STALLUCHT EN PLANTEN

De relatie tussen bedrijfsomvang en de kans op beschadiging van gewassen rondom intensieve veehouderijbedrijven

door

Ir. L.J. van der Eerden
Instituut voor Plantenziektenkundig Onderzoek,
Afdeling Onderzoek Invloed Luchtverontreiniging op Cultuurgewassen

Dr.Ir. H. Harssema
Landbouwhogeschool, Vakgroep Luchthygiëne en -verontreiniging

Ing. J.V. Klarenbeek
Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen,
Hoofdafdeling Bouwkunde

Wageningen, juli 1981

IPO - Rapport R-254
LH-LUVO - Rapport R-16
IMAG - Rapport 32

VOORWOORD

Omdat er zich van tijd tot tijd gevallen voordoen, waarbij beschadiging geconstateerd wordt aan gewassen rondom intensieve-veehouderijbedrijven, bestaat er behoefte aan informatie over de achtergronden, de mogelijke oorzaken van en de kans op beschadiging. In dit rapport wordt de thans beschikbare kennis over emissie, verspreiding en effect op planten van stallucht samengevat. Na een synthese van deze kennis worden curven gepresenteerd van min of meer veilige afstanden, in afhankelijkheid van de bedrijfsomvang.

INHOUDSOPGAVE

	Pag.
1. Inleiding	2
2. Emissie van ammoniak uit veehouderijgebouwen	3
2.1. Inleiding	3
2.2. Onderzoekresultaten	3
2.2.1. Emissiemetingen mestvarkensstallen	3
2.2.2. Emissiemetingen legkippenstallen	5
2.3. Conclusies	6
2.3.1. Varkensstallen	6
2.3.2. Legkippenstallen	6
2.3.3. Omrekeningsfactoren	6
3. Verspreiding	7
4. Immissie en Effect	10
5. Synthese van de onderzoekresultaten	15
6. Evaluatie en Conclusies	20
7. Literatuur	21

1. INLEIDING

De laatste jaren zijn er van tijd tot tijd gevallen geconstateerd, waarbij de emissie van intensieve-veehouderijbedrijven de vegetatie rondom de stallen in meerdere of mindere mate beschadigd heeft. De afstanden waarbinnen beschadiging is geconstateerd, lopen uiteen van enkele tientallen tot enkele honderden meters (Ewert, 1980 ; Garber en Schürmann, 1971 ; Hunger, 1978 ; Tesche en Schmidtchen, 1978 ; Rudolph, 1981). Hoewel het aantal ernstige schadegevallen in Nederland nog tamelijk gering is, blijkt de mogelijkheid ervan toch problemen te veroorzaken bij het verlenen van hinderwetvergunningen aan veehouders en bij het interpreteren van de ernst van de bezwaren.

Voor een beoordeling van de kans op beschadiging van planten door stallucht is informatie nodig over de emissie, verspreiding, immissie en effecten. De afgelopen jaren is daarnaar op verschillende plaatsen onderzoek gedaan. In dit rapport wordt de daaruit verkregen kennis bijeengebracht ten behoeve van de bedrijfsvoorlichting en vergunningverlenende instanties.

Uit onderzoek is gebleken, dat in stallucht ammoniak (NH_3) de component is, die beschadiging aan planten veroorzaakt (v.d. Eerden, 1981b). Daarom staat in dit rapport ammoniak centraal. In de volgende paragrafen wordt achtereenvolgens aandacht geschonken aan de emissie, de verspreiding, de immissie en het effect van ammoniak bevattende lucht op planten. In de laatste paragraaf wordt tot een synthese van de nu beschikbare gegevens gekomen.

2. EMISSIE VAN AMMONIAK UIT VEEHOUDERIJGEBOUWEN

2.1. Inleiding

Bij het nagaan van te verwachten effecten van ammoniak op planten dient men eerst de gegevens over de emissie uit stallen te bestuderen. De ontwikkeling van ammoniak in mest en de overgang van ammoniak uit de mest naar stallucht is van meerdere factoren afhankelijk. Naast de huisvestingsmethode, met de daarmee verband houdende factoren als mestopslag en mestbehandeling, zijn ook klimaatsfactoren (bijv. temperatuur) en tijdstip (dag/nacht) van belang.

Hilliger (1977) noemt in een literatuuroverzicht ammoniakconcentraties in varkenstallen variërend van 0 - 35 $mg.m^{-3}$. De ammoniakconcentratie bleek beïnvloedbaar door het tijdstip van mestverwijdering uit de stal, de reinheid van de hokken, vorming van een drijflaag op de mest, de temperatuur en de pH van de mest. Met betrekking tot het staltype vermeldt Tjernshaugen (1975) in een literatuuroverzicht voor legkippenstallen emissieconcentraties, waarvan de gemiddelden respectievelijk 4,3 $mg.m^{-3}$ voor een drijfmestsysteem en 10,6 $mg.m^{-3}$ voor deep-pit stallen waren. Ook hierbij was de variatie nogal groot ; waarden tot 21 $mg.m^{-3}$ werden gerapporteerd. Als emissie-bepalende factoren werden staltemperatuur, frequantie van uitmesten en huisvestingssysteem genoemd.

2.2. Onderzoekresultaten

2.2.1. *Emissiemetingen mestvarkensstallen*

In 1975 is onderzoek uitgevoerd naar de geur, ammoniak- en stofemissies van verschillende typen mestvarkensstallen (Logtenberg en Stork, 1976). Een samenvatting van de ammoniak-emissiemetingen is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Ammoniakemissie van verschillende typen mestvarkensstallen

Staltype	Aantal metingen	NH_3-emissie ($mg.uur^{-1}.varken^{-1}$) *)		
		Gem.	stand.afw.	Range
Deense stal	6	214	190	88 - 592
Halfroostervloer	6	396	355	69 - 1047
Volledig roostervloerstal	6	220	88	102 - 338
gemiddeld		227	240	69 - 1047

*) Voor een varken is gerekend met een dier dat een lichaamsgewicht heeft van 65 kg.

In de winter van 1975/76 werden bij één stal, met een Deense opstelling, op dezelfde wijze metingen uitgevoerd. De resultaten daarvan staan in tabel 2

Tabel 2. Ammoniakemissie van een Deense mestvarkensstal gedurende de winter van 1976/77.

Periode	Aantal metingen	NH_3-emissie ($mg.uur^{-1}.varken^{-1}$) Gem.	Stand.afw.	Range
6 aug. t/m 24 sept.	7	207	69	170 - 362
1 okt. t/m 17 dec.	8	131	48	62 - 200
28 dec. t/m 23 mrt.	11	89	49	52 - 206
28 mrt. t/m 19 apr.	5	74	16	55 - 94
gemiddeld		123	70	52 - 362

In de periode mei - augustus 1979 is bij vier verschillende typen mestvarkensstallen een aantal metingen naar geur- en ammoniakemissies uitgevoerd. Een beschrijving van deze stallen is als bijlage 1[a] opgenomen. De resultaten zijn in tabel 3 vermeld.

Tabel 3. Ammoniakemissie van vier verschillende typen mestvarkensstallen.

Staltype	Aantal metingen	NH_3-emissie ($mg.uur^{-1}.varken^{-1}$) Gem.	Stand.afw.	Range
halfroostervloer	12	258	158	134 - 659
volledig roostervloer	10	182	55	115 - 246
volledig roostervloer met spoelen	10	227	70	129 - 336
volledig roostervloer en putventilatie	13	208	46	137 - 316
gemiddeld		219	93	115 - 659

2.2.2. *Emissiemetingen legkippenstallen*

In de maanden mei tot en met augustus 1978 is door het IMAG in samenwerking met de TNO-hoofdafdelingen V & V en MT een onderzoek uitgevoerd naar geur-, ammoniak- en stofemissies bij een drietal kippenstallen. De stallen waren geselecteerd op basis van het toegepaste mestbehandelings- en -opslagsysteem. Hierbij is men er van uitgegaan, dat de geproduceerde (meng)mest de bron is van de geëmitteerde vluchtige componenten. Een beschrijving van de stallen is gegeven in bijlage 1b.

Het ammoniakgehalte van de ventilatielucht is gemeten door CIVO-TNO volgens de destillatie-titratiemethode van Thaler en Sturm (1969).

Voor een overzicht van de analyseresultaten wordt verwezen naar Jansen (1979). De berekende ammoniakemissies per kip bij de diverse staltypen zijn opgenomen in tabel 4.

Tabel 4. Ammoniakemissie bij kippenstallen met verschillende mestbehandelingssystemen.

Mestbehandeling	Aantal metingen	NH_3-emissie ($mg.uur^{-1}.kip^{-1}$) *)		
		Gem.	Stand.afw.	Range
dagontmesting	24	3	2	0,5 - 7,6
mengmestopslag	24	20	6	12,9 - 33,3
drogemestopslag	24	66	38	6,0 -149,6

*) Met een kip wordt bedoeld een standaard dier met een levend gewicht van 2 kg.

2.3. Conclusies

2.3.1. *Varkenstallen*

Uit de tabellen 1 en 3 blijkt dat de ammoniakemissies per varken bij de verschillende stallen onder zomerse omstandigheden elkaar niet veel ontlopen. Als men daarbij de onnauwkeurigheid van de gebruikte meetmethoden in aanmerking neemt valt het te verdedigen om af te zien van de geconstateerde verschillen en de ammoniakemissie te stellen op 235 $mg.uur^{-1}.varken^{-1}$, met een standaardafwijking van 150 $mg.uur^{-1}.varken^{-1}$ (gewogen gemiddelde van tabel 1 en 3).

Tijdens de winterperiode en het voorjaar blijkt de ammoniakemissie duidelijk lager te zijn (tabel 2). Het aantal metingen en meetobjecten is echter nog te gering geweest om daarover kwantitatieve uitspraken te doen.

2.3.2. *Legkippenstallen*

Voor de geconstateerde verschillen bij kippenstallen valt een generalisatie zoals voor de varkensstallen is doorgevoerd niet te verdedigen. De in tabel 4 weergegeven verschillen in emissie per staltype blijven derhalve gehandhaafd.

2.3.3. *Omrekeningsfactoren*

In tabel 5 zijn de gemiddelde emissiegegevens voor mestvarkens en legkippen vermeld. Ten behoeve van de vergelijkbaarheid tussen de mestvarkens- en legkippenstallen zijn alleen zomerse emissies in beschouwing genomen ; in de winter zouden deze dus lager zijn geweest.

Tabel 5. Gemiddelde ammoniakemissie voor mestvarkens en legkippen.

Mestvarkens	235 $mg.uur^{-1}.dier^{-1}$
Legkippen met dagontmesting	3 $mg.uur^{-1}.dier^{-1}$
Legkippen met mengmestopslag	20 $mg.uur^{-1}.dier^{-1}$
Legkippen met drogemestopslag	66 $mg.uur^{-1}.dier^{-1}$

Uit deze emissiegegevens kunnen de in tabel 6 weergegeven omrekeningsfactoren worden berekend.

Tabel 6. Omrekeningsfactoren voor de ammoniakemissie.
(afgerond op gehele getallen)

1 Mestvarken-Eenheid-Ammoniak (afk. MEA)	235 $mg.uur^{-1}$
komt overeen met:	1 mestvarken
	78 legkippen (dagontmesting)
	12 legkippen (mengmestopslag)
	4 legkippen (drogemestopslag)

Er wordt op gewezen dat de in tabel 6 vermelde gegevens betrekking hebben op metingen die zijn uitgevoerd tussen ca. 9.00 en 16.00 uur, onder zomerse omstandigheden. Omdat het ventilatiedebiet 's nachts in het algemeen kleiner is dan overdag, is het aantal MEA 's nachts waarschijnlijk ook kleiner.

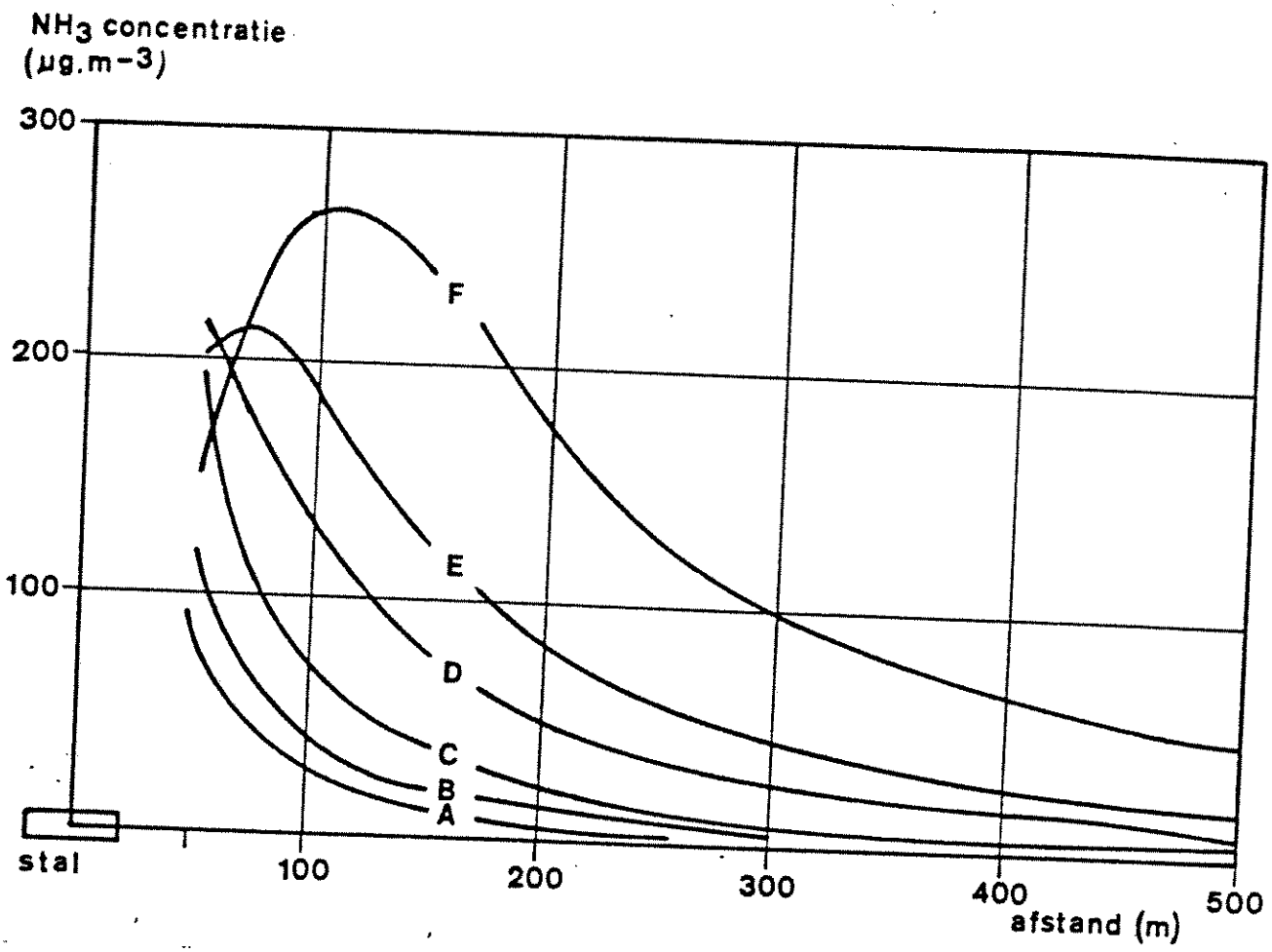
3. VERSPREIDING

Naar de verspreiding van ventilatielucht in de omgeving van stallen zijn in Nederland een tweetal onderzoeken uitgevoerd in het kader van de Coördinatiecommissie Megista-NRLO. Het eerste werd door het CTI-TNO uitgevoerd met behulp van schaalmodellen in een windtunnel (Janssen, 1977), het tweede door de Vakgroep Luchthygiëne en -verontreiniging van de LH, in samenwerking met het IMAG, rondom stallen in de praktijk (Harssema, 1980). Voor nadere gegevens over die onderzoeken wordt naar de betreffende rapporten verwe KNMI (1974) geeft algemene informatie over verspreiding van luchtverontreini

In beide onderzoeken werd de verdunning van ventilatielucht in de atmosfeer nagegaan voor afstanden van 50 - 250 m. Eén van de conclusies was, dat de optredende verdunning zich redelijk laat berekenen met het Gaussisch Pluimmodel (GPM), mits de invoergegevens worden aangepast (zie bijlage 2). Met behulp hiervan is het mogelijk, uit gegevens over de ammoniakemissie, wijze en plaats van uitworp e.d. te berekenen, welke concentraties benedenwinds van een stal verwacht mogen worden onder bepaalde meteorologische omstandigheden.

Om een indruk te geven van mogelijke ammoniakconcentraties rond een mestvarkensstal zijn deze berekeningen uitgevoerd voor een vier-rijige stal met 480 mestvarkens. Voor de lengte van de stal is uitgegaan van 40 m, met op de daknok 5 ventilatoren op onderlinge afstanden van 8 m. Per ventilator wordt de ammoniakproduktie van 96 mestvarkens afgevoerd, wat volgens tabel 5 overeenkomt met 96 x 235 mg ammoniak per uur, oftewel ruim 6 mg ammoniak per seconde. Voor de emissiehoogte wordt de halve gebouwhoogte (= 2½ m) ingevoerd.

De hoogste grondconcentraties zullen optreden, wanneer de wind evenwijdig aan de stal waait, omdat dan in het verlengde van de nok de pluimen van alle emissiepunten samenvallen. Daarom is in figuur 1 aangegeven hoe de concentratie in het verlengde van de stal verloopt met de afstand tot het midden van de stal, bij een windsnelheid van 1 $m.s^{-1}$. Het concentratieverloop blijkt afhankelijk van de stabiliteit van de atmosfeer: bij neutraal (klasse D) tot onstabiel (C,B,A) valt de hoogste grondconcentratie op een afstand kleiner dan 50 m, bij een stabiele atmosfeer (E, F) op 70 tot 120 m afstand. De te verwachten maximale grondconcentratie bij klasse F en 1 $m.s^{-1}$ bedraagt ca. 270 $\mu g.m^{-3}$.



Figuur 1 Pluimas-concentraties in het verlengde van een stal met 480 mestvarkens bij verschillende stabiliteitsklassen en een windsnelheid van 1 $m.s^{-1}$

Nu zullen op een bepaald punt deze uurgemiddelde concentraties niet zo vaak voorkomen: slechts zelden ligt de pluimas precies over het beschouwde punt. Om iets over de frequentie van vóórkomen te kunnen zeggen worden de windrichtingen doorgaans opgedeeld in 12 sectoren van 30°. Bovendien worden de voorkomende windsnelheden opgesplitst in klassen, 2 voor de stabiliteitsklassen A, B, E en F en 3 voor de klassen C en D. Zodoende worden (4 x 2 + 2 x 3) x 12 = 168 combinaties van stabiliteit, windsnelheid en windrichting onderscheiden. Uit langjarige statistieken is de gemiddelde frequentie van vóórkomen van deze combinaties voor verschillende delen van Nederland bekend (KNMI, 1972).

Met behulp van deze gegevens kan nu berekend worden, hoe vaak op een bepaald punt een zekere uursgemiddelde concentratie zal worden overschreden in een jaar met gemiddeld meteorologische omstandigheden. Daarbij speelt de ligging van het punt t.o.v. de stal een belangrijke rol. Enerzijds zijn de concentraties in het verlengde van de stal iets hoger dan elders, anderzijds komen de verschillende windrichtingen niet even vaak voor. Daarom zijn in tabel 7 twee situaties onderscheiden, één met een staloriëntatie WZW/ONO met WZW-wind (240°) en één met een oriëntatie N/Z met N-wind (360°). De eerste windrichting komt in Nederland het meest voor (gemiddeld ruim 1300 uur per jaar), de laatste het minst (gemiddeld ruim 380 uur per jaar). De meteorologische gegevens van het station Eindhoven zijn hierbij gebruikt, wat als redelijk representatief beschouwd wordt voor Zuid- en Oost-Nederland (Anonymus, 1976).

Bij de gegevens in tabel 7 moet bedacht worden, dat de berekening slechts betrekking heeft op ca. 87% van het jaar, dat wil zeggen op ruim 7600 uur. Over de resterende tijd kunnen geen berekeningen worden uitgevoerd, omdat òfwel de windrichting te variabel is voor zinnige berekeningen, òfwel de windsnelheid lager is dan 1 $m.sec^{-1}$, waarbij het rekenmodel niet meer bruikbaar is. Bij een evenredige verdeling van deze 13% van de tijd over de 12 windrichtingssectoren betekent dit, dat voor een bepaald punt de concentratie gedurende ruim 1% van de tijd of ca. 95 uur niet te berekenen valt. Gedurende die tijd kunnen de concentraties hoger zijn dat in tabel 7 is aangegeven, al hoeft dat niet noodzakelijkerwijs zo te zijn. Verder moet rekening gehouden worden met aanzienlijke variaties rondom de genoemde jaargemiddelde windrichtingsfrequenties.

Tabel 7. Aantal uren per gemiddeld jaar, dat de aangegeven ammoniak-concetratiegrenzen kunnen worden overschreden op punten in het verlengde van een stal met 480 mestvarkens, afhankelijk van de windrichting

Grens-conc. ($\mu g\ m^{-3}$)	Aantal uren overschrijding WZW-wind (225°-255°) 50 m	100 m	200 m.	N-wind (345°-15°) 50 m	100 m	200 m
500	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
400	9	< 3	< 3	5	< 3	< 3
300	18	5	< 3	11	4	< 3
200	36	14	3	24	11	3
100	85	37	8	59	30	6
50	267	85	24	143	62	20
20	1044	339	66	334	161	46
10	1318	840	181	383	270	93

Uit deze berekeningen blijkt, dat concentraties groter dan een paar honderd microgram ammoniak per kubieke meter lucht slechts zelden voor zullen komen in de omgeving van de voorbeeldstal. Een onzekerheid vormen hierbij de "onberekenbare" uren, waarbij over de mogelijk optredende concentraties erg weinig te zeggen valt.

Afhankelijk van het staltype kan bij legkippen-stallen een aanzienlijk hogere ammoniakemissie per strekkende meter stal optreden, met als gevolg ongeveer evenredig hogere grondconcentraties in de omgeving.

4. IMMISSIE EN EFFECT

In de afgelopen jaren is door het IPO informatie verzameld over de fytotoxiciteit van stallucht. Dit is ondermeer gedaan door vergelijking van de effecten op planten na begassing met ammoniak, amines, organische zuren en de ventilatielucht van een kippenstal met mengmestopslag. Daaruit bleek dat amines een met ammoniak vergelijkbaar effect vertonen, maar toxischer zijn dan ammoniak. Amines komen echter in dermate lage concentraties in stallucht voor dat zij geen meetbare bijdrage leveren aan het totaal effect van stallucht. Het zelfde geldt waarschijnlijk voor H_2S. Organische zuren bleken weinig toxisch. In de verhouding, waarin de verschillende componenten in stallucht voorkomen, blijkt ammoniak de veroorzaker van plantenbeschadiging te zijn. De symptomen na een ammoniakbegassing zijn ook niet te onderscheiden van die na blootstelling aan stallucht.

In het onderzoek zijn planten op verschillende wijzen aan ammoniak blootgesteld zowel in begassingskassen met een bewust ingestelde ammoniakconcentratie (onder geconditioneerde milieu-omstandigheden en onder buitenluchtomstandigheden), als ook door planten op verschillende afstanden van kippen- en varkensstallen te plaatsen.

In het begassingsonderzoek zijn zo'n 50 plantesoorten op hun relatieve gevoeligheid voor ammoniak getoetst.Tabel 8 geeft daar een indruk van. In deze tabel zijn de getoetste plantesoorten onderscheiden in twee groepen: 'coniferen' en 'andere planten', omdat de eerste groep steeds getoetst is in experimenten van 50 dagen en langer en de tweede groep meestal in experimenten van 14 dagen en korter. Een gedetailleerder overzicht van dit onderzoek zal binnenkort gepubliceerd worden (van der Eerden, 1981b).

Tabel 8. Relatieve gevoeligheid van enkele plantesoorten voor ammoniak (Resultaten van begassingsonderzoek).

Zeer gevoelig	Matig gevoelig	Weinig gevoelig
I Coniferen		
Cypressocyparis leylandii	Pinus nigra var. maritima	Taxus media 'Hicksii'
Pinus strobus	Picea omorika	Pinus nigra var. nigra
Picea sitchensis	Chamaecyparus columnaris var. glauca	Pinus sylvestris
Picea abies	Taxus baccata 'Fastigiata'	Thuja occidentalis
Taxus baccata	Pseudo-tsuga mensiesii	Pinus mugo. var. mughus
	Chamaecyparis lawsoniana	Tsuga canadensis 'Nana Com.'
II Groenten, fruit en andere soorten		
bloemkool (3 rassen)	spruitkool	boerenkool
tomaat (2 rassen)	spitskool	rode kool
komkommer	groene kool	veldsla
	savooie kool	peer 'Doyenné du C
	spaanse peper	appel 'Golden D.'
	sla	Rhododendron (2 rassen)
	tabak	Populier
	bruine boon	Italiaans raaigras
	boekweit	straatgras
	Prunus laurocerasus	kattekruid
	Sarepta-mosterd	
	Melganzevoet	
	witte honingklaver	

De resultaten van deze begassingsexperimenten stemmen tamelijk goed overeen met wat in de vakliteratuur beschreven staat.

Evaluatie van in de praktijk voorgekomen beschadigingsgevallen heeft deze indeling naar relatieve gevoeligheid bevestigd. Dit geldt met name voor coniferen. Met andere plantesoorten is minder ervaring opgedaan.

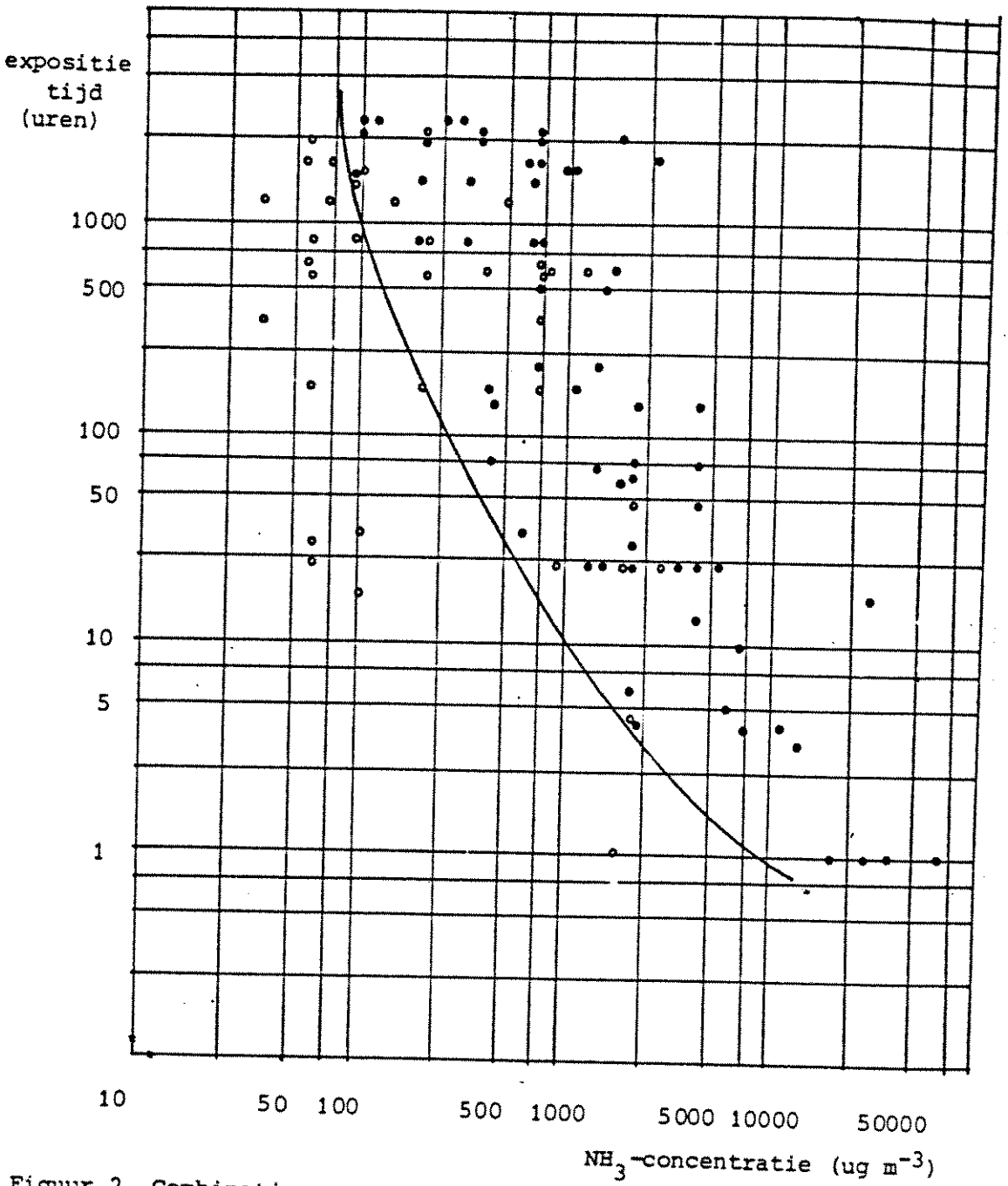
In figuur 2 zijn de resultaten van circa 25 verschillende experimenten bijeengebracht. Deze zijn voor het merendeel door het IPO uitgevoerd, maar ook enkele literatuurgegevens zijn in deze figuur verwerkt. De curve in figuur 2 scheidt de niet-effectieve blootstellingen (combinaties van concentraties en blootstellingsduur) van de potentieel effectieve. Een blootstelling links van de curve veroorzaakt geen beschadiging, een blootstelling rechts van de curve kàn beschadiging veroorzaken. Of dit al dan niet gebeurt, hangt af van de gevoeligheid van de plantesoort en de milieu-omstandigheden. De curve zou bij tijdsduren van 7 tot 100 dagen iets meer naar links kunnen liggen, ondermeer omdat hier de blootstellingsduur, waarna beschadiging werd geconstateerd, is weergegeven. De minimale periode, die nodig is voor beschadiging, kan korter zijn.

Er zijn bepaalde milieu-omstandigheden, waaronder planten extra gevoelig zijn voor ammoniak. Voor coniferen geldt, dat zij met name in de winter (en het vroege voorjaar) gevoelig zijn. Dit blijkt bijvoorbeeld uit tabel 9 : ondanks hogere concentraties en langere blootstellingsduren bleek bij coniferen ammoniak in de periode april / mei veel minder effectief te zijn dan in februari / maart.

Tabel 9. Verschillen in gevoeligheid van coniferen voor ammoniak afhankelijk van het seizoen.

periode en wijze van blootstelling	concentratie in $mg.m^{-3}$		max. van beschadigin
	98 percentiel	mediaan	
- 50 dagen, febr. - maart, begassing onder buitenluchtomstandigheden	0,42	0,25	zwaar
- 50 dagen, febr. - maart, begassing onder buitenluchtomstandigheden	0,15	0,07	geen
- 53 dagen, april - mei, begassing onder buitenluchtomstandigheden	1,50	0,54	geen
- 53 dagen, april - mei, begassing onder buitenluchtomstandigheden	0,25	0,10	geen
- 60 dagen, dec. - febr., in omgeving varkensstallen	0,25	0,06	matig tot zw
- 53 dagen, april - mei, in omgeving varkensstallen	0,25	0,06	geen
- 100 dagen, begassing onder geconditioneerde omst. (8 - 12° C)	0,92	0,69	zeer licht

In deze seizoensafhankelijke gevoeligheidsverschillen speelt waarschijnlijk een door ammoniak verhoogde vorstgevoeligheid een belangrijke rol.
Voor de kortdurende blootstellingen geldt, dat planten in het donker vaak gevoeliger zijn voor ammoniak. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een lager koolhydraatgehalte en daardoor een geringer vermogen tot ontgifting van de opgenomen ammoniak : de plant kan ammoniak omzetten, in aminozuren, en daarmee onschadelijk maken, maar daarvoor zijn koolhydraten nodig. Deze zijn 's nachts maar in beperkte mate beschikbaar

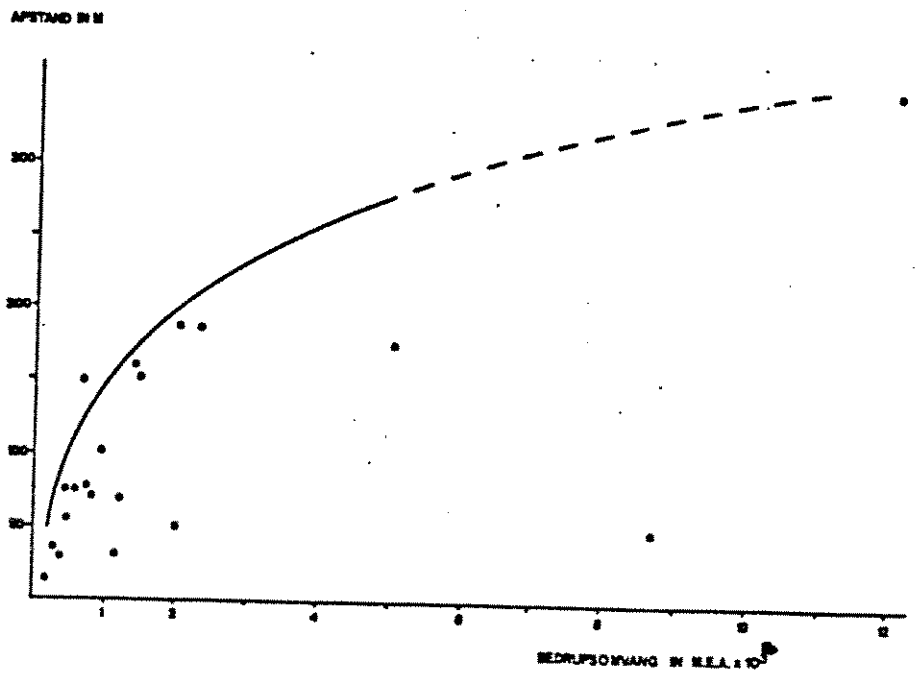


Figuur 2 Combinaties van expositietijd en ammoniakconcentratie, waarbij planten wel (●) en niet (o) beschadigd werden. Resultaten van eigen onderzoek en uit de literatuur. Nadere gegevens worden binnenkort elders gepubliceerd. (Van der Eerden, 1981, a en b).

In de praktijk is er in Nederland tot nu toe slechts een beperkt aantal gevallen van gewasbeschadiging geconstateerd. Voorzover er sprake was van duidelijke economische schade, is er meestal wel enige aandacht aan besteed. Aangenomen moet echter worden, dat in het verleden, wegens de onbekendheid van het probleem, slechts een deel van de gevallen van ammoniakbeschadiging als zodanig herkend is, en aan het IPO ter evaluatie is voorgelegd.
Voorzover er informatie over de bedrijfsomvang beschikbaar was en er aanmerkelijke beschadiging (en dus meestal economische schade) was geconstateerd, zijn deze gevallen in figuur 3 vermeld. Deze figuur levert een nogal diffuus beeld op van de afstandsafhankelijkheid van de gewasbeschadiging. Een aantal oorzaken zijn daarvoor aan te wijzen :

- de bedrijfsomvang-berekening (in MEA) is gebaseerd op gemiddelden van emissie-metingen met een grote standaardafwijking,
- het gaat slechts om een beperkt aantal gevallen,
- de maximale afstand tot waar beschadiging is waargenomen, was soms de perceelsgrens; zou het perceel groter zijn geweest, dan zou de beschadiging ook tot op grotere afstand te zien zijn geweest,
- het gaat in de onderscheiden gevallen om verschillende plantesoorten en dus om verschillende gevoeligheden.

Figuur 3. Maximale afstand, tot waar gewasbeschadiging is geconstateerd, als functie van de bedrijfsomvang (berekend m.b.v. tabel 6). De punten geven de maximale afstanden weer, de curve is getrokken boven het merendeel van de maximale afstanden.



- In figuur 3 is één waarneming uit de literatuur opgenomen. Met toenemende afstand tot een mestvarkensbedrijf van 12.000 dieren (dus 12.000 MEA) nam het percentage dode bomen in een dennenbestand af van 100% dicht bij het bedrijf tot 5% op 350 m (Hunger, 1978).
Een punt ligt boven de curve. Daar werden tot op 150 m van een bedrijf met 45.000 leghennen en een dagontmestingssysteem (dus 600 MEA) beschadigingen aan coniferen geconstateerd. Deze onverwacht grote afstand is waarschijnlijk mede veroorzaakt doordat de afgevoerde mest in een open mestput tussen het bedrijf en de coniferen werd opgeslagen.

De in Nederland voorgekomen gevallen van gewasbeschadiging betroffen voor het merendeel coniferen. In enkele gevallen zijn kasgewassen en fruitbomen beschadigd. Het IPO heeft geen gevallen ter evaluatie voorgelegd gekregen, waar sprake was van grasland of akkerbouwgewassen (granen, mais, aardappelen, bieten enz.). Deze waarnemingen stemmen overeen met ervaringen van buitenlandse collega's.
Bij het IPO zijn slechts gevallen bekend van beschadiging rondom kippen- en varkensstallen.en dus niet van kalverenmestrijen, nertsfarms en andere soorten van veehouderijbedrijven.

5. SYNTHESE VAN DE ONDERZOEKRESULTATEN

Figuur 2 geeft aan bij welke combinaties van blootstellingsduur en ammoniakconcentratie potentiëel plantenbeschadiging kan optreden. In tabel 10 zijn deze combinaties samengevat.

Tabel 10. Combinaties van blootstellingsduur en ammoniakconcentratie, waarboven beschadiging van gevoelige planten mogelijk is.

Blootstellingsduur	Ammoniakconcentratie waarboven beschadiging mogelijk is ($\mu g.m^{-3}$)
100 dagen	70
950 uur	100
140 uur	200
65 uur	300
40 uur	400
26 uur	500
10 uur	1000
3 uur	2500

Vergelijking hiervan met figuur 1 en tabel 7 geeft aan, dat de kans op beschadiging aan planten ten gevolge van een stal met 480 mestvarkens op afstanden vanaf 50 m zeer klein is : een concentratie van 200 $\mu g.m^{-3}$, bijvoorbeeld, moet gedurende 140 uur worden overschreden om beschadiging te kunnen veroorzaken. Volgens tabel 7 zal die waarde in een gemiddeld jaar op 50 m afstand echter slechts 25 à 35 uur worden overschreden. Daarbij zal deze overschrijding ook nog niet altijd aaneengesloten zijn. Anderzijds zal de concentratie gedurende de overschrijdingsuren gemiddeld hoger zijn dag 200 $\mu g.m^{-3}$: gedurende 10 à 20 uur is de concentratie hoger dan 300 $\mu g.m^{-3}$. Met andere woorden : figuur 2 en tabel 10 geven aan, bij welke blootstelling een grenswaarde wordt overschreden (, de kans op beschadiging groter dan nul is geworden), maar niet in welke mate deze grenswaarde is overschreden (, hoeveel groter dan nul de kans is geworden). Voor stallen met ongeveer dezelfde afmetingen als de varkensstal uit paragraaf 3, maar met een grotere emissiedichtheid per strekkende meter (zoals bij sommige kippenstallen op grond van de bezetting met dieren en de emissie per dier verwacht mag worden), veranderen de getallen uit tabel 7.
Als de emissiedichtheid bijvoorbeeld met een factor 4 toeneemt, nemen ook de immissieconcentraties met een zelfde factor toe. In dat geval zal een grensconcentratie van 200 $\mu g.m^{-3}$ op 50 m ten ONO van de stal in een gemiddeld jaar ruim 250 uur worden overschreden. In deze tijd is een aaneengesloten periode van 140 uur met gemiddeld 200 $\mu g.m^{-3}$ niet geheel onmogelijk. Hoe waarschijnlijk dit is, is echter niet exact aan te geven : de variaties van jaar tot jaar zijn erg groot. Er zijn geen uitgewerkte gegevens voorhanden over de kans op een aaneengesloten duur van bepaalde combinaties van stabiliteit, windrichting en windsnelheid. In het algemeen zal de kans op aaneengesloten vóórkomen groter worden naarmate het aantal uren kleiner is : de gemiddeld ruim 1300 uren met concentraties op 50 m afstand groter dan 10 $\mu g.m^{-3}$ (zie tabel 7) zullen praktisch zeker nooit aaneengesloten optreden, alleen al omdat een uniforme windrichting gedurende

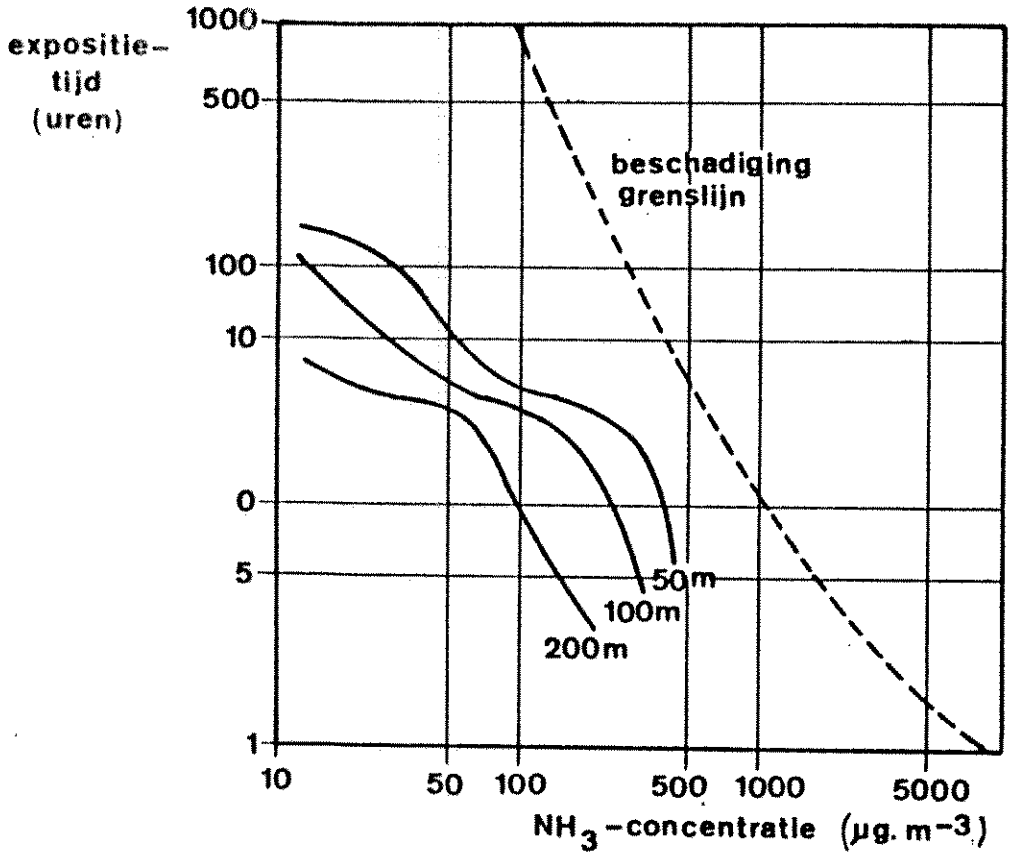
bijna 8 weken in Nederland nagenoeg uitgesloten geacht mag worden. Daarentegen kunnen de 18 uren met concentraties boven 300 $\mu g.m^{-3}$ in een bepaald jaar heel goed achtereen voorkomen. Daarom lijkt het acceptabel (hoewel niet diepgaand onderzocht) er vanuit te gaan dat blootstellingsduren uit tabel 7 die korter zijn dan 24 uur, een reële kans maken achtereen voor te komen en dat blootstellingsduren van groter dan een week (168 uur) een verwaarloosbare kans hebben om achtereen op te treden. Deze aannamen resulteren in tabel 11 waar maximale aaneengesloten overschrijdingsduren van verschillende grensconcentraties zijn weergegeven die nog enige kans van voorkomen hebben.

Tabel 11. Aaneengesloten aantal uren per gemiddeld jaar dat de aangegeven ammoniakconcentratiegrenzen mogelijk worden overschreden op verschillende afstanden benedenwinds van een mestvarkensstal met 480 mestvarkens. (onder aannamen die in de tekst zijn vermeld).

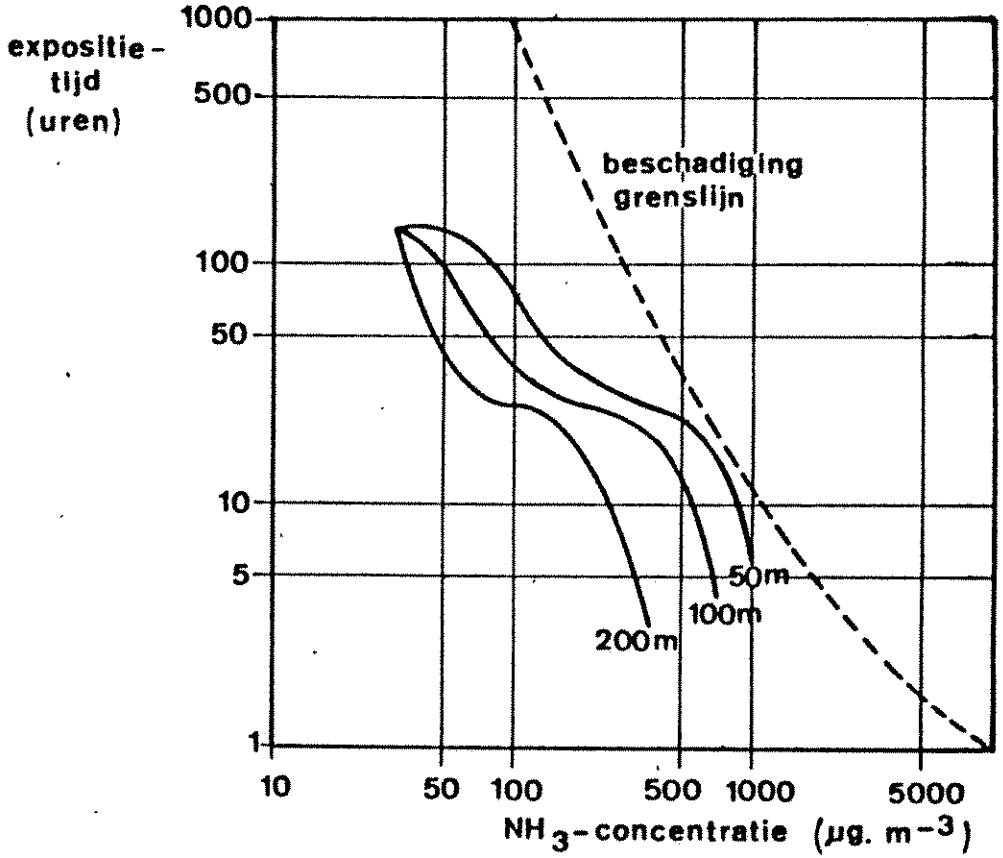
Grensconcentratie $\mu g.m^{-3}$	Aantal uren overschrijding 50 m	100 m	200 m
500	< 3	< 3	< 3
400	9	< 3	< 3
300	18	5	< 3
200	25	14	3
100	29	25	8
50	45	29	24
20	113	51	28
10	137	95	38

Tot nu toe zijn de berekeningen uitgevoerd voor één bron. In de praktijk zal echter rekening gehouden moeten worden met een basisbelasting aan ammoniak tengevolge van andere bronnen in de omgeving. Op grond van metingen, die door het IPO in streken met veel intensieve veehouderijbedrijven zijn verricht, kan deze basisbelasting tijdens stabiele perioden op ca. 30 $\mu g.m^{-3}$ gesteld worden.
In figuur 3 zijn nu voor de stal met 480 mestvarkens de grensconcentraties uit tabel 11, vermeerderd met een basisbelasting van 30 $\mu g.m^{-3}$, uitgezet tegen de aaneengesloten duur van voorkomen, eveneens uit tabel 11. Tevens is de grenslijn voor mogelijke beschadiging ingetekend. Alle blootstellingscurven liggen in het "veilige" gebied, zodat voor afstanden van 50 m of meer de kans op beschadiging erg klein mag worden geacht.

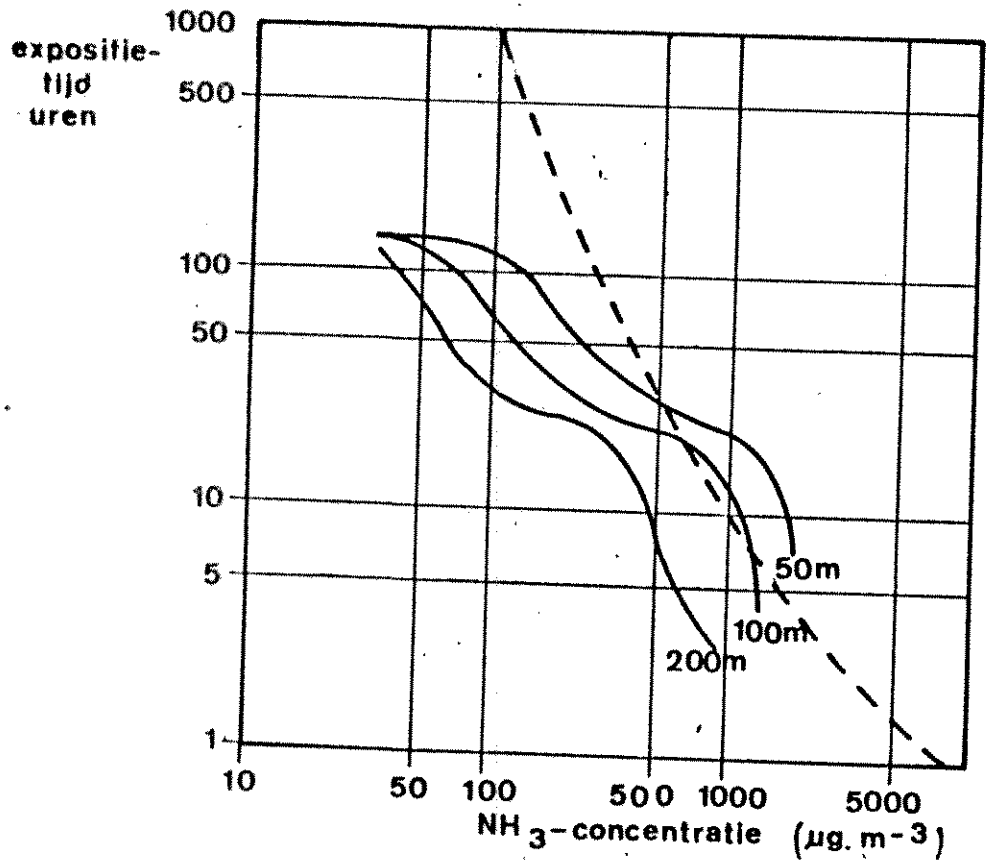
In de praktijk gaat het vaak niet om één stal op een bedrijf, maar om meerdere. Om daarover voorspellingen te kunnen doen moeten strikt genomen de berekeningen voor de afzonderlijke bronnen worden uitgevoerd, waarna de concentraties per combinatie van windrichting, windsnelheid en stabiliteit worden gesommeerd. Een eenvoudiger methode is het samenvoegen van de emissies tot één uitworp die geacht wordt plaats te vinden vanuit het "zwaartepunt" van de afzonderlijke emissies. Alle afstanden worden dan bepaald vanuit dat zwaartepunt. Deze samenvoeging betekent op korte afstanden een overschatting van de verafgelegen bronnen en een onderschatting van de dichtbijzijnde. Voor berekeningen binnen het brongebied is deze vereenvoudiging niet toegestaan, maar op afstanden, die groot zijn ten opzichte van de onderlinge afstand van de bronnen, is deze samenvoeging wel geoorloofd. Dat betekent dus, dat de resultaten van de nu volgende rekenexercitie voor afstanden kleiner dan 100 m slechts toepasbaar zijn voor situaties, waarbij de emissiepunten binnen een oppervlak van circa 50 bij 50 m vóórkomen. In andere gevallen dienen de bronnen appart beschouwd te worden.



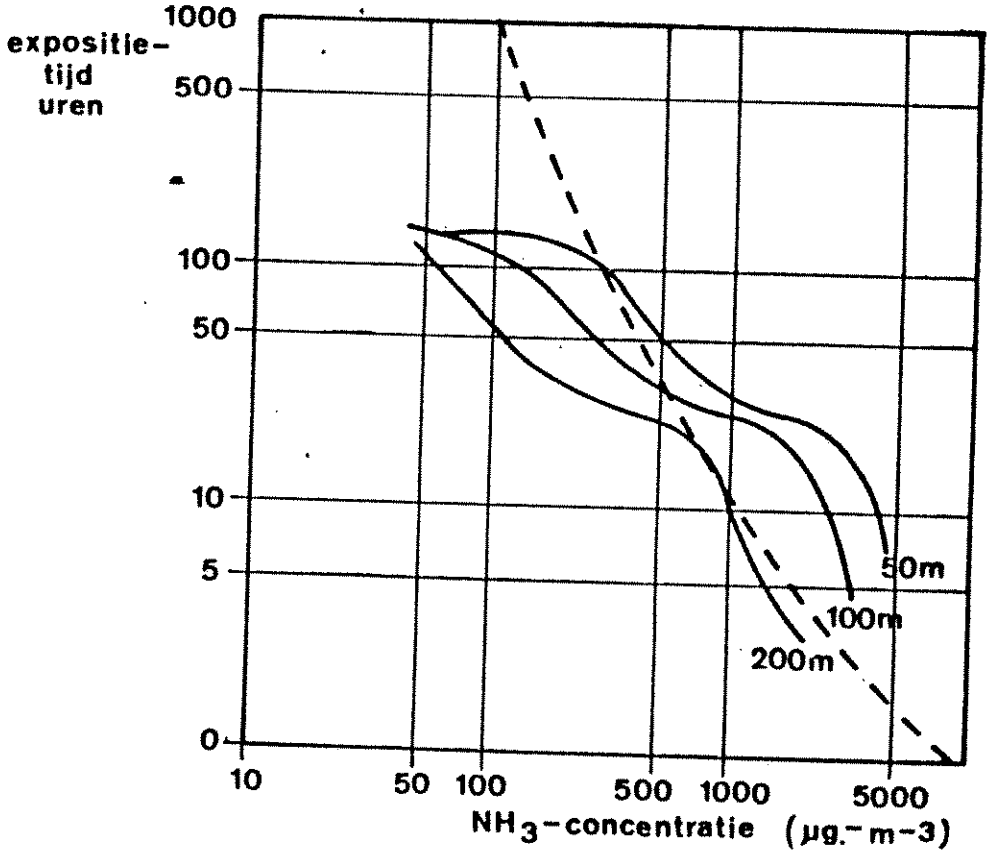
Figuur 4 Mogelijk voorkomende combinaties van expositietijd en ammoniakconcentraties op verschillende afstanden tot een stal met 480 mestvarkens, in vergelijking met de beschadigingsgrenslijn uit figuur 2.



Figuur 5 Mogelijk voorkomende combinaties van expositietijd en ammoniak-concentraties op verschillende afstanden tot een bedrijf met 1000 mestvarkenseenheden, in vergelijking met de beschadigingsgrenslijn uit figuur 2.

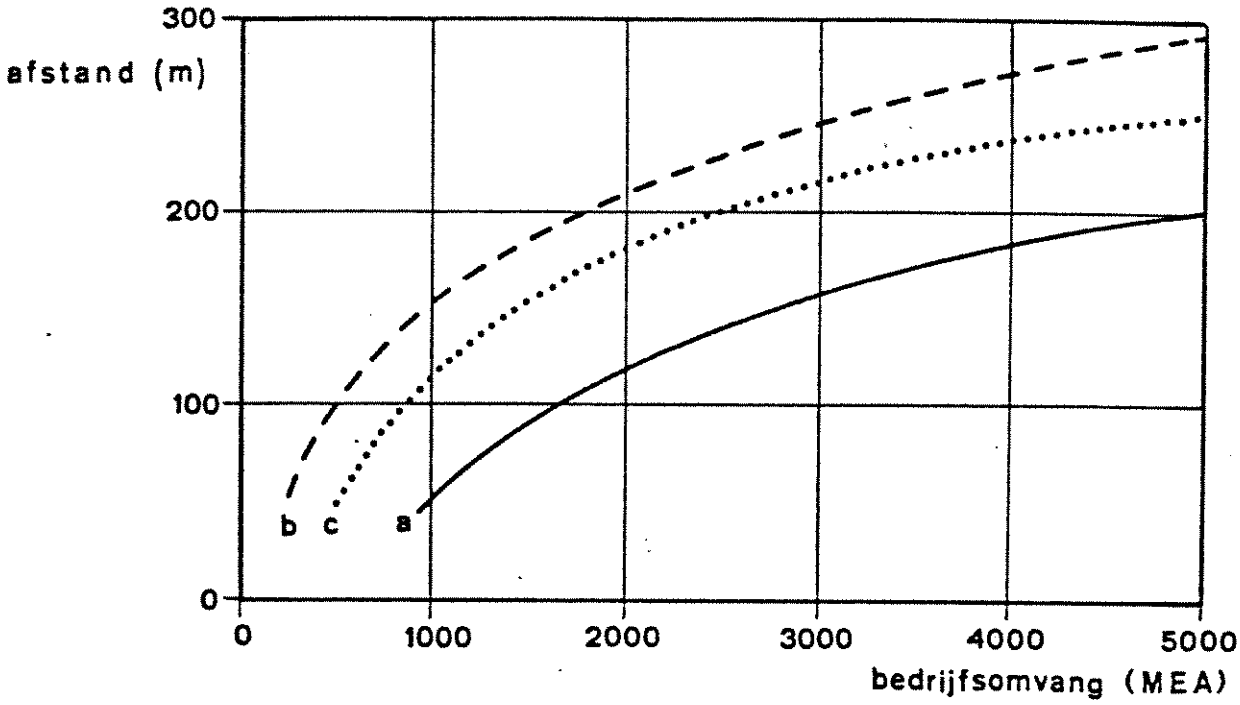


Figuur 6 Mogelijk voorkomende combinaties van expositietijd en ammoniakconcentraties op verschillende afstanden tot een bedrijf met 2000 mestvarkenseenheden, in vergelijking met de beschadigingsgrenslijn uit figuur 2.



Figuur 7 Mogelijk voorkomende combinaties van expositietijd en ammoniak-concentraties op verschillende afstanden tot een bedrijf met 5000 mestvarkenseenheden, in vergelijking met de beschadigingsgrenslijn uit figuur 2.

In de figuren 5, 6 en 7 zijn op dezelfde wijze als in figuur 4 de grens-concentraties met hun aaneengesloten duur van vóórkomen uitgezet voor complexen van 1000, 2000 en 5000 mestvarkenseenheden. Daaruit blijkt, dat bij 1000 mestvarkenseenheden de 50 m-curve juist raakt aan de effect-grens-lijn, bij 2000 mestvarkenseenheden wordt die lijn op oa 120 m bereikt en bij 5000 mestvarkenseenheden op een afstand van ruim 200 m.



Figuur 8 "Veilige afstanden" tot het zwaartepunt van de bron als functie van de bedrijfsomvang.
a. bepaald uit emissie-, verspreidings- en blootstelling/effect-gegevens,
b. grens van in de praktijk geconstateerde gevallen van gewas-beschadiging,
c. als a., met een twee maal zo hoge emissie per MEA.

Deze "veilige" afstanden zijn in figuur 8 weergegeven als functie van de bedrijfsomvang, uitgedrukt in MEA (curve a). Tevens is in deze figuur een lijn getekend, die de maximale afstanden weergeeft waarop door het IPO in de praktijk gevallen van gewasbeschadiging zijn geconstateerd, eveneens als functie van de bedrijfsomvang (figuur 3 en figuur 8, curve b). Daaruit blijkt, dat er in de praktijk op grotere afstanden nog beschadiging op kan treden dan op grond van emissie- en verspreidingsgegevens verwacht werd, ook al waren die voor relatief ongunstige situaties berekend.
Enkele mogelijke oorzaken daarvan kunnen zijn:

- gewasbeschadiging treedt vooral op in jaren, die meteorologisch gezien bijzonder zijn ; in de berekeningen is van een gemiddeld jaar uitgegaan,
- de berekening van de bedrijfsomvang is gebaseerd op emissiemetingen waarvan de standaardafwijking groot was (ruim 50% van het gemiddelde),
- immissieberekeningen met behulp van verspreidingsmodellen zijn over het algemeen 'voorspellend' tot op een factor 2.

Dit alles betekent dat emissies van 2x het berekende gemiddelde in feite geen zeldzaamheid zijn. In figuur 8 is curve c analoog aan curve a geconstrueerd, maar nu uitgaande van een 2 maal zo hoge emissie. Deze curve blijkt dicht bij curve b uit te komen.

6. EVALUATIE EN CONCLUSIES

In de praktijk hebben zich gevallen voorgedaan waarbij planten werden beschadigd door ammoniakemissies van intensieve-veehouderij-bedrijven. Dit riep zowel bij landbouworganisaties als ook bij overheids-instanties op lokaal, regionaal en nationaal niveau, vragen op over de voorspelbaarheid van de kans op gewasbeschadiging en over de noodzaak om daarmee bij vergunningverlening rekening te houden.
Hoewel het IPO onderzoek had gedaan naar de effecten van ammoniak op planten en ook ervaring had met schadegevallen in de praktijk, bleek deze informatie op zich zelf niet voldoende om een algemene evaluatie te kunnen maken. In dit rapport zijn daarom gegevens over effecten geïntegreerd met informatie over emissie en verspreiding.

Met behulp van emissiemetingen zijn omrekeningsfactoren verkregen waardoor het mogelijk werd een bedrijfsomvang afhankelijk van diersoort, aantal dieren en mestbehandelingssysteem, uit te drukken in MEA (tabel 6).
De afstandsafhankelijkheid van gewasbeschadiging als functie van de bedrijfs-omvang is op twee manieren bepaald : door middel van evaluatie van praktijk-gevallen (figuur 8, curve b) en door een combinatie van emissiegegevens, verspreidingsberekeningen en grenswaarde voor ammoniakeffecten (figuur 8, curven a en c).
Op grond van deze gegevens werd aannemelijk gemaakt, dat het in de voor-gekomen gevallen van gewasbeschadiging gaat om een toevallige combinatie van ongunstige factoren. Daarbij spelen vermoedelijk zowel variaties in de emissie, als in de meteorologische omstandigheden en de gevoeligheid van de plant een rol.
Het lijkt daarom niet zinvol te werken met een absoluut veilige afstand. Deze zou boven curve b van figuur 8 liggen. Deze curve zal namelijk alleen in zeer uitzonderlijke gevallen dicht benaderd worden. Dichter naar de bron toe neemt de kans op beschadiging uiteraard toe. Hoe groot deze kans dicht bij de bron is, hangt af van de gevoeligheid van de plant. Op grond van praktijkervaringen lijkt het gewenst een minimum-afstand te adviseren afhankelijk van de plantesoort : 50 m voor coniferen, 25 m voor andere tuinbouwgewassen en 0 m voor akkerbouwgewassen en grasland. Ook op grond van praktijkervaringen, kan waarschijnlijk gesteld worden dat deze afstands-adviezen slechts hoeven te gelden voor kippen- en varkensstallen en niet voor andere vormen van veehouderij. Tussen deze minimum-afstanden en curve b bestaat er een reële kans op beschadiging. Op grond van de hier gepresenteerde informatie is de grootte van deze kans niet aan te geven.

7. LITERATUUR

Anonymus, (1976) : Modellen voor de berekening van de verspreiding van luchtverontreiniging. Staatsuitgeverij.

Eerden, L. J. van der (1980) : Influence of Ammonia on Plants. Proceedings United Nations ECE-Symposium Effects of Air-Borne Pollution on Vegetation, Warsaw.

Eerden, L. J. van der (1981 a) : The Phytotoxicity of Ammonia. (in voorbereiding)

Eerden, L. J. van der (1981 b) : The Phytotoxicity of emissions from intensive livestock houses. (in voorbereiding)

Ewert, E. (1978) : Vegetationsschäden in der Umgebung landwirtschaftlichter Tierproduktion. Luft- und Kältetechnik, 14, 218 - 220.

Garber, K. en B. Schürmann (1971) : Wirkung und Nachweis von Ammoniak Immissionen in der Nähe von Grossstallungen. Landw. Forsch. 26 (1), Sonderheft XX : 36 - 40.

Harssema, H. (1980) : Praktijkonderzoek naar de verspreiding van ventilati lucht rond stallen met behulp van een tracer. Vakgroep Luchthygiëne en -verontreiniging, Publikatie R-14, Landbouwhogeschool Wageningen.

Hilliger, H. G. (1977) : Wirkungen von Luftverunreinigungen aus der Tierproduktion auf Tiere und Menschen. In : Strauch, Baader, Tietjen. Abfälle aus der Tierhaltung. Verlag Ulmer Stuttgart.

Hunger, W. (1978) : Ueber Absterbe-erscheinungen an älteren Fichtenbeständen in der Nähe einer Schweinemastanlage. Beiträge für die Forstwirtschaft H4, 188 - 189.

Jansen, C. M. A. (1979) : Instrumenteel-sensorisch onderzoek aan de ventilatielucht van leghennenstallen. Rapport no. 79-028353 MT-TNO, Apeldoorn.

Janssen, L. A. M. (1977) : Modelonderzoek in een windtunnel naar de verspreiding van stank rondom stallen. Rapport CTI-TNO 77 - 07245, Apeldoorn.

K.N.M.I. (1972) : Klimatologische gegevens van Nederlandse stations, nr. 8. Frequentietabellen, De Bilt.

K.N.M.I. (1974) : Luchtverontreiniging en weer, Staatsuitgeverij.

Logtenberg, M. Th. en B. Stork (1976) : Het ontwikkelen van meetmethoden voor het bepalen van de stank van ventilatielucht van mestvarkensstallen. Rapport 76 - 06054, TNO - Apeldoorn.

Nieuwstadt, F. T. M. (1974) : Het Gaussisch Pluimmodel. KNMI - W.R. 74 - 15, De Bilt.

Rudolph, E. (1981) : Massentierhaltungsbetriebe als Verursacher von Immissionsschäden. In Proceeding JUFRO - meeting - Graz.

Tesche, M. en A. Schmidtchen (1978) : Schädigungen an Koniferen in der Umbegung von Anlagen der Industriemässingen Hühnerhaltung. Arch. Phytopath. u. Pflanzensch. 14 (5), 327 - 332.

Thaler, H. en W. Sturm (1969) : Zur Bestimmung von Ammoniak in Lebensmitteln, I Überprüfung des Verfahrens der Wasserdampf destillation, Z. Anal. Chem. 244, 379 - 388.

Tjernshaugen, O. (1975) : Gas concentrations in housing for domestic animals (Norwegian), part II and III : pigs and laying hens. Agr. Univ. Norway. Dept. Agricult. Structurels Report No. 83 and 84.

Bijlage 1[a]. Beschrijving varkensstallen, zomer 1979.

Varkensstal	A	B	C	D
Roostervloer	halfrooster	volledig rooster	volledig rooster +spoelen*)	volledig rooster
Ventilatiesysteem	traditioneel	traditio-neel	traditio-neel	putventi-latie
Aantal varkens-plaatsen	160	400	280	100

*) gespoeld werd met onvoldoende beluchte mest.

Bijlage 1[b]. Beschrijving kippenstallen

Kippenstal	A	B	C
Mestopslagsysteem	dagontmesting	mengmest	droge mest *)
Ventilatiesysteem	natuurlijk	mechanisch	mechanisch
Aantal kippen	17500	3100	3100

*) ca. 50% droge stof

Bijlage 2. Berekening van de verspreiding van stallucht met het Gaussisch Pluim Model (GPM). (Voor uitgebreidere informatie zie Harssema, 1980).

Het GPM luidt:

$$C_{x,y,z} = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]$$

waarin:

$C_{x,y,z}$ is concentratie op x m. benedenwinds van de bron, y m. vanaf de pluimas en z m. boven de grond ($\mu g\ m^{-3}$).

U is windsnelheid op 10 m. hoogte ($m.s^{-1}$).

σ_y, σ_z zijn dispersie parameters (maat voor de horizontale, resp. verticale breedte van de pluim op afstand x) (m).

H is bronhoogte (m).

Q emissie in ug/sec

Voor berekening van de verspreiding rond stallen dienen de gangbare invoerwaarden voor H en σ_y enigzins aangepast te worden (Harssema, 1980). Bij emissie vanaf de daknok dient voor H de halve gebouwhoogte gekozen te worden, voor σ_y en σ_z de waarden volgens onderstaande tabel.

De voor de verspreiding van stallucht te gebruiken waarden voor σ_y en σ_z, voor middelingstijden van 1 uur *)

$$\sigma_y = a\ x^b \quad ; \quad \sigma_z = c\ x^d + e$$

voor afstanden van 50 - 1000 m:

Stab.klasse	Afstand (m)	a	b	c	d	e
A	50-200	0,118	1,217	0,006	1,555	6.269
	200-400	0,758	0,865	0,006	1,555	6,269
	400-1000	0,758	0,865	0,0001	2,222	16,37
B	50-200	0,221	1,033	0,037	1,153	3,191
	200-1000	0,534	0,866	0,037	1,153	3,191
C	50-200	0,503	0,800	0,099	0,929	0,244
	200-1000	0,300	0,897	0,099	0,929	0,244
D	50-200	1,19	0,550	0,207	0,734	-1,366
	200-1000	0,184	0,905	0,207	0,734	-1,366
E	50-200	1,03	0,533	0,198	0,687	-1,164
	200-1000	0,141	0,902	0,198	0,687	-1,164
F	50-200	2,24	0,300	0,098	0,721	-0,323
	200-1000	0,093	0,902	0,098	0,721	-0,323

*) Voor afstanden van 50-200 m volgens Harssema (1980), voor afstanden 200-1000 m volgens KNMI-Pasquill (Nieuwstadt, 1974), gecorrigeerd voor de middelingstijd volgens

$$\frac{\sigma_y(t_1)}{\sigma_y(t_2)} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{0,2}$$