

Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVI

Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met
betonroosters voor melkvee

R. Scholtens
J.W.H Huis in 't Veld

Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVI

Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met
betonroosters voor melkvee

R. Scholtens
J.W.H. Huis in 't Veld

Rapport 97-1006

© 1997
Dienst Landbouwkundig Onderzoek
Postbus 59, 6700 AB Wageningen

**Alle informatie beschikbaar bij
IMAG-DLO
Postbus 43, 6700 AA Wageningen
Telefoon: (0317) 476300
Telefax: (0317) 425670**

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 enig andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

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

Inhoud

SAMENVATTING.....	1
1 INLEIDING.....	2
2 MATERIAAL EN METHODE	3
2.1 STAL EN BEDRIJFSVOERING	3
2.2 MEETOPSTELLING.....	3
2.2.1 Injectie tracergas.....	4
2.2.2 Bemonstering van de stallucht	5
2.2.3 Gas-analysers	5
2.2.4 Overige metingen.....	6
2.3 TEMPERATUUR, WINDRICHTING EN -SNELHEID TIJDENS STAL- EN WEIDEPERIODE...	6
2.4 OVERZICHT VAN DE WEEKGEMIDDELDEN VAN EEN AANTAL METINGEN.....	9
2.5 MEETMETHODE VOOR DE NH ₃ -PRODUCTIE: DE RATIOMETHODE.....	12
2.6 TEST MET EEN VERPLAATSBARE CO-LIJNBRON OP DE MESTGANG.....	14
2.7 BEREKENINGSWIJZE VAN DE NH ₃ -PRODUCTIE	15
2.8 BRUIKBARE DAGEN	16
3 RESULTATEN EN DISCUSSIE	17
3.1 STALPERIODE	18
3.2 WEIDEPERIODE.....	19
3.3 TEST MET EEN VERPLAATSBARE CO-LIJNBRON OP DE MESTGANG.....	20
3.4 INVLOED VAN METEOROLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN OP DE MEETRESULTATEN ..	21
4 CONCLUSIES	25
LITERATUUR	26
BIJLAGEN	

Samenvatting

Ammoniak (NH_3) is naast NO_x en SO_x één van de meest belangrijke verzurende componenten in ons milieu. De overheid heeft tot doel gesteld dat de emissie van ammoniak ten opzichte van het niveau in 1980 in het jaar 2000 met 50% en in 2005 met 70% afgenomen moet zijn. In dit kader werd onderzoek verricht naar de ammoniakemissie uit een natuurlijk geventileerde 2+1 rijige ligboxenstal voor melkvee. De stal was voorzien van betonroosters en was volledig onderkelderd met uitzondering van de melkstal en het melklokaal. Het aantal dierplaatsen in de stal was 60.

De metingen werden uitgevoerd met een tracergas. Dit tracergas werd zodanig in de stal geïnjecteerd dat het zich vergelijkbaar met ammoniak vanaf het rooster kon verspreiden. Met een verzamelleiding werd een mengmonster van de stallucht genomen. In dit mengmonster werden de tracergas- en de ammoniakconcentratie gemeten. Uit deze concentraties en het injectieniveau van het tracergas werd de ammoniakemissie berekend.

De metingen vonden plaats in de periode van 1 januari 1996 tot en met 31 juli 1996. Over deze periode werden uurgemiddelde ammoniakemissies uit de stal gemeten. Met deze cijfers werd de ammoniakemissie voor een stalperiode van 190 dagen en over een weideperiode van 175 dagen berekend. De ammoniakemissie voor de stal- en weideperiode bedroeg respectievelijk 8.9 en 7.0 kg per melkkoe.

1 Inleiding

De meest belangrijke verzurende componenten van ons milieu zijn SO_2 , NO_x (NO en NO_2) en NH_3 , samen met hun reactieproducten, in het kort SO_x , NO_y en NH_x genoemd. In 1993 was 86% van de verzuring door NH_x uit eigen land afkomstig en kwam 92% daarvan uit de landbouw. De bijdrage van NH_x aan de totale verzuring in Nederland bedroeg in 1993 47% (Heij en Schneider, 1995). De overheid heeft tot doel gesteld dat de emissie van ammoniak ten opzichte van het niveau in 1980 in het jaar 2000 met 50% en in 2005 met 70% afgenomen moet zijn (Notitie Mest- en Ammoniakbeleid derde fase, 1993). Om dit te kunnen realiseren wordt momenteel veel onderzoek verricht naar emissiearme huisvestingsystemen voor landbouwhuisdieren.

Behalve via onderzoek komen er ook vanuit de praktijk vele ideeën en initiatieven om de ammoniakemissie terug te dringen. Om deze op waarde te schatten dient aan, in potentie, emissiearme huisvestingsystemen onder normale bedrijfsomstandigheden te worden gemeten. De aanvragen hiervoor komen binnen bij de Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen, die hieruit de aanvragen selecteert die wat betreft de NH_3 -emissievermindering perspectief bieden. Tegelijkertijd dienen de systemen geen andere negatieve milieu-effecten te veroorzaken. Deze begeleidingscommissie bestaat uit vertegenwoordigers van de overheid en het landbouwbedrijfsleven. Het onderzoek wordt vervolgens uitgevoerd door de DLO-stalmeetploeg.

In bovenstaand kader werd aan een traditionele natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee gemeten. Deze metingen werden uitgevoerd om referentiewaarden te verkrijgen voor de ammoniakemissie tijdens een stal- en een weideperiode. Verder werd de toegepaste meetmethode, de ratiomethode, gecontroleerd met een tweede tracergas. Tenslotte werd er nagegaan of de invloed van de windsnelheid en de windrichting op de ammoniakemissie in de metingen kon worden teruggevonden.

2 Materiaal en methode

2.1 Stal en bedrijfsvoering

Van 1 januari 1996 tot en met 31 juli 1996 werd de ammoniakemissie gemeten in een natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee (zie Bijlage A). Tijdens de meetperiode waren in de stal gemiddeld 33,8 melkgevende of lacterende koeien, 4,8 droogstaande koeien en 14,3 stuks jongvee aanwezig (zie Bijlage B). De melkkoeien hadden een voorjaar afkalfpatroon (maart - april). Omgerekend naar het aantal "equivalente melkkoeien", op basis van N-uitscheiding (Scherphof, 1996) waren gemiddeld 47,9 dieren in de stal aanwezig. Tot 22 april verbleven de dieren continu in de stal, het aantal equivalente melkkoeien was in deze periode 49,4. Na 22 april verbleven de melkkoeien overdag in de weide. Tijdens deze periode was het aantal equivalente melkkoeien 46,7. De droogstaande koeien en het jongvee bleven steeds in de stal. Alle wijzigingen in de groep-samenstelling werden geregistreerd. De onderzoekstal was een natuurlijk geventileerde 2+1 rijige ligboxenstal met 60 dierplaatsen. De ligboxen waren ingestrooid met houtzaagsel. De mestgang was voorzien van betonroosters. Het totale roosteroppervlak bedroeg 212 m² wat neerkomt op ca. 3,5 m² per dierplaats. De stal was geheel onderkelderd, de totale opslagcapaciteit bedroeg 850 m³. Handelingen met de mest zoals mixen of leeghalen van de kelder werden geregistreerd. De ligging van de stal was noord/zuid. Langs de zijmuren van de stal waren ventilatieopeningen aangebracht met een hoogte van 43 cm. De openingen op een hoogte van 2,2 m waren voorzien van windbreekgaas. Tevens was de mogelijkheid aanwezig om met een rolgordijn de ventilatieopeningen geheel of gedeeltelijk af te sluiten. De stal had een open nok zonder kap. De melktijden waren van ca. 6.00 tot ca. 7.15 uur en van ca. 18.00 tot ca. 19.15 uur. De gemiddelde melkproductie bedroeg 23,5 kg per koe per dag met 4,54 % vet en 3,51 % eiwit.

Het ruwvoer van de melkkoeien bestond uit grassilage en maïskuil. Het voer werd veelal tweemaal per week naar binnen gereden. Maïs werd, met name in het begin, matig opgenomen. Tijdens de stalperiode was de drogestof-opname uit ruwvoer per melkkoel per dag ca. 11 kg. Tot 27 maart was de ruwvoerverdeling: 2,5 kg ds maïs en 8,5 kg ds grassilage. Na 27 maart werd iets meer maïs gevoerd en was de verdeling 3,5 kg ds maïs en 7,5 kg ds grassilage. Na 22 april waren de melkkoeien overdag in de weide en werden ze bijgevoerd met 1,5 kg ds maïs en 2,5 kg ds grassilage. De ruwvoersamenstelling is weergegeven in Bijlage C.

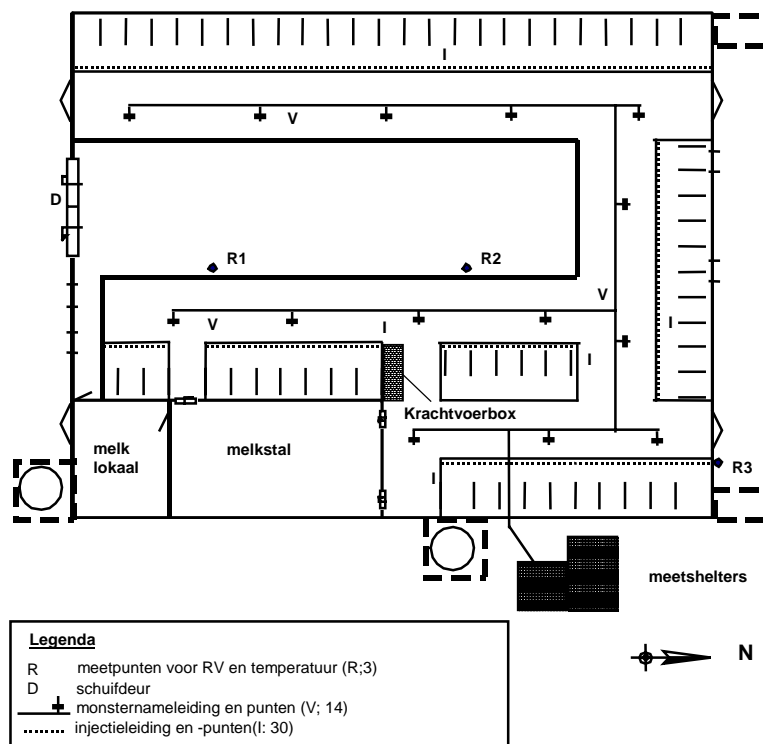
Het krachtvoer werd verstrekt via één krachtvoerbox in de stal, alsmede in het melklokaal. De krachtvoergift per melkkoel bedroeg gemiddeld 3,5 kg ds (matig eiwitrijk/pulp + soya) via de krachtvoerbox en ca. 2,5 kg ds (A-brok/pulp) in de melkput. Drinkwater was vrij beschikbaar. De overige dieren in de stal kregen tot 27 maart (pinken) en 4 april (droogstaande koeien en kalveren) alleen grassilage. Later werden de dieren gevoerd met gerstestro, aangevuld met een krachtvoermengsel (A-brok/pulp). Verandering van voergift werd geregistreerd, een overzicht is opgenomen in Bijlage D.

In Figuur 1 is een schematische tekening van de ligboxenstal opgenomen. In Bijlage A is een schets met de ligging van de stal opgenomen. Ten zuiden van de stal was op ca. 4 m afstand een hoge materiaalschuur aanwezig. Aan de oostzijde van de ligboxenstal bevond zich, op ca. 15 m afstand, een vleesvarkensstal. Aan de noordzijde van de stal was een boomgaard met enkele vruchtbomen. Ten westen van de stal bevonden zich geen obstakels c.q. dierverblijven.

2.2 Meetopstelling

De meetopstelling was geautomatiseerd door middel van PC gestuurde data-aquisitieapparatuur. De besturingsprogrammatuur voor de meetopstelling was

geschreven in ASYST versie 4.0. Overeenkomstige meetopstellingen zijn beschreven door Van 't Ooster (1993) en Van der Heiden *et al.* (1998). De gaschromatograaf voor de SF₆-metingen werd aangestuurd door Chrom-Card software (versie 1.17) op een tweede PC met een 4-kanaals A/D-kaart. De PC met de ASYST software verzorgde de timing van de tracergasanalyses. Het gebruikte tracergas was sulphur hexafluoride (SF₆).



Figuur 1 Schematische voorstelling van de ligboxenstal

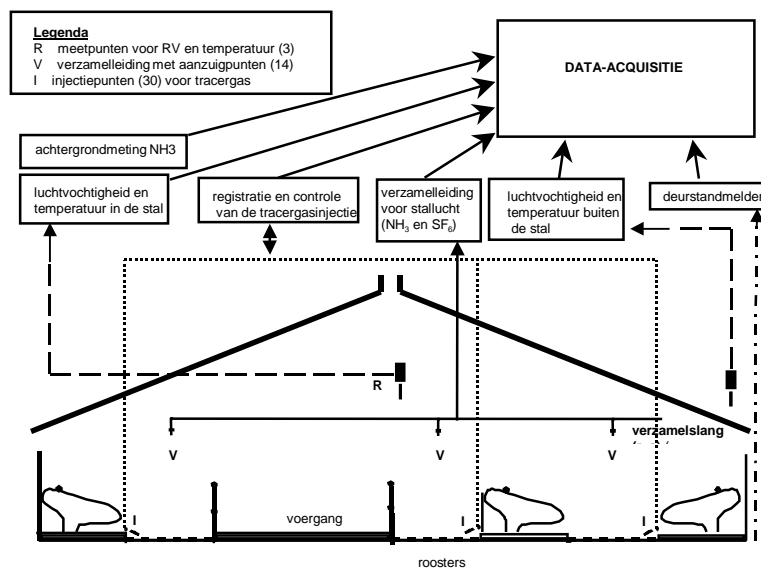
Het meetsysteem bestond uit de volgende onderdelen (zie Figuur 1 en Figuur 2):

- besturingsprogramma en data-acquisitie
- module voor injectie van tracergas in de stal;
- module voor bemonsteren van stallucht;
- gasanalysers voor tracergas en NH₃;
- deurstandmelder voor de grote deur;
- klimaatsensoren (temperatuur en RV);

2.2.1 Injectie tracergas

In Figuur 1 en Figuur 2 is te zien op welke plaats het tracergas (SF₆) in de stal werd geïnjecteerd. Dit gebeurde op de scheidslijn tussen de mestroosters en de ligboxen. In totaal waren 30 injectiepunten aangebracht verdeeld over de gehele stal. De injectiepunten waren zodanig verdeeld dat ieder punt circa 7,5 m² mestgang bediende. De onderlinge afstand van de injectiepunten varieerde tussen 2,25 en 2,6 m.

In de meetshelter werd met behulp van twee thermische Mass Flow Controllers (MFC) zuiver SF₆-gas (ca. 4 ml/min) en perslucht (ca. 15 l/min) met elkaar gemengd. Dit luchtmengsel werd in de stal geïnjecteerd. De injectieleidingen bestonden uit ¼" polyetheenslang (PE). Kritische capillairen (Euroglas: 1000 ml/min) zorgden voor een gelijkmatige verdeling van het injectiegas over de injectiepunten (één kritisch capillair voor één injectiepunt). Wekelijks werden de injectiepunten schoongemaakt en werden de flows gecontroleerd.



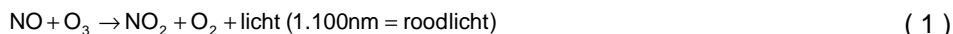
Figuur 2 Schematisch overzicht van het meetsysteem in de stal

2.2.2 Bemonstering van de stallucht

Met een ¼" roestvrijstalen (rvs) verzamelleiding werd op 14 punten stallucht aangezogen met een debiet van ca. 1 l/min per monsternamepunt. De monsternamepunten bevonden zich in het midden van de mestgangen op ca. 2,2 m hoogte. Stallucht werd, op ieder aanzuigpunt, gefilterd met een 1,7µ glasvezel filter in een rvs filterhuis. Voor het aanzuigen van de gemonsterde lucht werd een rvs pomp gebruikt. Het materiaal van alle leidingen, koppel- en verbindingstukken van de monsternamepunten naar de pomp was rvs (type 316). Vanaf de pomp ging één rvs-leiding naar de gaschromatograaf voor bepaling van de SF₆-concentratie, en één teflonleiding naar een NH₃-converter en de NO_x-monitor voor bepaling van de NH₃-concentratie.

2.2.3 Gas-analysers

De NH₃-concentratie werd continu gemeten met behulp van een NO_x-monitor (Monitor Labs nitrogen oxide analyser model 8840). De NH₃ in de stallucht wordt omgezet in NO. De meting is gebaseerd op de chemieluminescentie na de reactie tussen O₃ en NO:



Deze methode is uitgebreid beschreven door Scholtens (1993). Hier wordt volstaan met een korte beschrijving van het systeem.

Om NH₃ te kunnen meten moet het eerst door een converter omgezet worden tot NO. In de converter passeert de luchtstroom een teflon filter (5 µ) waarna het verhit wordt tot 775 °C. Bij deze temperatuur wordt NH₃, aan een roestvrijstalen (rvs-316) katalysator geoxideerd tot NO. De converter dient zo dicht mogelijk bij het monsternamepunt gemonteerd te worden om het transport van NH₃ tot een minimum te beperken. NH₃ adsorbeert makkelijk aan allerlei materialen en lost makkelijk op in water, waardoor metingen verstoord kunnen worden.

Om condensvorming in de leidingen en slangen te voorkomen werd verwarmingslint (ca.13 W/m) en buisisolatie aangebracht. Het in de converters gevormde stabiele NO werd door de verwarmde en geïsoleerde leidingen naar de monitor geleid. De maximaal meetbare NH₃-concentratie was 50 ppm. De converters werden voor en na de meetperiode geijkt. Voor aanvang van de metingen werd gemiddeld 92% van de aangeboden NH₃ als NO gemeten; na de metingen was dat 93,3%. Hiervoor werd

gecorrigeerd.

Voor de analyse van het SF₆ tracergas werd gebruik gemaakt van een gaschromatograaf (GC 8000 series van Fisons Instruments). Deze was uitgerust met een ECD-80 detector (Electron Capture Detection). Tevens was de GC voorzien van een automatisch injectiesysteem met een injectielus van 500 µl. De stallucht werd continu langs het monsternamepunt van de GC geleid. Iedere 7 minuten werd een luchtmonster genomen en geanalyseerd. De scheiding van de gasen in de GC vond plaats over twee gepakte Molsieve 5A kolommen (kolom 1: diam. 1/8", lengte 1m; kolom 2: diam. 1/8", lengte 2m). Nadat het SF₆ de eerste kolom was gepasseerd werd deze middels een backflush-systeem schoongespoeld. Op deze wijze raakten analysekolom 2 en de ECD detector minder snel vervuild. Als dragergas werd N₂ gebruikt.

Tot 17 april werden zowel de NO_x-monitor als de GC dagelijks automatisch gekalibreerd. Na deze datum is, i.v.m. storingen aan het automatische kalibratiesysteem, overgegaan op wekelijkse handmatige kalibratie. Iedere week werd de apparatuur gecontroleerd, de monitor gekalibreerd en de filters zo nodig vervangen. De kalibratie van de NO_x-analyser werd uitgevoerd met een ijkgas van NO in N₂ (ca. 40 ppm; ± 1 %). De GC werd gekalibreerd met een ijkgas van SF₆ in N₂ (ca. 50,5 ppb; ± 2 %). Het SF₆-ijkgas was door het NMI gecontroleerd. De gebruikte NO-ijkgasen werden gecontroleerd met een primaire standaard (± 0,5 %) van het NMI.

2.2.4 Overige metingen

Op twee plaatsen in de stal werd op ca. 3 m hoogte een gecombineerde relatieve luchtvochtigheid- en temperatuurmeting uitgevoerd (Rotronic Hygromer© type I-200). De relatieve luchtvochtigheid en de temperatuur van de buitenlucht werden met een zelfde type sensor geregistreerd op 2,5 m hoogte aan de noordgevel van de stal. In de nabijheid van de meetshelters werd de buitenluchttemperatuur gemeten, met een thermokoppel, op ca. 2 m hoogte tegen de gevel van de stal.

De deurstand van de grote schuifdeur werd geregistreerd met een ultrasone afstandsmeter. De overige kleine deuren bleven tijdens de stalperiode gesloten. Achtergrondmetingen voor NH₃ en SF₆ vonden plaats op één punt achter de meetshelter aan de oostkant van de stal. Op deze locatie werden meetbare NH₃-gehalten verwacht ten gevolge van een nabij gelegen varkensstal. Aan de westkant van de stal was geen bron voor NH₃ aanwezig.

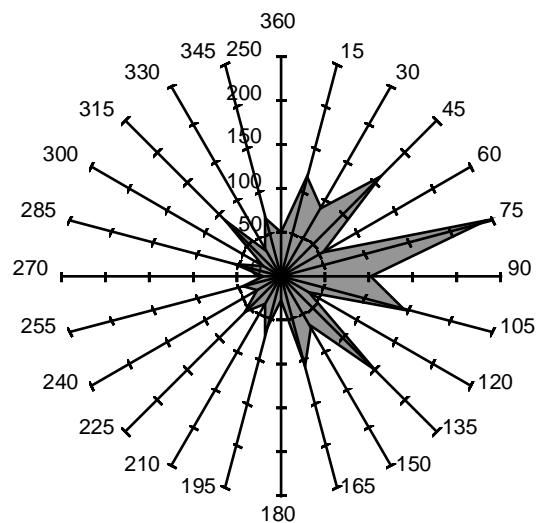
2.3 Temperatuur, windrichting en -snelheid tijdens stal- en weideperiode

Bij het KNMI in de Bilt, hemelsbreed ca. 20 km verwijderd, werden aanvullende meteogegevens opgevraagd. Het betrof metingen van relatieve luchtvochtigheid, temperatuur, windsnelheid en -richting, neerslaghoeveelheid, luchtdruk en globale straling.

Het KNMI karakteriseerde het weer tijdens de meetperiode als volgt: de decembermaand was zeer koud, zonnig en droog. Het was de op vijf na koudste decembermaand van de eeuw. Januari was koud, zeer zonnig en extreem droog. Februari was koud maar had normale hoeveelheden zonneschijn en neerslag. Ook in maart was het koud, waardoor voor de vierde maand in successie de temperatuur onder de normale waarden bleef. Maart was verder droog en zonnig. April bleek de droogste maand van de eeuw. Het begin van de maand was koud, later werd het warmer. Ook in mei bleef het de eerste helft van de maand koud. Het was verder een sombere maand door het lage aantal uren zonneschijn. Juni was droog en zonnig met vrijwel normale temperaturen. In juli was het aan de koele kant, er viel weinig regen en het aantal uren zonneschijn was normaal.

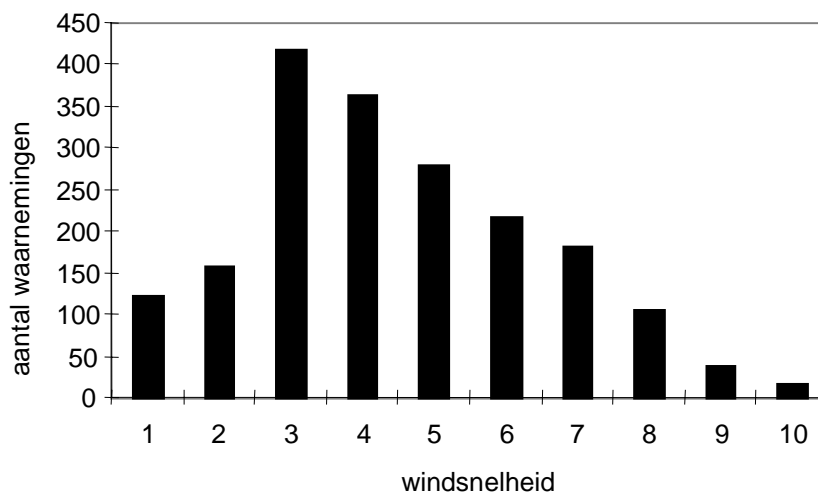
Stalperiode

Figuur 3 laat de verdeling van de windrichting zien. Tijdens de stalperiode kwam de wind het meest uit oostelijke richtingen.

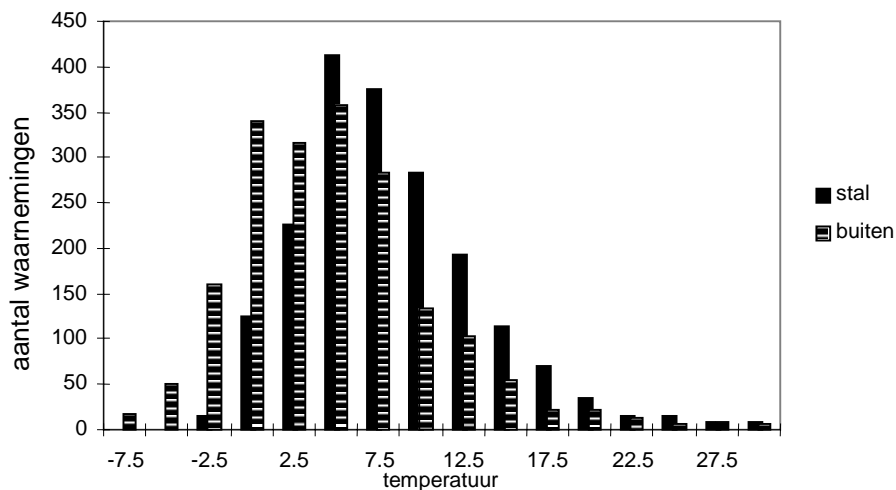


Figuur 3 Frequentieverdeling van de windrichting in graden over de stalperiode

De verdeling van de windsnelheden is in Figuur 4 te zien. De gemiddelde windsnelheid tijdens de stalperiode was 3,9 m/s.



Figuur 4 Frequentieverdeling van de uurgemiddelde windsnelheid in m/s over de stalperiode

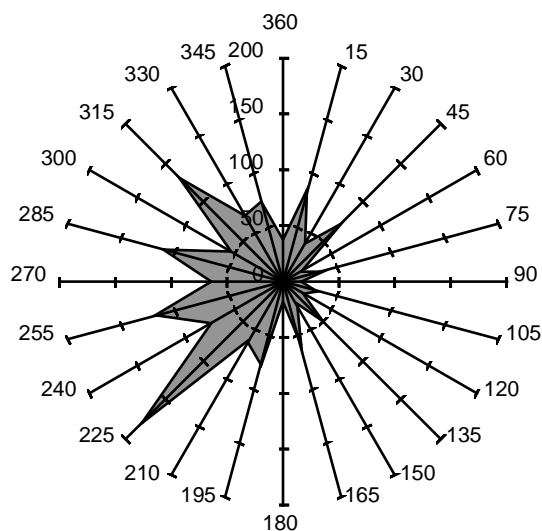


Figuur 5 Frequentieverdeling van de stal- en buitentemperatuur in °C over stalperiode.

De gemiddelde stalluchttemperatuur was 6,9 °C; de gemiddelde buitenluchttemperatuur was 3,6 °C tijdens de stalperiode (Figuur 5).

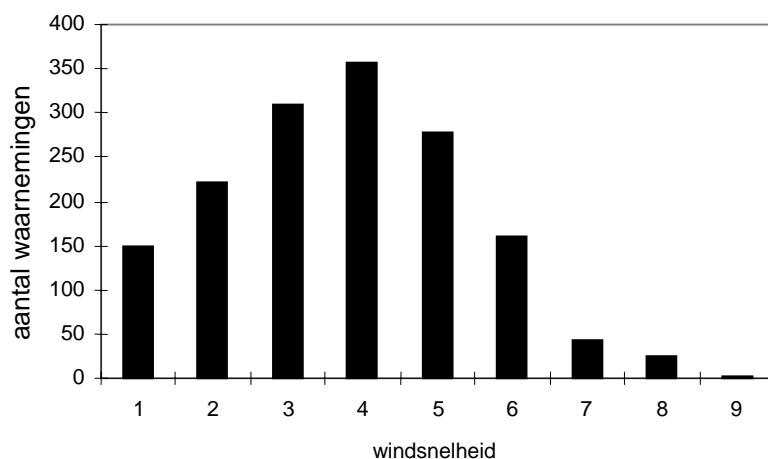
Weideperiode

In Figuur 6 is een overzicht van de verdeling over de windrichtingssectoren tijdens de weideperiode opgenomen. De wind kwam tijdens de weideperiode voornamelijk uit westelijke richtingen.

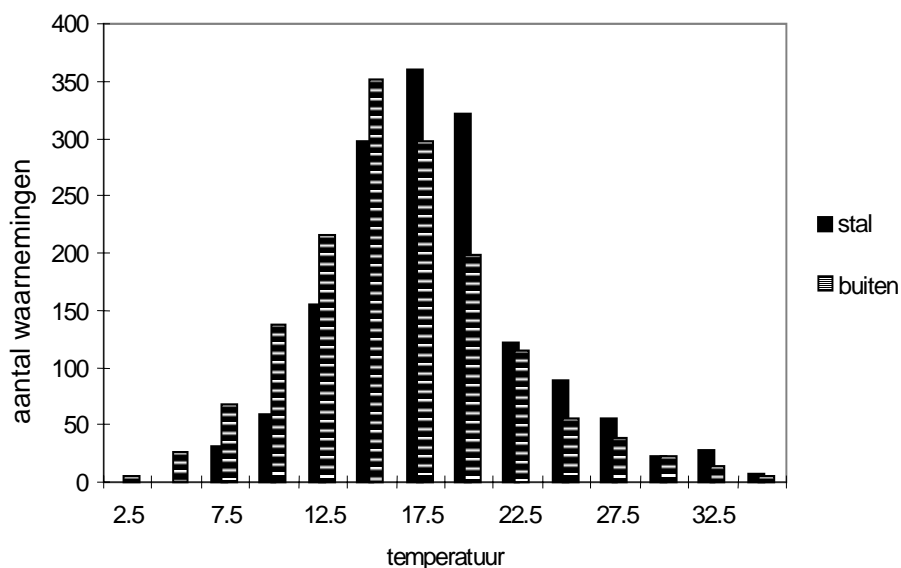


Figuur 6 Frequentieverdeling van de windrichting in graden over de weideperiode

De verdeling van de windsnelheden is in Figuur 7 te zien. De gemiddelde windsnelheid tijdens de weideperiode was 3,4 m/s.



Figuur 7 Frequentieverdeling van de uurgemiddelde windsnelheid in m/s over de weideperiode



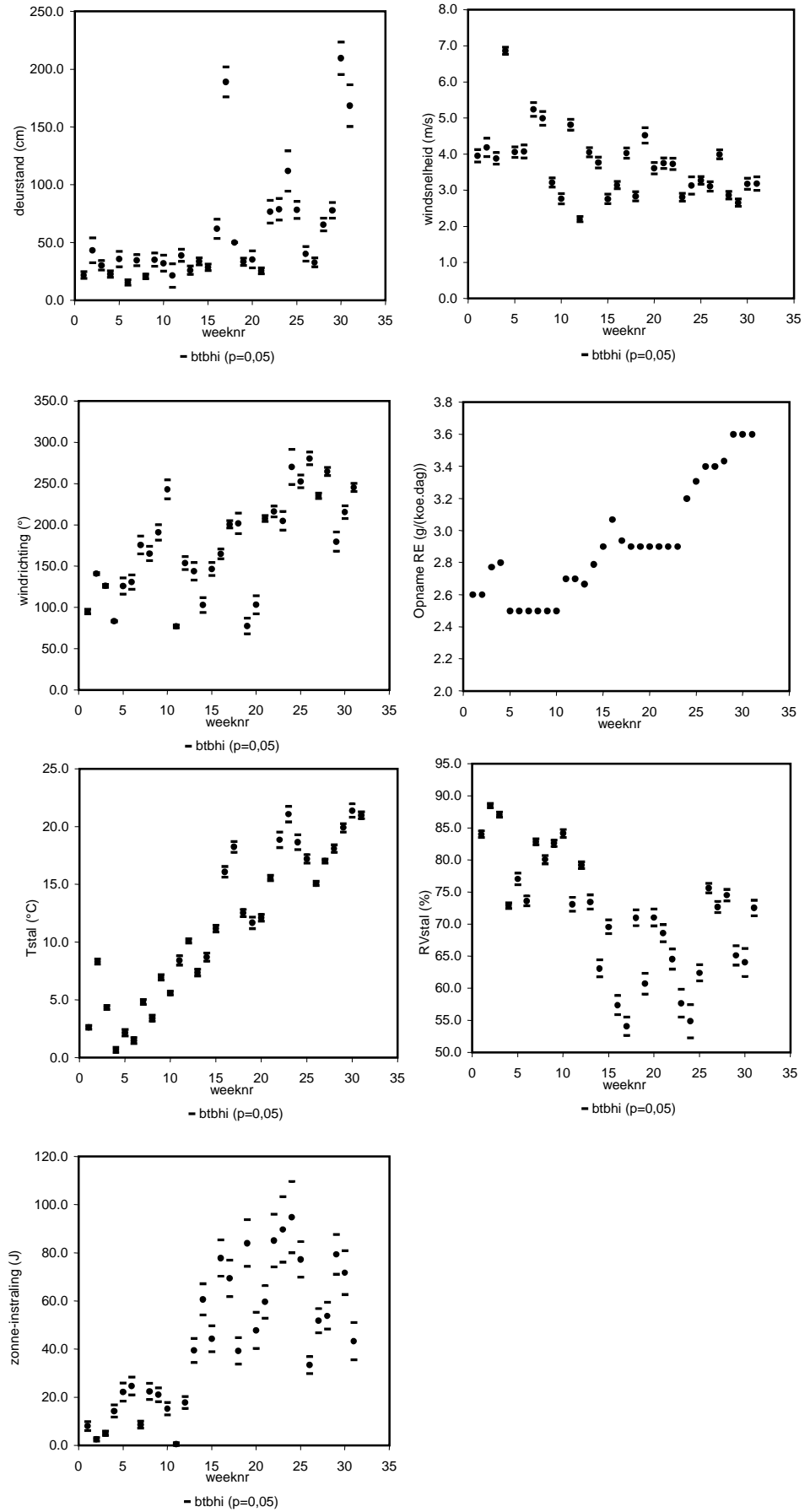
Figuur 8 Verdeling van de stal- en buitentemperatuur in °C over de weideperiode

De gemiddelde stalluchttemperatuur was 17,0 °C; de gemiddelde buitenluchttemperatuur was 15,2 °C tijdens de weideperiode (Figuur 8).

2.4 Overzicht van de weekgemiddelden van een aantal metingen

De grafieken in Figuur 9 geven een beeld van de situatie tijdens de hele meetperiode. In deze figuur is een overzicht opgenomen met weekgemiddelde waarden over de hele meetperiode van de volgende parameters: de deurstand, de windsnelheid, de windrichting, de opname van ruw eiwit (RE) door de koeien, de staltemperatuur, de luchtvochtigheid in de stal en de zonne-instraling. Met uitzondering van het opgenomen RE zijn dit gemeten parameters. Het verloop van de eiwitopname is berekend uit de ruwvoergegevens zie Bijlage C en Bijlage D en uit een aantal aannames betreffende de ds-opname van de koeien uit weidegras en het RE-gehalte van dit gras. De gemiddelde stikstofgift op het land was ca. 350 kg N/ha. Het RE-gehalte van het weidegras was het betreffende voorjaar door de voorafgaande

extreem droge periode en de lage temperaturen waarschijnlijk hoger dan gemiddeld. Daarom is bij de berekeningen van de eiwitopname gebruik gemaakt van een RE-gehalte behorende bij een N gift van 400 kg/ha volgens IKC (1993). Tijdens de weideperiode werd gemiddeld 4 kg ds aan ruwvoer in de stal bijgevoerd. Volgens IKC (1993) is de droge stof opname van oudere koeien bij beperkt weiden 13,6 kg ds/(koe.dag), rekening houdend met (maïs) bijvoeding (4 kg ds), een graskwaliteit van 950 VEM/kg ds en een melkproductie van 8000 kg/(koe.lactatie). Aangenomen werd dat per koe per dag ca. 9.6 kg ds uit weidegras werd opgenomen. De 95 % betrouwbaarheidsintervallen (btbhi's) werden in dit rapport berekend op basis van de standaard fout van het gemiddelde ($\pm 2 * \sqrt{\frac{\sigma^2}{N}}$).



Figuur 9 Overzicht met weekgemiddelden van een aantal parameters

In week 17/18 is de overgang van stal naar weideperiode. De windsnelheid was redelijk homogeen verdeeld over de meetperiode. De windrichting was zoals al uit Figuur 3 en Figuur 6 bleek niet homogeen verdeeld over stal en weideperiode. De hoeveelheid opgenomen ruw eiwit (RE) steeg tijdens de meetperiode. De staltemperatuur nam toe tijdens de meetperiode van winter naar zomer. De luchtvochtigheid in de stal daalde en nam later weer toe. De zonne-instraling was laag in de eerste weken van de stalperiode en begon daarna toe te nemen. Tijdens de weideperiode was de grote staldeur gemiddeld verder open.

2.5 Meetmethode voor de NH₃-productie: de ratiomethode

De ratio- of verhoudingsmethode gaat uit van de aanname dat het geïnjecteerde tracergas en het gas (NH₃) waarvan de emissie bepaald moet worden, zich op dezelfde wijze door de stal verdelen en zo een vergelijkbaar concentratiebeeld in de stal geven. Onder deze voorwaarde is de verhouding van de bronsterktes van beide gassen direct terug te vinden in de verhouding van de concentraties van beide gassen.

In een ligboxenstal komt NH₃ vrij vanaf de mestroosters ($Q_{\text{NH}_3,r}$) en vanuit de mestkelder ($Q_{\text{NH}_3,k}$). De mestgang kan gezien worden als een oppervlaktebron ($Q_{\text{NH}_3,m}$) waaraan beide bronnen bijdragen ($Q_{\text{NH}_3,m} = Q_{\text{NH}_3,r} + Q_{\text{NH}_3,k}$). Aangenomen wordt dat de emissie van NH₃ uit de stal overeenkomt met de NH₃-productie vanaf de mestgang.

Door een tracergas vrij te laten in de mestgang, de oppervlaktebron van NH₃, zullen de verdelingen van tracergas en NH₃ door de stal vergelijkbaar zijn. Aangenomen wordt dat de injectie van het tracergas gezien kan worden als een oppervlaktebron. Na het vrijkomen van een gas vindt transport door en menging met stallucht plaats waarna het gas de stal via een ventilatieopening verlaat.

In het vervolg van deze paragraaf wordt de ratiomethode voor een "ideale" situatie beschreven en worden afwijkingen onder praktijkomstandigheden besproken.

Ideale situatie

Stel dat centraal in een natuurlijk geventileerd gebouw één kleine homogene oppervlaktebron aanwezig is voor zowel NH₃ als tracergas. De bronsterkte van de NH₃ is niet bekend en variabel ($Q_{\text{NH}_3,O}$). De bronsterkte van het tracergas is bekend en constant ($Q_{\text{TR},O}$). Er zijn geen andere storende bronnen aanwezig. Op enige afstand van de bron is, in het gebouw, een concentratiemeetpunt gesitueerd. De op dat punt gemeten concentraties van tracergas en NH₃ zijn afhankelijk van het mengproces dat het bemonsterde pakketje lucht heeft ondergaan.

In een formule kan dit proces als volgt worden weergegeven:

$$C = K * Q * L \quad (2)$$

C	concentratie (ml/m ³)
Q	bronsterkte (ml/(m ² .s ¹))
K	dispersiefactor (s/m ²)
L	weglengthe (m)

In vergelijking (2) is C de gemeten concentratie van NH₃ of tracergas. De weglengte L is de lengte van de door het luchtpakketje afgelegde weg van oppervlaktebron tot meetpunt. De dispersiefactor K is een maat voor de mate waarin het luchtpakketje met schone lucht is gemengd (diffusie en turbulente menging). De constante weglengte L kan met de dispersiefactor worden opgenomen in een dispersiefactor K' ($K' = K * L$) met dimensie (s/m).

Uit de bekende bronsterkte van het tracergas en de tracergasconcentratie op het meetpunt kan de dispersiefactor (K') voor het pakketje lucht worden berekend (3).

$$K' = \frac{C_{\text{TR}}}{Q_{\text{TR},O}} \quad (3)$$

C_{TR}	tracergasconcentratie op het meetpunt (ml/m^3)
K'	dispersiefactor (s/m)
$Q_{TR,O}$	bronsterkte tracergas van de oppervlaktebron ($\text{ml}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)

Met de berekende dispersiefactor wordt de sterkte van de NH_3 -bron bepaald (4).

$$Q_{\text{NH}_3,O} = \frac{C_{\text{NH}_3}}{K'} \quad (4)$$

C_{NH_3}	NH_3 -concentratie op het meetpunt (ml/m^3)
K'	dispersiefactor (s/m)
$Q_{\text{NH}_3,O}$	NH_3 -productie van de oppervlaktebron ($\text{ml}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^1)$)

Wanneer beide gasen op gelijk wijze met de lucht mengen is het niet noodzakelijk dat het meetpunt zich in de buurt van het concentratiemaximum bevindt. Wanneer de concentraties van NH_3 en tracergas op het meetpunt voldoende hoog zijn voor nauwkeurige concentratiemetingen kan de bronsterkte adequaat worden bepaald. De oppervlaktebron heeft een afmeting met oppervlakte (A_O) hiermee kan (3) als volgt worden herschreven.

$$Q_{\text{NH}_3} = Q_{\text{NH}_3,O} * A_O = \frac{A_O * C_{\text{NH}_3}}{K'} = K_M * C_{\text{NH}_3} \quad (5)$$

Q_{NH_3}	NH_3 -productie (ml/s^1)
$Q_{\text{NH}_3,O}$	NH_3 - productie van het oppervlakte ($\text{ml}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^1)$)
C_{NH_3}	NH_3 -concentratie (ml/m^3)
A_O	oppervlakte mestgang (m^2)
K'	dispersiefactor (s/m)
K_M	mengfactor (m^3/s^1)

Omdat A_O constant is kunnen K' en A_O worden samengevoegd tot één mengfactor K_M ($K_M = A_O/K'$). Vergelijking (5) beschrijft een dynamisch proces waarin de NH_3 -productie varieert in tijd en plaats.

In een stal treden de volgende afwijkingen van het bovenstaande model op:

- a de NH_3 -bron is niet homogeen in tijd en plaats;
 - b de weglengte en bewegingssnelheid is niet gelijk voor alle pakketjes lucht;
 - c de tracergasinjectie is geen echte oppervlaktebron, terwijl de NH_3 -bron dat wel is.
- ad. a De mestgang is een grote diffuse oppervlaktebron. De NH_3 -vervluchtiging varieert over het oppervlak van de mestgang en in de tijd. Pakketjes lucht vanaf deze oppervlaktebron zullen elkaar beïnvloeden tijdens de menging in de stal.
- ad. b Door de geometrie van het gebouw zal het ventilatiepatroon plaatselijk verschillend zijn. Sommige pakketjes lucht zullen systematisch langer in de stal zijn dan andere. Dit door de geometrie van het gebouw bepaalde ventilatiepatroon is niet vast. Het ventilatiepatroon zal onder invloed meteo-omstandigheden (o.a.: windrichting, windsnelheid, luchttemperatuur en zonnestraling) veranderen.
- ad. c Het is moeilijk om een functionerend tracergasinjectie-systeem op, onder of in de mestgang toe te passen in een in bedrijf zijnde melkveestal. De plaatsing zelf is niet eenvoudig en het risico van vervuiling is groot. De constructie van het injectiesysteem is een compromis tussen optimale plaatsing en lage/minimale vervuiling.

De onder a en b opgesomde afwijkingen hebben ieder tot gevolg dat niet volstaan kan worden met één enkel meetpunt in de stal. Er kan gekozen worden voor meerdere aparte meetpunten in de stal of een verzamelleiding. Aparte in de stal gemeten concentraties worden gemiddeld om de NH_3 -productie te berekenen. Een verzamelleiding op basis van dezelfde meetpunten geeft, mits er van ieder meetpunt eenzelfde volumestroom wordt bemonsterd, dezelfde gemiddelde concentratie. De volgende vergelijking verduidelijkt het bovenstaande. De gemiddelde concentratie van N meetpunten wordt als volgt berekend (6):

$$C_P = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N} \quad (6)$$

C_P gemiddelde concentratie van de meetpunten
 i het i^e meetpunt
 C_i concentratie op het i^e meetpunt
 N aantal meetpunten

De concentratie in de verzamelleiding kan worden berekend met de volgende vergelijking. Aangenomen wordt dat de flow (f_i) op ieder meetpunt gelijk is aan f .

$$C_V = \frac{\sum_{i=1}^N f_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^N f_i} = \frac{f \cdot \sum_{i=1}^N C_i}{N \cdot f} = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N} \quad (7)$$

C_V concentratie in de verzamelleiding
 f_i flow van het i^e meetpunt (worden alle gelijk aan f gesteld)

Doordat de flows van meetpunten van de verzamelleiding gelijk zijn komt de gemeten concentratie van de verzamelleiding (C_V) overeen met de gemiddelde concentratie op de meetpunten (C_P).

Systematische afwijkingen in de ratiomethode door de hierboven genoemde punten a en b zijn naar verwachting gering, omdat een goed verzamelmonster van de stallucht hiervoor corrigeert. De invloed van punt c is sterk afhankelijk van de uitvoering van het injectiesysteem. In § 2.6 wordt een test van de ratiomethode beschreven voor een uitvoeringswijze van het injectiesysteem en de verzamelleiding.

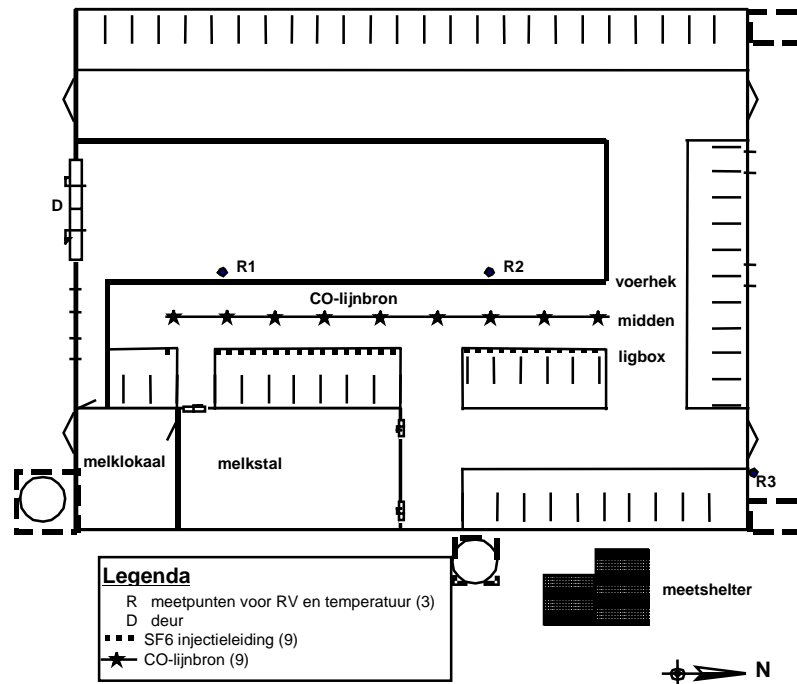
De ratiomethode is gebruikt voor het berekenen van de NH_3 -emissie van een natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee met hellende dichte vloer en zelfrijdende sproeischuiven (Scholtens *et al.*, 1996b). Uit tracergasmetingen aan een mechanisch geventileerde stal was gebleken dat de ratiomethode voldeed (Scholtens *et al.*, 1996a).

2.6 Test met een verplaatsbare CO-lijnbron op de mestgang

In dit onderzoek werd het SF_6 -gas éézijdig over de mestgang ingeblazen. Het aantal injectiepunten was ca. 1 per $7,5 \text{ m}^2$ mestgang. De uitstroomopening van de injectiepunten was enkele cm boven de mestgang (zie Figuur 1 en Figuur 2). De test werd uitgevoerd omdat niet zeker was in hoeverre de gekozen uitvoeringswijze, van injectiesysteem en verzamelleiding, voldeed. Om dit te testen werden, gedurende enkele dagen, controlemetingen uitgevoerd met een tweede tracergas. Deze metingen vonden overdag, tijdens de weideperiode, plaats. Het tweede tracergas was CO. De CO-bron werd in de middelste mestgang geplaatst (zie Figuur 10). De SF_6 -injectie van de andere mestgangen was afgesloten. Het aantal injectiepunten van beide tracergasbronnen was gelijk (9). De CO-bron was verplaatsbaar en werd tijdens de metingen op drie plaatsen in de middelste mestgang neergelegd (voerhek, midden en ligbox). De CO-bron had de vorm van een lijnbron.

De CO-injectie in de stal vond plaats met perslucht waaraan met een thermische Mass Flow Controller (MFC) een bekende volumestroom CO (ml/s) werd toegevoegd. De flow was op alle injectiepunten gelijk door het gebruik van kritische capillairen. Het CO-gehalte van de lucht uit de verzamelleiding werd met een NDIR gas filter correlatie CO-analyser (TECO model 48) gemeten. Het injectieniveau van zowel SF_6 als CO werd gecontroleerd met een zeepvliesmeter (Gillian; primary flow calibrator).

De CO lijnbron werd achtereenvolgens geplaatst tegen de ligbox, het midden van de gang en het voerhek (zie Figuur 10). Na ieder verplaatsing werden gedurende ca. één uur SF_6 - en CO-metingen uitgevoerd. Deze verplaatsingen werden een aantal keren herhaald.



Figuur 10 Proefopstelling in de melkveestal met een CO-lijnbron

Het SF₆-injectieniveau werd volgens de ratiomethode berekend. Het CO gas werd als tracergas gebruikt en SF₆ als het gas met een onbekende bronsterkte. De uitkomsten werden vergeleken met de ingestelde waarde van de SF₆-bron.

2.7 Berekeningswijze van de NH₃-productie

De volgende vergelijking beschrijft de berekeningswijze van de NH₃-productie volgens de ratiomethode in de praktijk:

$$Q_{\text{NH}_3} = \frac{Q_{\text{SF}_6}}{C_{\text{SF}_6, i-e}} * C_{\text{NH}_3, i-e} = K_M * C_{\text{NH}_3, i-e} \quad (8)$$

Q_{NH_3}	NH ₃ -productie in de stal [ml/s]
Q_{SF_6}	SF ₆ -injectieniveau [ml/s]
C_{NH_3}	NH ₃ -concentratie [ml/m ³]
C_{SF_6}	SF ₆ -gehalte [ml/m ³]
i-e	verschilmeting tussen binnen- en buitenlucht

Het SF₆-injectieniveau (ml/s) wordt vermenigvuldigd met de verhouding tussen NH₃- en SF₆-verschilmetingen in ppm (ml/m³) tussen binnen- (i) en buitenlucht (e). Voor het bepalen van de gasconcentraties in de stal werd de verzamelleiding gebruikt. De berekende NH₃-productie wordt verondersteld gelijk te zijn aan de NH₃-productie van de stal. Voor het berekenen van de NH₃-productie van de stal werden uit de ruwe meetgegevens eerst uurlijkse NH₃-productiewaarden bepaald.

Om het verloop van de NH₃-productie over een dag zichtbaar te maken werden van elke meetdag de ratio's van de uurlijkse NH₃-producties van een meetdag en de gemiddelde NH₃-productie van die dag berekend. Per uur gemiddelde NH₃-productie ratio's van een meetperiode werden grafisch uitgezet tegen de uren van een dag. Op deze wijze werd gecorrigeerd voor een eventuele stijgende of dalende trend tijdens de meetperiode.

De NH₃-productie van de stal werd berekend door per meetperiode (stal of weide) de gemiddelde dagproductie te berekenen. Vermenigvuldiging van dit getal met 190 dagen geeft de NH₃-productie van de stal over de stalperiode. Voor de weideperiode wordt de gemiddelde dagproductie met 175 dagen vermenigvuldigd. Om de emissiefactor van deze stal te bepalen wordt dit getal gedeeld door het aantal op basis van N-uitscheiding berekende equivalente melkkoeien (Scherphof, 1996), dat tijdens de meting in de stal aanwezig was.

2.8 Bruikbare dagen

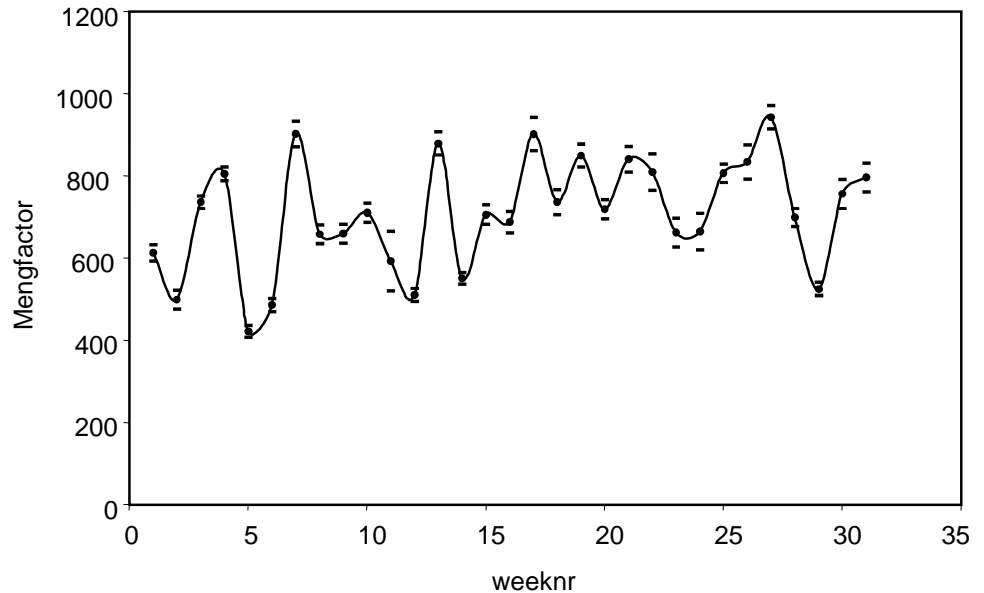
In de stalperiode van 1 januari 1996 t/m 22 april 1996 waren 1900 uurlijkse NH₃-productiewaarden beschikbaar. Het aantal meetdagen was 114. Op 14 dagen waren geen meetwaarden beschikbaar. Van de overgebleven dagen werd 84% van het maximale aantal meetwaarden verzameld.

In de weideperiode is gemeten van 23 april 1996 t/m 31 juli 1996; in deze periode bleken 1546 uurlijkse NH₃-productiewaarden beschikbaar. Het aantal meetdagen was 100. Op 26 dagen waren geen meetwaarden beschikbaar van de overgebleven dagen werd 87% van het maximale aantal meetwaarden verzameld.

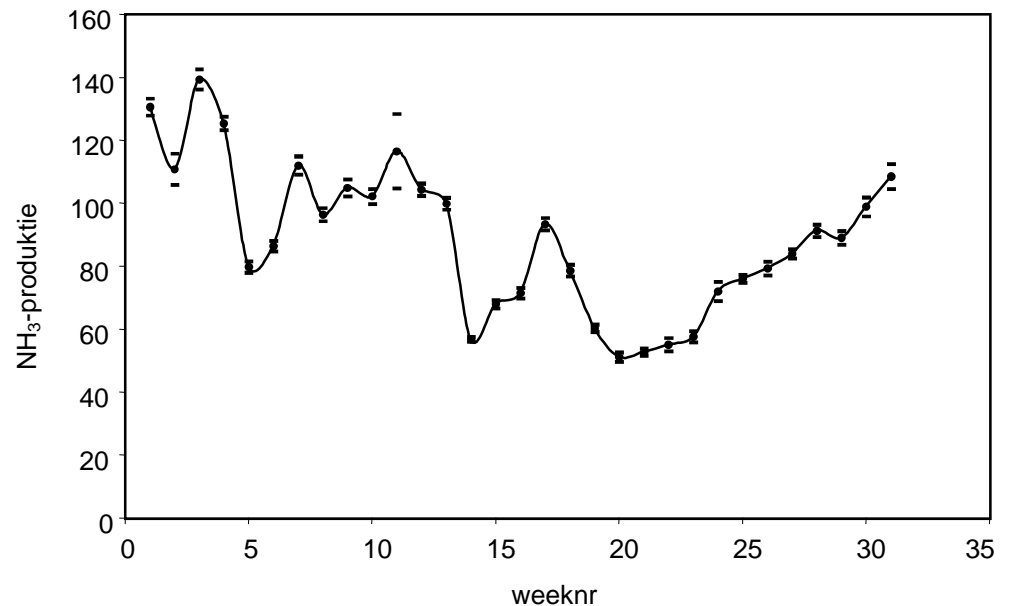
Het wegvallen van 26 hele dagen en respectievelijk 16 % en 13 % van dagdelen werd veroorzaakt door storingen aan de apparatuur en software. De kwaliteit van de meetresultaten was niet beperkend.

3 Resultaten en discussie

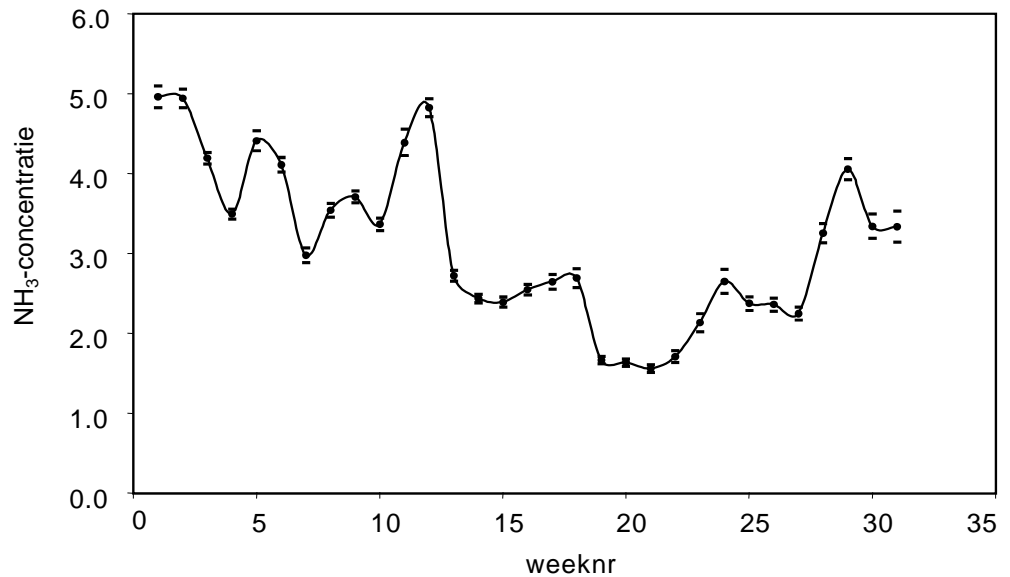
De in de ratiomethode berekende mengfactor K_M gaf informatie over menging van lucht vanaf de mestgang naar de monsternamepunten van de verzamelleiding. De factor K_M gaf dus een indruk van de stalventilatie en de luchtbeweging over de mestgang.



Figuur 11 Het verloop van de weekgemiddelde mengfactor K_M in m^3/min over de hele meetperiode het 95 % betrouwbaarheidsinterval



Figuur 12 Het verloop van de weekgemiddelde NH_3 -productie in g/uur over de hele meetperiode plus het 95 % betrouwbaarheidsinterval



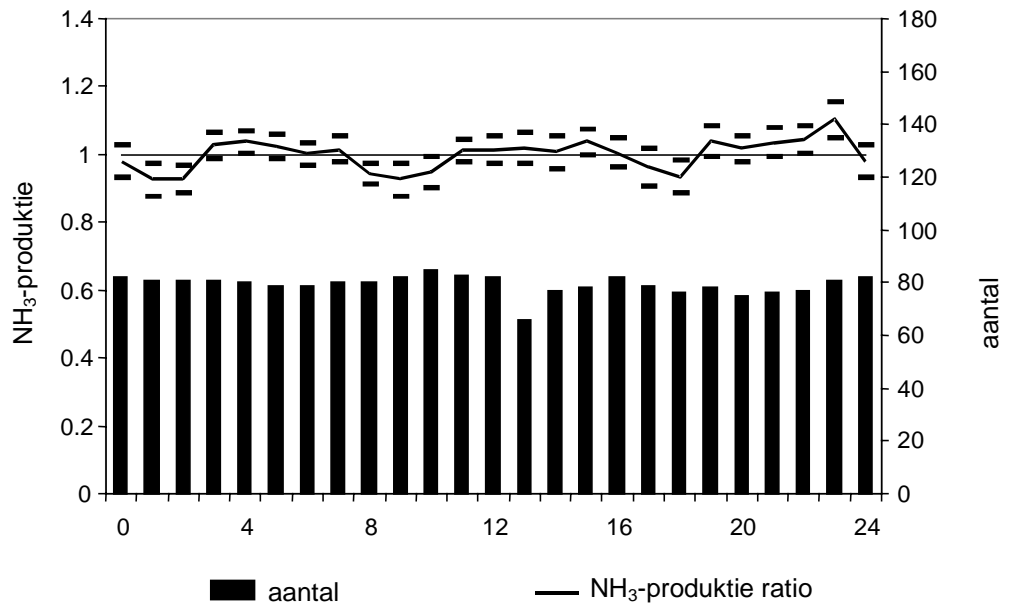
Figuur 13 Het verloop van de weekgemiddelde NH₃-concentratie in ppm over de hele meetperiode plus het 95 % betrouwbaarheidsinterval

In Figuur 11, Figuur 12 en Figuur 13 wordt het weekgemiddelde verloop van de mengfactor, de NH₃-productie en de NH₃-concentratie over de meetperiode weergegeven. De NH₃-productie had een gelijksoortig verloop als de NH₃-concentratie in de stal. De mengfactor leek in de tijd licht te stijgen. De stijging van de RE-opname (zie Figuur 9) in de weideperiode kwam overeen met een stijging van de NH₃-productie in dezelfde periode.

Een stijging in de NH₃-concentratie liep in een groot gedeelte van de meetperiode gelijk met een daling van de mengfactor. In de periode van week 14 tot week 21 is dit verband niet aanwezig. Een reden hiervoor werd niet gevonden.

3.1 Stalperiode

De per uur gemiddelde NH₃-productie ratio's lieten geen duidelijk dag-nachtritme zien (Figuur 14). Door het meerdere keren per dag (4 maal) verstrekken van ruwvoer, en de aanwezigheid van een voercomputer was er bijna continu koeverkeer in de stal. Ook 's nachts wanneer de zwakkere koeien bij de voercomputer kwamen of er een nieuwe voerperiode voor de computer inging. Dit kon mogelijk verklaren waarom er geen duidelijk dag/nachtritme, met een rustperiode 's nachts, aanwezig was. De uurgemiddelde NH₃-productie tijdens de stalperiode was 96.6 g/uur. De hieruit berekende daggemiddelde NH₃-productie was 2,32 kg per dag. De variatie (2 s.d.) in de NH₃-productie was 0,03 kg NH₃ per dag (95 % betrouwbaarheidsinterval).

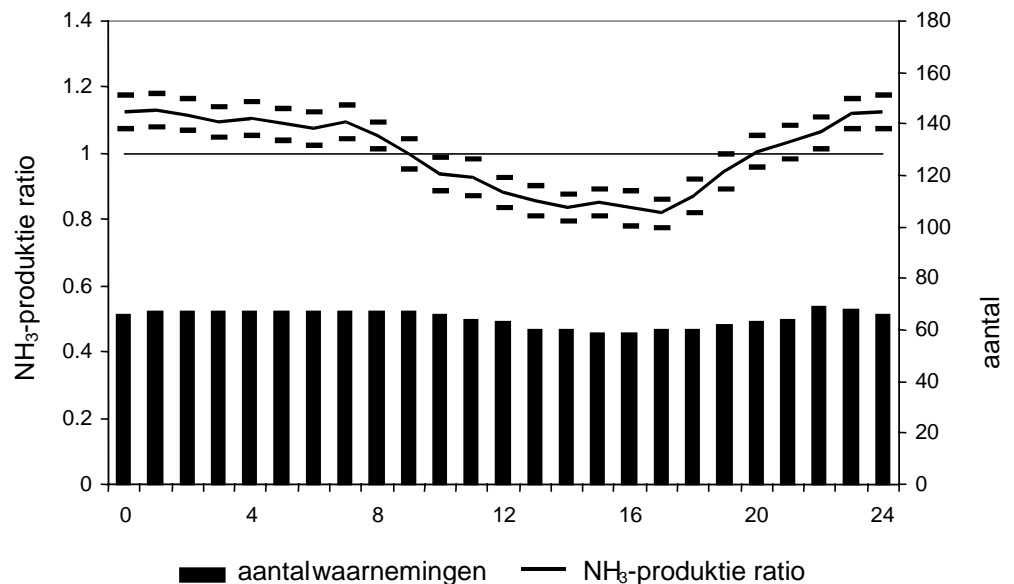


Figuur 14 Per uur gemiddelde NH₃-productie ratio tijdens de stalperiode plus het 95 % betrouwbaarheidsinterval en het aantal waarnemingen

Over een stalperiode van 190 dagen was de NH₃-productie per N-equivalente melkkoe 8,9 kg. De gemeten emissie lag dicht bij de emissiefactor voor melkkoeien van 8.8 kg per jaar (Uitvoeringsregeling ammoniak en veehouderij, 1996).

3.2 Weideperiode

De per uur gemiddelde NH₃-productie ratio's lieten een dag-nachtritme zien (Figuur 15). De koeien gingen 's ochtends om ca. 7.30 uur naar buiten, waarna de NH₃-productie daalde. Als de koeien weer in de stal kwamen om ca. 17.30 uur, steeg de NH₃-productie.



Figuur 15 Per uurgemiddelde NH₃-productie ratio tijdens de weideperiode plus het 95 % betrouwbaarheidsinterval en het aantal waarnemingen

De gemiddelde NH₃-productie tijdens de weideperiode was 77,8 g/uur. De hieruit berekende daggemiddelde NH₃-productie was 1,86 kg per dag. De variatie (2s.d.) in de NH₃-productie was 0,04 kg NH₃ per dag (95 % betrouwbaarheidsinterval). Over

een weideperiode van 175 dagen was de NH_3 -productie per N-equivalente melkkoe 7,0 kg.

3.3 Test met een verplaatsbare CO-lijnbron op de mestgang

De resultaten van de testmetingen met de verplaatsbare CO-lijnbron zijn in Tabel 1 samengevat.

Tabel 1 Berekende SF_6 -productie gemeten met een verplaatsbare CO-lijnbron op de middelste mestgang bij een ingestelde SF_6 -injectieniveau van 3,9 ml/min

Plaats CO-lijnbron op mestgang	SF_6 -productie (ml/min)	btbhi (p=0,05)	n	Totaal aantal metingen
ligbox	4,4	0,4	6	36
midden	4,1	0,4	5	30
voerhek	3,2	0,3	4	27
gemiddeld	3,9	0,4	15	93

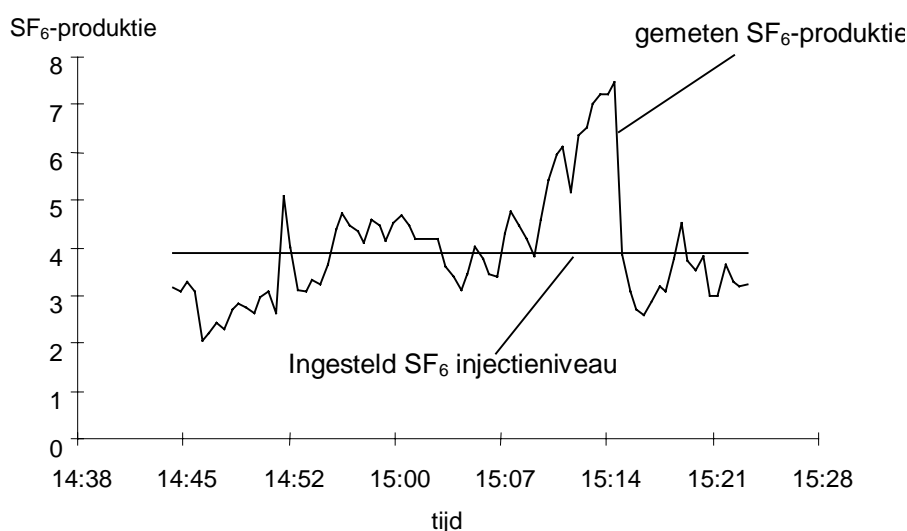
n aantal herhalingen over twee dagen

De SF_6 -productie werd bepaald volgens de ratiomethode met CO als tracergas met een bekend injectieniveau (zie Tabel 1). Het met de mass flow controller ingestelde SF_6 -injectieniveau was gemiddelde 3,9 ml/min met een 95 % betrouwbaarheidsinterval van 0,2 ml/min.

Uit deze metingen bleek dat de positie bij het voerhek een onderschatting gaf van de SF_6 -bronsterkte. De positie bij het ligbox gaf een overschatting. De middenpositie kwam redelijk goed overeen met het ingestelde injectieniveau.

De uitstroomrichtingen van de CO- en de SF_6 -injectie waren tegengesteld. Dit betekende dat op de positie ligbox het CO gas tegen de betonrand onder de ligboxen werd geblazen. Het SF_6 gas werd in de richting van het midden van de mestgang geblazen. Dit kan mogelijk verklaren waarom de SF_6 -productiemetingen op positie midden het best overeenkwamen met de ingestelde SF_6 -injectieniveau.

De schommelingen in de gemeten SF_6 -productie waren tijdens de metingen aanzienlijk (zie Figuur 16). In werkelijkheid was de SF_6 -productie vrijwel constant.



Figuur 16 Verloop SF_6 -productie (ml/min) gemeten volgens de ratio methode met CO-lijnbron in het midden van de middelste mestgang en het ingestelde SF_6 -injectieniveau

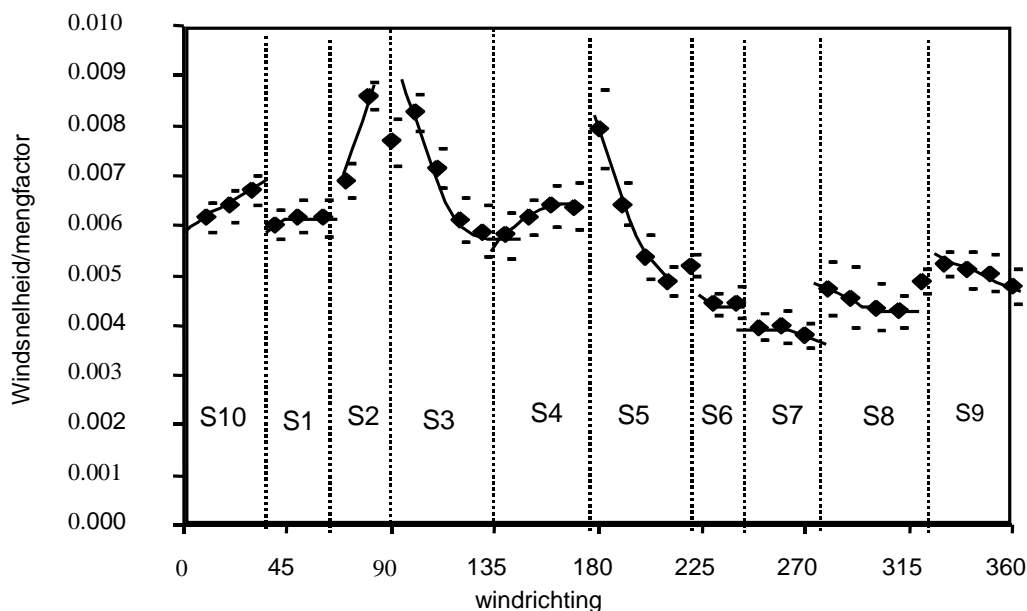
Uit bovenstaande resultaten volgde dat lucht vanaf een positie op de mestgang vaak nog niet goed gemengd was met lucht vanaf de SF_6 -injectiepunten, wanneer van de stallucht een monster werd genomen middels de verzamelleiding.

Het resultaat van de testmetingen gaf geen aanleiding om aan de waarden van de in dit onderzoek gemeten gemiddelde ammoniakemissies te twijfelen.

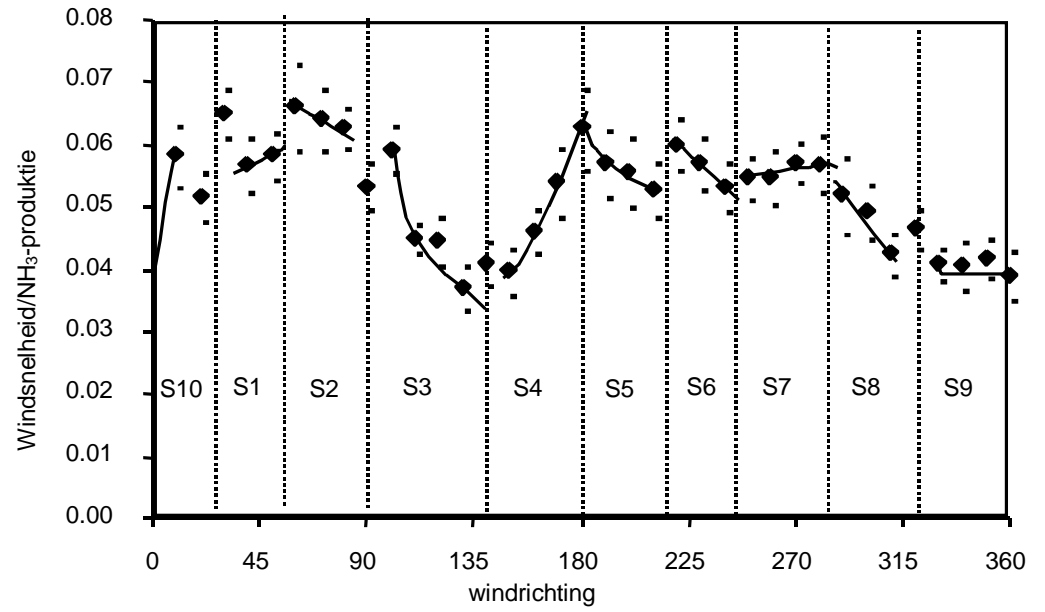
3.4 Invloed van meteorologische omstandigheden op de meetresultaten

De meetresultaten lieten zien dat de NH_3 -productie soms wel en soms niet positief gecorreleerd was met windsnelheid en K_M . Uit een nadere analyse bleek dat de windrichting invloed had op de relatie tussen de windsnelheid en de mengfactor K_M en tussen de windsnelheid (w_v) en de NH_3 -productie (Q_{NH_3}). De meteorologische gegevens zijn gebruikt om de resultaten van de volgens de ratiomethode uitgevoerde berekeningen in relatie te brengen met de ligging van de stal.

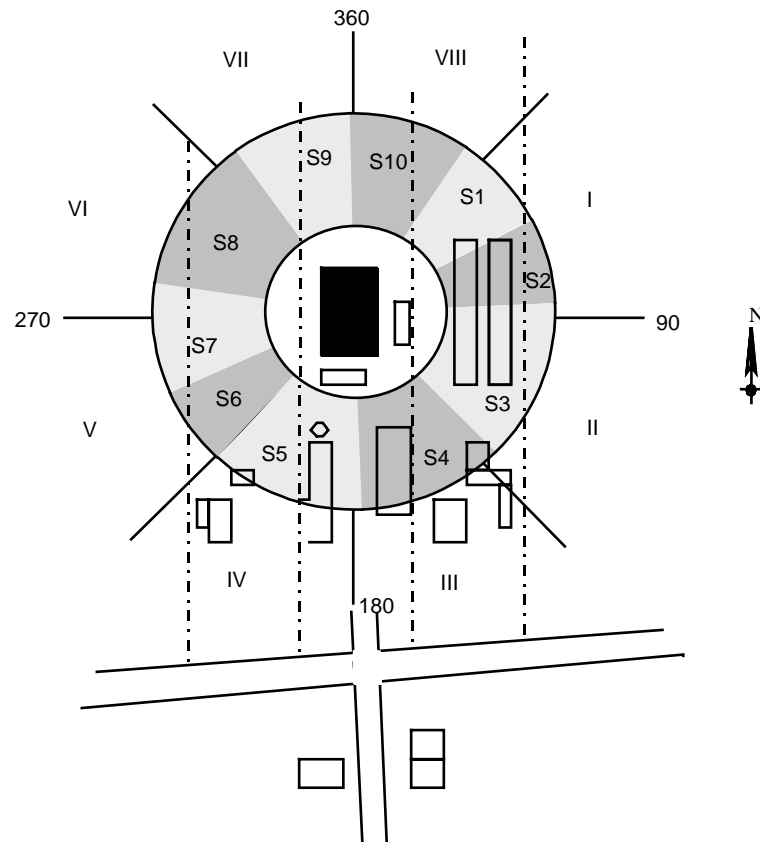
Het verloop van de verhoudingsgetallen w_v/K_M en w_v/Q_{NH_3} laat zien of de relatie tussen windsnelheid en mengfactor of de relatie tussen windsnelheid en NH_3 -productie verandert. In Figuur 17 en Figuur 18 worden voor de dagmetingen over de hele meetperiode (stal + weide) deze verhoudingen tegen de windrichting uitgezet. Het was mogelijk om sectoren (S1 t/m S10) aan te wijzen waar, door verandering van de windrichting, deze verhoudingen wijzigden. In beide figuren zijn deze sectoren globaal aangegeven. De in Figuur 17 en Figuur 18 gevonden sectoren komen goed met elkaar overeen. In Figuur 19 is de locatie van de stal weergegeven met de 10 windrichtingssectoren van Figuur 17.



Figuur 17 Gemiddelde van de ratio's tussen uurlijkse windsnelheden en mengfactoren per windrichtingklasse van 10° uitgezet tegen de windrichting ($^\circ$) plus het 95 % betrouwbaarheidsinterval en de te 10 onderscheiden windrichtingssectoren (S1-S10)



Figuur 18 Gemiddelde van de ratio's tussen uurlijkse windsnelheden en NH₃-producties per windrichtingklasse van 10° uitgezet tegen de windrichting (°) plus het 95 % betrouwbaarheidsinterval en de te 10 onderscheiden windrichtingssectoren (S1-S10)



Figuur 19 Plattegrond van de meetlocatie met de 10 windrichtingssectoren uit Figuur 17 (S1-S10) en 8 verwachte sectoren om de hoeken van het gebouw (I-VIII)

Uit Figuur 19 blijkt dat de gevonden sectoren terug te vinden waren in ligging van het gebouw. Om de hoek van het gebouw vond iedere keer een wisseling van sectoren plaats. Een rechthoekig gebouw geeft aanleiding tot 8 gebouwsectoren (I-VIII), zie Figuur 19. Dit is één sector per overgang om een hoek van het gebouw. In Figuur 19 werden ook de 10 sectoren (S1-S10) uit Figuur 17 opgenomen. Gebouwsectoren en de sectoren uit Figuur 17 kwamen goed met elkaar overeen. Alleen de sectoren S1 en S2 en sectoren S6 en S7 vormden samen één van de 8 gebouwsectoren. Dit werd mogelijk veroorzaakt door de omliggende gebouwen of de situering van de relatief afgesloten melkstal in de zuid oostelijke hoek van de melkveestal.

In Bijlage E en Bijlage F zijn grafieken opgenomen waarin mengfactor en NH_3 -productie werden uitgezet tegen de windsnelheid per windrichtingssector.

In de sectoren S1, S2, S3, S4 en S5 (Bijlage E) was de invloed van de windsnelheid op de mengfactor geringer dan in de overige sectoren. Dit waren de sectoren met bebouwing. De mengfactor nam duidelijk toe met de windsnelheid. In enkele sectoren was een afbuiging bij hogere windsnelheden waar te nemen. De minimum waarde van de mengfactor was ca. $400 \text{ m}^3/\text{min}$.

De invloed van de windsnelheid op de NH_3 -productie was geringer dan de invloed van de windsnelheid op de mengfactor. De hellingshoek van de lijnen was kleiner (Bijlage F) de invloed was het grootst in sectoren 3 en 4. Over het geheel genomen nam de NH_3 -productie toe met de windsnelheid. De minimum NH_3 -productie was ca. 70 g/uur . Een minder sterke relatie tussen windsnelheid en mengfactor in S3 en S4 viel samen met een sterkere relatie tussen windsnelheid en NH_3 -productie. Dit kan het gevolg zijn van een ventilatiepatroon in de stal als gevolg van de geometrie van de stal waardoor de bijdrage van kelderventilatie relatief toeneemt.

Belangrijke factoren die het vrijkomen van NH_3 vanaf de mestgang beïnvloeden zijn: de samenstelling van de urine en de mest in mestkelder en op de roosters, de urease-activiteit op de mestroosters, de luchtbeweging boven de roosters, de luchtbeweging in de kelder, en de temperatuur in de stal en in de kelder. Luchtbeweging in de kelder en boven de mestroosters resulteert in de uitwisseling van kelderlucht met stallucht en de emissie van NH_3 .

De mate van luchtbeweging over de mestgang is gerelateerd aan de stalventilatie.

Van een natuurlijk geventileerde stal wordt de mate van ventilatie voornamelijk bepaald door: de geometrie en inrichting van de stal, de locatie van de stal, de windsnelheid, de windrichting, de warmteproductie van de dieren in de stal, de buitentemperatuur en de zonne-instraling.

Een hoog ventilatiedebiet hoeft zich niet altijd te vertalen in een hoge luchtbeweging over de mestgangen. Dit is onder meer afhankelijk van de ligging van de stal, de geometrie, de windrichting, de windsnelheid en de temperatuur.

De NH_3 -productie van een natuurlijk geventileerde stal wordt door een groot aantal factoren beïnvloed. De opzet en resultaten van dit onderzoek waren niet geschikt om deze invloedsfactoren gedetailleerd te kwantificeren.

4 Conclusies

De ammoniakemissie van de natuurlijk geventileerde volledig onderkelderde ligboxenstal voor melkvee met betonroosters was tijdens de stalperiode (op basis van 190 dagen) 8,9 kg NH₃ per N-equivalente melkkoe. De ammoniakemissie tijdens de weideperiode (op basis van 175 dagen) was 7,0 kg per N-equivalente melkkoe. De ammoniakemissie tijdens de stalperiode ligt dicht bij de emissiefactor van 8,8 kg NH₃ per melkkoe voor een traditionele ligboxenstal.

- Metingen met een 2^e tracergas onderbouwen de resultaten van de ratiomethode.
- Windsnelheid en windrichting hadden een duidelijke invloed op de mengfactor en de NH₃-productie.

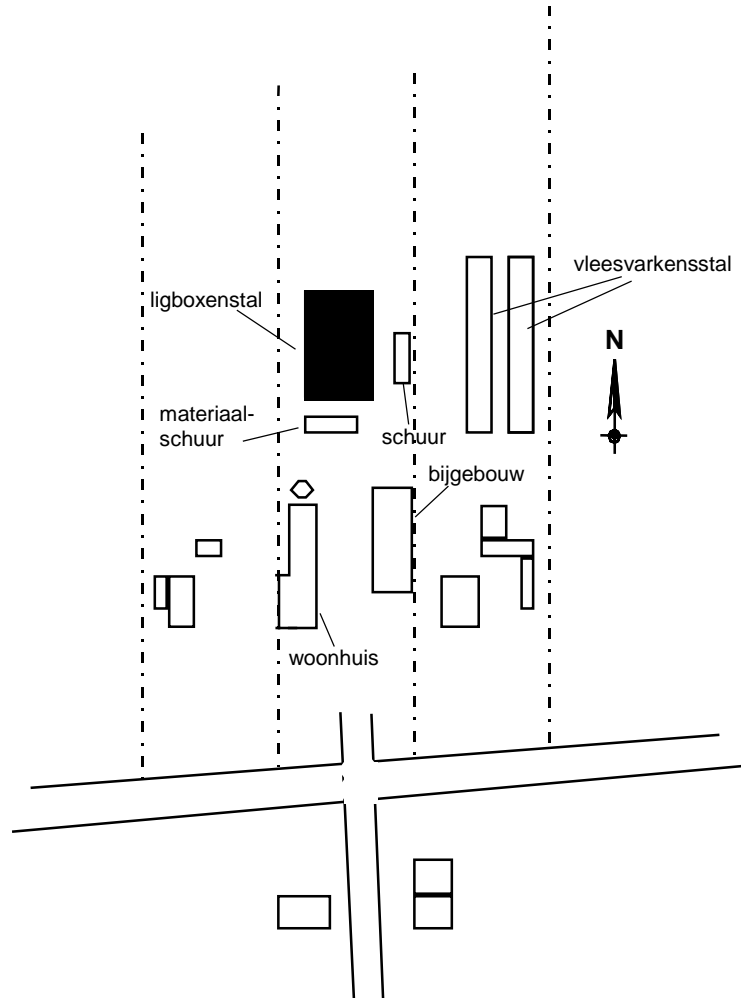
Op basis van de resultaten van dit onderzoek kunnen aanbevelingen worden gedaan voor verbetering van de gebruikte ratiomethode. De plaatsing van de verzamelleiding in de stal kan verbeterd worden door deze meer in de nok van de stal te plaatsen. Op deze positie is de stallucht beter gemengd.

Dit zal naar verwachting een stabiel beeld opleveren van korte termijn (minuten) NH₃-productie metingen. De lange termijn (dagen) gemiddelde NH₃-productiewaarde zal hierdoor weinig of niet veranderen. Om het bovenstaande te controleren moeten vergelijkbare proeven met een tweede tracergas worden uitgevoerd over een langere meetperiode en onder verschillende meteorologische omstandigheden.

Literatuur

- CVB, 1995. Handleiding Voederwaardeberekening Ruwvoerders. Centraal Veevoederbureau, Lelystad
- Heij, G.J. en T. Schneider, 1995. Dutch priority programme on acidification. Final report third phase Additional programme on acidification no. 300-05, 160 pp
- IKC, 1993. Handboek voor de rundveehouderij. Informatie en Kennis Centrum Veehouderij, Lelystad, pp. 629
- Notitie Mest- en Ammoniakbeleid derde fase, 1993. Tweede kamer, vergaderjaar 1992-1993, 19882, nr. 34, SDU-Uitgeverij, Den Haag, 55 pp
- Ooster, A Van 't, 1993. Tracergasexperimenten. In: E.N.J van Ouwerkerk (ed), Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen, Ammoniak serie 16, DLO, Wageningen, p 73-84
- Scherphof, W., 1996. Omrekening jongvee/melkvee. Notitie voor Werkgroep Emissiefactoren (persoonlijke mededeling)
- Scholtens, R., 1993. NH₃-converter + NO_x-analyzer. In: E.N.J. van Ouwerkerk (Ed.): Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak problematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 19-22
- Scholtens, R., J.J.C. van der Heiden en J.W.H. Huis in 't Veld, 1996a. Validatie van gasbalansmodellen voor het bepalen van het ventilatiedebiet van rundveestallen, IMAG-DLO rapport 96-11, Wageningen, 20 pp
- Scholtens, R., J.J.C. Van der Heiden-de Vos en J.W.H. Huis in 't Veld, 1996b. Natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee met hellende dichte vloer en zelfrijdende sproeischuiven, DLO rapport 96-1006, Wageningen, 20 pp
- Uitvoeringsregeling ammoniak en veehouderij, 1996. Interimwet ammoniak en veehouderij. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en het Ministerie van Landbouw en Visserij, St. crt. 177, Den Haag

Bijlage A Ligging van de ligboxenstal



Bijlage B Stalbezetting en melkproductiegegevens

Stalbezetting

Datum	Aantal dieren			
	melk	drgst.	pinken	kalveren
17-dec	36	4	13	3
31-dec	33	7	13	4
14-jan	29	10	13	4
28-jan	28	10	13	4
11-feb	28	9	13	5
25-feb	29	8	13	5
10-mrt	29	8	13	5
24-mrt	29	8	13	5
01-apr	30	8	11	5
07-apr	32	7	10	7
21-apr	31	7	10	7
05-mei	34	5	9	7
16-mei	36	3	8	7
19-mei	37	2	9	7
23-mei	38	1	7	8
30-mei	38	1	6	8
02-jun	38	1	8	7
03-jun	38	1	8	8
16-jun	37	2	8	0
30-jun	36	2	8	0
05-jul	36	3	8	0
12-jul	36	3	8	0
14-jul	36	3	8	0
28-jul	36	3	8	0
gem.	33.8	4.8	9.9	4.4

Aantal N-equivalente koeien volgens Scherphof (1996)

Periode	Aantal					N-equivalente melkkoeien
	melk-gevend	droog-staand	pinken	kalveren	totaal	
stal 11/12-22/4	30.4	7.8	12.3	4.9	55.4	49.35
weide 23/4-31/7	36.6	2.3	7.9	4.0	50.8	46.67

Melkproductiegegevens per vier weken

Periode	Melkvee						Aantal	
	aantal	melkgift	vet	eiwit	BSK	krachtvoer	droog-staand	jongvee
		kg/(koe.dag)	%	%		kg/(koe.dag)		
17 dec. - 13 jan.	36	16.5	5.03	3.83	40.5	4.4	7	8
14 jan - 10 feb.	30	17.0	5.04	3.84	-	5.2	10	9
11 feb. - 09 maart	28	20.1	4.94	3.62	-	6.3	8	9
10 maart. - 06 april	29	21.7	4.63	3.41	37.8	7.8	8	9
07 april - 04 mei	31	25.8	4.40	3.25	40.7	9.0	6	8
05 mei - 01 juni	34	29.3	4.14	3.41	40.1	5.3	2	6
02 juni - 29 juni	38	28.9	4.03	3.32	42.3	6.5	2	8
30 juni - 13 juli	37	28.5	4.10	3.38	42.3	7.5	3	8
gem.	32.9	23.5	4.54	3.51	38.6	6.5	5.8	8.1
sd	3.6	5.0	0.4	0.2	3.8	1.4	2.9	0.9

Bijlage C Voederwaardegegevens

Van het ingekuilde gras en de snijmaïs waren voederwaardegegevens, bepaald door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek beschikbaar. Van de overige voersoorten werden de door de leveranciers verstrekte gegevens gebruikt of werden de gegevens opgezocht in Centraal Veevoederbureau, 1995. De gebruikte voederwaardegegevens zijn in onderstaande tabel opgenomen.

Tabel 2 Voederwaardegegevens van de gebruikte voeders: droge stof (DS), voedereenheid melk (VEM), darm verteerbaar eiwit (DVE), onbestendig eiwit balans (OEB), ruw eiwit (RE) van alle voeders en de NH₃-fractie van de voordroogkuil

Voersoort	DS g/kg	VEM g/kg DS	DVE g/kg	OEB g/kg	RE g/kg	NH ₃ - fractie
graskuil 1***, voorjaar 1995	398	946	75	87	213	7
graskuil 2a***, weide 1995	436	831	65	55	172	11
graskuil 2b***, voorjaar 1994	387	814	59	72	175	13
graskuil 2c***, voorjaar 1994	324	829	56	83	184	12
maïs 1***	276	862	48	-20	92	
maïs 2***	324	938	46	-33	71	
Gerstestro*	840	490	12	-39	41	
A-brok +pulp** (stal)	915	1025	93	-26	116	
Eiwitrijke kv** (winter)	880	1068	110	-10	150	
matig eiwitrijk kv +pulp** (weide)	880	1068	103	-15	140	
Sojabrok (bestendig)**	874	981	350	55	450	

* CVB, 1995

** gegevens leverancier

*** kuil en maïs analyses Bedrijfslaboratorium voor grond en gewas (Oosterbeek)

Bijlage D Voergegevens in de stal

Voersoort per periode

Voersoort	Vee	Periode
graskuil 1	melkkoeien:	11 dec. 1995 - 25 jan. 1996
graskuil 2a	melkkoeien:	26 -jan. - 13 maart 1996
graskuil 2b	melkkoeien:	14 maart - 2 april 1996
graskuil 2c	melkkoeien:	3 april - 14 april 1996
graskuil 1	melkkoeien:	15 april 1996 -
maïs 1	melkkoeien:	12 dec. - 16 jan 1996
maïs 2	melkkoeien:	17 jan 1996 -
graskuil2a	jongvee:	11 dec. 1995 - 1 april 1996
gerstestro	jongvee + droogstaande koeien	2 april 1996 – 31 juli 1997

Voergift aan de melkkoeien per koe per dag

Periode	Voersoort	Gift kg ds
tot 27 maart	maïs	2.5
	kuilgras	8.5
	Totaal	11
na 27 maart	maïs	3.5
	kuilgras	7.5
	Totaal	11
*na 22 april	maïs	1.5
	kuilgras	2.5
	Totaal	4
krachtvoergift:		
A-brok +pulp	melkput	2.5
matig eiwitrijk +pulp	automaat	3.5
totaal krachtvoer (per melkkoe)		6

6/6 kuilgras is op, vervangen door hooi
 18/6 het thans gevoerde hooi is snel gegroeid, hoog eiwit
 5/7 koeien grazen op snel gegroeid grasland
 12/7 maïs is op
 De laatste 3-4 weken zijn de roosters dagelijks schoongeveegd (7.45-8.00 uur)

Voertijden over de dag van de melkkoeien

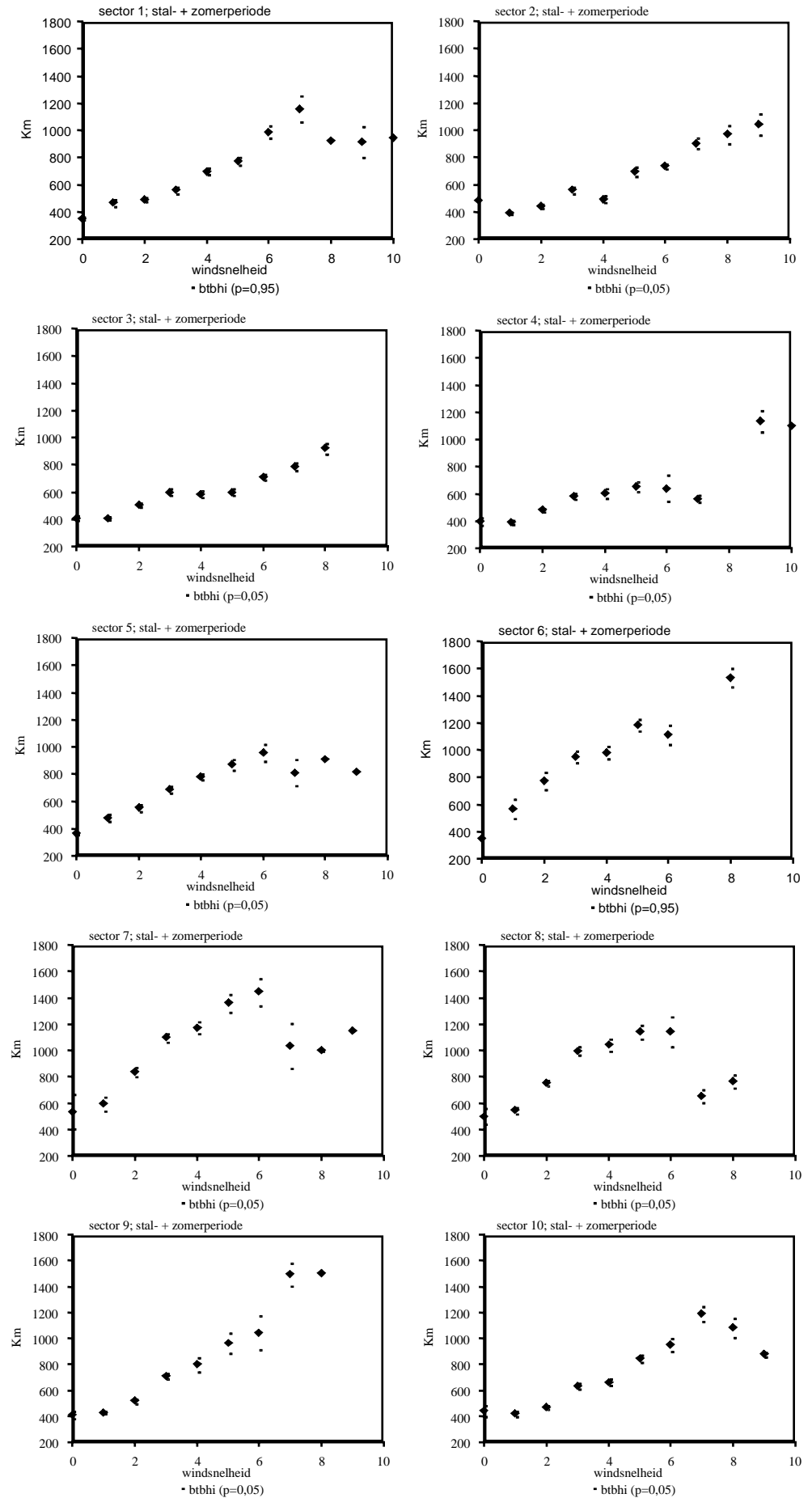
Voersoort	Voertijd
maïs	8.00 h.
kuilgras	13.00 h.
maïs	18.00 h.
kuilgras	19.00 h.
maïs	8.00 h.
kuilgras	10.00 h.
maïs	13.00 h.
kuilgras	15.00 h.
maïs	19.00 h.
kuilgras	22.00 h.
maïs	voor melken ('s ochtends en 's avonds)
kuilgras	's avonds

Voergift aan droogstaande koeien, pinken en kalveren per dag

Veesoort	Voersoort	Gewicht kg ds	Periode
droogstaande koeien	kuilgras	7-8 *	tot 4 april
droogstaande koeien	gerstestro	8	na 4 april
droogstaande koeien	A-brok/pulp (verh. 1:1)	2	na 4 april
pinken	kuilgras	7-7.5 **	tot 27 maart
pinken	gerstestro	7-7.5	na 27 maart
pinken	A-brok/pulp (verh. 1:1)	3	na 27 maart
kalveren	kuilgras	5-6 **	tot 4 april
kalveren	A-brok/pulp (verh. 1:1)	1	tot 4 april
kalveren	gerstestro	7-7.5	na 4 april
kalveren	A-brok/pulp (verh. 1:1)	3	na 4 april

- droogstaande koeien beperkt voeren
 - pinken en kalveren onbeperkt voeren

Bijlage E Mengfactor (Km) in m^3/min uitgezet tegen windsnelheid per windrichtingssector in m/s



Bijlage F NH3-productie (QNH3) in g/uur uitgezet tegen windsnelheid per windrichtingssector in m/s

