en een hoge relatieve luchtvochtigheid zou de ammoniakemissie gedurende de nacht veelal laag zijn en door een hogere windsnelheid, een hogere temperatuur en een lagere relatieve luchtvochtigheid zou de ammoniakemissie overdag enigszins toenemen ten opzichte van de voorafgaande nacht. Doordat de ammoniumvoorraad uitgeput raakte, zou het emissieniveau naar verloop van tijd echter lager worden. Het huidige onderzoek onderbouwt deze benadering verder kwantitatief.

Resultaten van het onderzoek van Brunke *et al.* (1988) wezen er ook op dat de ammoniakemissie sterker afhankelijk was van de factoren mestsamenstelling en toedieningstechniek dan van omgevingsfactoren. De in dit onderzoek uitgevoerde analyses (paragraaf 4.4) op de verzamelde data gaven aan dat de emissie beïnvloed werd door meerdere factoren. Het huidige onderzoek was beperkt tot één techniek namelijk het bovengronds verspreiden van mest.

Het is niet te verwachten dat de techniek voor bovengronds breedwerpig verspreiden van onverdunde of verdunde mest invloed had op de emissie. De emissiegegevens van de verdunde mest waren afkomstig van experimenten, waarbij de mest met behulp van een traditionele mengmestverspreider met ketsplaat werd toegediend. Bij de sproeiboom werd de mest laag bij de grond en naar de grond gericht verspreid. Bij de mesttoediening kon onderscheid worden gemaakt tussen twee emissiebronnen namelijk de emissie tijdens het uitrijden en die na het uitrijden. Met de emissie "tijdens het uitrijden" werd bedoeld de emissie die optrad in de periode tussen het uitstromen van de mest uit de toedieningsmachine en het op het land terechtkomen. Onderzoek heeft aangetoond dat deze emissie bij toepassing van een mengmestverspreider (met ketsplaat) verwaarloosbaar is ten opzichte van de emissie die vrij komt uit de op het land liggende mest, "na het uitrijden" (Pain, B.F. en J.V. Klarenbeek, 1988; Bruins en Huijsmans, 1989). Het laag bij de grond verspreiden zal dus vanuit het oogpunt emissiebeperking geen echte bijdrage leveren. Op basis hiervan is het niet te verwachten dat de emissie bij toepassing van de sproeiboom lager zou zijn dan bij andere bovengrondse systemen om verdunde mest uit te rijden.

6 Conclusies en aanbevelingen

De gemeten emissies vertoonden een relatief grote spreiding. De gemiddelde emissiereducties die konden worden berekend waren bij de 1:1 verdunning 25%, bij de 1:2 verdunning 71% en bij de 1:3 verdunning 63%. Het onderzoek bij de 1:2 verdunning betreft slechts 3 metingen.

De uitgevoerde onderzoeken waren niet opgezet voor de bepaling van het effect van verschillende invloedsfactoren op de hoogte van de optredende ammoniakemissie. Met de beschikbare data (47 referentie-metingen en 20 verdunningsmetingen) kon een deel van de optredende variatie verklaard worden. De analyses hebben kwantitatief het effect aan kunnen geven van de invloedsfactoren mestgift, ammoniumgehalte, ammoniumgift, grondsoort en de gemiddelde temperatuur en windsnelheid gedurende de eerste 6 uur na uitrijden.

De factoren mestgift en ammoniumgehalte vertonen een interactie in de vorm van de factor ammoniumgift (kg/ha). De factoren geven aan dat bij het verdunnen van de mest de emissie gereduceerd wordt. Een lagere temperatuur gaf een lagere emissie, echter een hogere windsnelheid verhoogde de emissie; het relatieve effect van de windsnelheid leek (voor de Nederlandse situaties) groter dan het temperatuureffect. Het emissieniveau op de veengrond was 20% lager dan op de kleigrond. Dit gold zowel voor de referentie als de verdunningen. Hierbij moet opgemerkt worden dat de emissiemetingen waren uitgevoerd op een zware kleigrond (komklei). Het emissieniveau op de zandgrond was lager dan op de veengrond.

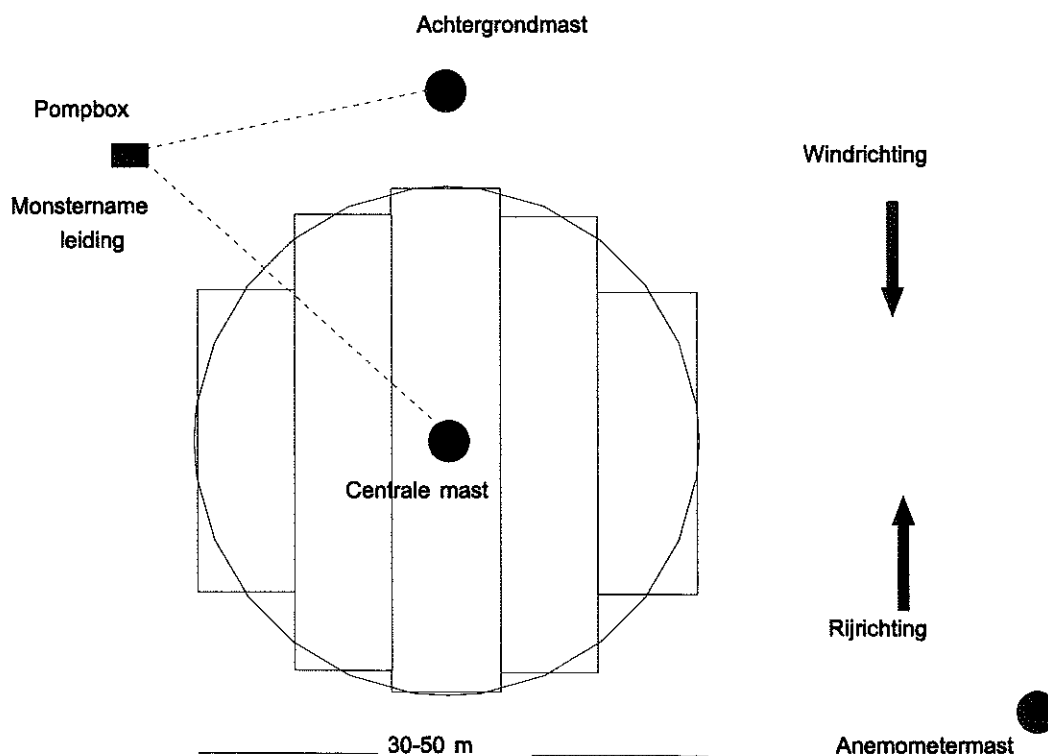
Om meer onderbouwde uitspraken te doen over het effect van verschillende invloedsfactoren zal specifiek onderzoek uitgevoerd moeten worden. Voor de 1:2 verdunning was een beperkt aantal meetgegevens beschikbaar, de mate van verdunnen en de bijbehorende emissiereductie zal daarom nader bepaald moeten worden.

Literatuurlijst

- Allen, A.G., R.M. Harrison en M.T. Wake, 1988. A meso-scale study of the behaviour of atmospheric ammonia and ammonium, *Atmospheric Environment* 22, 1347-1353.
- Beauchamp, E.G., G.E. Kidd en G. Thurtell, 1978. Ammonia volatilization from sewage sludge applied in the field, *J. Environ. Qual.* 7, 141-146.
- Bode, M.C.J. de, 1990a. Ammoniakemissie-onderzoek bij mestaanwending: de ammoniakemissie bij aanwending van rundveemengmest met behulp van de duospraymachine, DLO-meetploegverslag 34506-2000. DLO, Wageningen.
- Bode, M.C.J. de, 1990b. Ammoniakemissie-onderzoek bij mestaanwending: de ammoniakemissie bij aanwending van varkensmengmest met behulp van de duospraymachine, DLO-meetploegverslag 34506-2100. DLO, Wageningen.
- Bruins, M.A. en J.F.M. Huijsmans, 1989. De reductie van de ammoniakemissie uit varkensmest na toediening op bouwland. Wageningen, IMAG-DLO rapport 225, 27 pp.
- Brunke, R., P. Alvo, P. Schüpp en R. Gordon, 1988. Effect of meteorological parameters on ammonia loss from manure in the field, *J. Environ. Qual.* 17, 431-436.
- Bussink, D.W., J.V. Klarenbeek, J.F.M. Huijsmans en M. Bruins, 1990. Ammoniakemissie bij verschillende toedieningsmethoden van dunne mest aan grasland. Rapport A 89.086. NMI, Den Haag.
- Bussink, D.W. en S.G. Tjalma, 1991. Ammoniakemissie bij verschillende toedieningsmethoden van dunne mest aan grasland. Rapport A 90.086. NMI, Den Haag.
- Denmead, O.T., 1983. Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field, in: Freney, J.R. en J.R. Simpson (eds.), *Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems*, pp 1-29. *Developments in Plants and Soil Sciences*, vol. 9. Martinus Nijhoff, Den Haag.
- Denmead, O.T., J.R. Simpson en J.R. Freney, 1977. A direct field measurement of ammonia emission after injection of anhydrous ammonia, *Soil Sci. Soc. Am.* 41, 1001-1004.
- Genstat 5 Committee, 1993. *Genstat 5 Release 3 Reference Manual*. Clarendon Press, Oxford, 796 pp.
- Groot Koerkamp, P.W.G., N. Verdoes en G.J. Monteny, 1990. Naar stallen met beperkte ammoniakuitstoot. Deelrapport Bronnen, Processen en Factoren. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 8A. DLO, Wageningen, 83 pp.
- Hol, J.M.G., 1993. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie bij mesttoediening: het toedienen van 1:1-, 1:3- en 1:6-verdunde rundermest op grasland, DLO-meetploegverslag 34506-1800. DLO, Wageningen.
- Hol, J.M.G., 1997. Ammoniakemissie bij verschillende toedieningsmethoden van dunne rundermest op veengrasland, in voorbereiding. IMAG-DLO Wageningen.
- Huijsmans J.F.M. en J.M.G. Hol, 1994. Ammoniakemissie bij verschillende toedieningsmethoden van dunne rundermest op veengrasland, Nota P 94-72. IMAG-DLO Wageningen.
- Klarenbeek, J.V., A.J. Tichelaar en C.J.P. Smeets, 1992. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie na bovengronds, breedwerpig toedienen van verdunde en aangezuurde dunne rundermest en stalmest op grasland. Nota P 92-76. IMAG-DLO Wageningen.
- Mulder, E.M. en J.M.G. Hol, 1992. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie bij mesttoediening: het effect van toedienen van dunne rundermest met de duospraymachine op kleigrasland, DLO-meetploegverslag 34506-4600. DLO, Wageningen.
- Mulder, E.M. en J.M.G. Hol, 1993. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie bij mesttoediening: het effect van verdunde rundermest in het vroeg voorjaar, DLO-meetploegverslag 34506-5900. DLO, Wageningen.
- Mulder, E.M. en J.F.M. Huijsmans, 1994. Beperking ammoniakemissie bij mesttoediening; overzicht metingen DLO-veldmeetploeg 1990-1993. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 18. DLO, Wageningen, 71 pp.
- Pain, B.F. en J.V. Klarenbeek, 1988. Anglo-Dutch experiments on odour and ammonia emissions from landspreading livestock wastes. Wageningen, IMAG-DLO Research report 91-9.
- REM, 1992. Bovengronds verspreiden van verdunde mest, Ministerie van LNV, 13 pp.
- Ryden, J.C. en J.E. McNeill, 1984. Application of the micrometeorological mass balance method to the determination of ammonia loss from a grazed sward, *J. Sci. Food Agr.* 35, 1297-1310.

Bijlage 1 Micrometeorologische massabalansmethode voor het meten van de ammoniakemissie van bemeste velden

Bij de micrometeorologische massabalansmethode wordt de hoeveelheid vervluchtigde ammoniumstikstof van een bemest veld berekend uit het verschil in de gemeten ammoniakconcentratie in de lucht tussen de centrale mast en benedenwindse mast (achtergrondmast), vermenigvuldigd met de windsnelheid (zie figuur 1. Voor een meer theoretische beschrijving van deze methode wordt verwezen naar Denmead *et al.* (1977), Beauchamp *et al.* (1978), Denmead (1983) en Ryden en McNeill (1984).



Figuur 1. Schema van een proefveld voor de micrometeorologische massabalansmethode.

Met behulp van een 3,5 m hoge, aluminium mast met 7, logaritmic met de hoogte verdeelde, monsternamenpunten werd het concentratieprofiel in het midden van een bemest proefveld gemeten (centrale mast). Deze waarden gaven de concentraties in de lucht weer, die een afstand gelijk aan de straal van het veld (aanstroamlengte) had afgelegd. Een mast met 4 monsternamenpunten werd bovenwinds van het proefveld gezet om de achtergrondconcentratie in de aangevoerde lucht te bepalen (achtergrondmast). De monsternamenpunten bestonden uit gaswasflessen gevuld met 0,02 M HNO_3 als absorptievloeistof en een impinger. Met de impingers werd door middel van een pomp en aanzuigslangen lucht door de absorptievloeistof geleid. Het windsnelheidsprofiel werd gemeten met een mast met 6 anemometers, die logaritmic met de hoogte waren verdeeld.

De bemeste proefvelden hadden een oppervlakte van circa 0,15 ha en waren bij benadering rond, zodat bij verschillende windrichtingen de aanstroamlengtes tot de centrale mast vrijwel gelijk bleven. Een cirkelvormig veld werd verkregen door de mest in banen uit te rijden. De lengte en breedte van deze banen werden opgemeten en met behulp van een weegbrug werd per proefveld de hoeveelheid toegediende mest bepaald. Uit deze gegevens kon de mestgift in m^3/ha worden berekend.

Om de emissie goed te meten moesten de monsternamperiodes direct na het toedienen kort zijn. Hierna nam de emissiesnelheid in het algemeen snel af, zodat op langere monsternamperiodes kon worden overgegaan. De volgende monsternamperiodes na het moment van toediening werden aangehouden:

eerste dag: 0 - 0,5 uur, 0,5 - 1,5 uur, 1,5 - 3 uur, 3 - 6 uur, 6 uur-schemering, schemering-24 uur;

tweede dag: 24-48 uur;

derde dag: 48-72 uur;

vierde dag: 72-96 uur.

Na de meetperiodes werd in het laboratorium de hoeveelheid ammoniumstikstof in de absorptievloeistof bepaald. De (relatieve) ammoniakemissie werd verkregen door de hoeveelheid vervluchtigde ammoniumstikstof als percentage uit te drukken van de hoeveelheid toegediende ammoniumstikstof.

Bijlage 2.

Mestgift (m^3/ha) en ammoniakemissie (% van $\text{NH}_4\text{-N}$ gift) 6 en 96 uur na toedienen van bovengronds breedwerpig toegediende onverdunde (referentie) en verdunde mest en de emissiereductie van de verdunning ten opzichte van de referentie. De verdunning is op basis van het ammoniumgehalte in de mest.

Verdunning	Jaar	Week	Grond	Mestgift (m^3/ha)	Referentie Emissie (% $\text{NH}_4\text{-N}$) na 6 uur	Referentie Emissie (% $\text{NH}_4\text{-N}$) na 96 uur	Mestgift (m^3/ha)	Verdunning Emissie (% $\text{NH}_4\text{-N}$) na 6 uur	Verdunning Emissie (% $\text{NH}_4\text{-N}$) na 96 uur	Reductie %	Literatuur
1:1	1989	38	veen	15,4	60,6	66,1	27,1	18,8	21,5	67	Hol, 1997
	1990	17	veen	10,2	50,1	58,3	15,8	60,1	72,7	0	Huijsmans en Hol, 1994
	1990	22	veen	9,8	36,5	44,2	16,1	42,6	50,1	0	Huijsmans en Hol, 1994
	1990	25	klei	8,8	74,3	84,5	17,2	59,9	73,9	13	Hol, 1993
	1990	30	klei	8,6	75,0	83,5	16,8	56,1	66,4	20	Bode, 1990a
	1990	31	klei	8,4	62,3	66,2	17,5	49,9	56,6	15	Bode, 1990b
	1990	36	veen	9,6	43,6	49,7	16,6	45,8	53,3	0	Huijsmans en Hol, 1994
	1992	12	klei	17,6	70,8	84,8	37,8	25,3	36,4	57	Mulder en Hol, 1992
	1989	13	zand	17,2	25,4	29,3	13,0	7,9	8,5	71	Bussink <i>et al.</i> , 1990
	1993	10	klei	17,9	59,1	71,1	47,4	21,4	25,6	64	Mulder en Hol, 1993
1:2	1993	10	klei	18,5	60,4	71,9	39,5	15,3	24,6	66	Mulder en Hol, 1993
	1989	15	zand	10,0	23,6	27,3	40,0	12,6	15,2	44	Bussink <i>et al.</i> , 1990
	1989	28	klei	12,7	58,8	68,1	40,0	24,0	33,3	51	Bussink <i>et al.</i> , 1990
1:3	1989	38	veen	15,4	60,6	66,1	36,1	24,0	34,7	48	Hol, 1997
	1990	17	veen	10,2	50,1	58,3	39,3	14,7	20,7	65	Huijsmans en Hol, 1994
	1990	22	veen	9,8	36,5	44,2	38,4	14,1	22,5	49	Huijsmans en Hol, 1994
	1990	24	zand	9,9	24,7	33,9	39,0	9,6	12,6	63	Bussink en Tjalma, 1991
	1990	26	zand	9,8	45,7	51,0	38,6	12,9	14,3	72	Bussink en Tjalma, 1991
	1990	35	veen	12,7	34,2	52,0	42,5	10,2	14,4	73	Klarenbeek <i>et al.</i> , 1992
	1990	36	veen	9,6	43,6	49,7	34,4	30,0	40,7	18	Huijsmans en Hol, 1994
	1989	15	zand	10,0	23,6	27,3	40,0	12,6	15,2	44	Bussink <i>et al.</i> , 1990
	1989	28	klei	12,7	58,8	68,1	40,0	24,0	33,3	51	Bussink <i>et al.</i> , 1990
	1989	38	veen	15,4	60,6	66,1	36,1	24,0	34,7	48	Hol, 1997