

Emissie van gewasbeschermingsmiddelen
uit boomgaarden naar de lucht

MW-R 94/040a

Auteur : Drs. J. Baas

Met medewerking van : L.F. Heidema
F.J. Kruiswijk
W.B. Bijlsma
B. Boekee
Drs. K. de Lange
H.L.M. Verhagen
Drs. R. Bosman
Prof.Dr.Ir. P.J.H. Bultjes
Drs. J.C.Th. Hollander
S.A.C.M. Walraven
M.M. Vellekoop

In samenwerking met : Proefstation voor de Fruitteelt,
Fruiteelt-Proefbedrijf "Naar
Beter Fruit",
PML-TNO

Datum : 12 april 1994

Opdrachtnr. : 51935

Opdrachtgever : Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieu-
beheer (VROM)



INHOUD

	Blz.
TITEL	1
INHOUD	2
VOORWOORD	5
LIJST VAN GEBRUIKTE BEGRIPPEN/AFKORTINGEN	6
SAMENVATTING	8
1. INLEIDING	11
1.1 Probleemstelling	11
1.2 De fruitteelt in Nederland	12
1.2.1 De boomgaard	12
1.2.2 Gebruikte spuittechnieken in boomgaarden	12
1.2.3 Verbruik van actieve stof in de fruitteelt in Nederland	14
1.2.4 Emissie van actieve stof naar de lucht	14
1.3 Doelstelling	16
2. METHODE	17
2.1 Theoretische beschrijving van de emissie	17
2.1.1 Directe emissie	17
2.1.2 Indirecte emissie	18
2.1.3 Parameters die de emissie beïnvloeden	20
2.2 Vertaling naar de praktijk	21
2.2.1 De actieve stof	21
2.2.2 De toedieningstechniek	23
2.2.3 De meteorologische omstandigheden	24
2.2.4 De boomgaard	25
2.3 Aantal meetcampagnes	26

	Blz.
2.4 Schematisch overzicht van de uitvoering van de metingen	27
2.4.1 Overzicht monsterplaatsen	27
2.4.2 Periodisering van de metingen	28
2.5 Veralgemeneren van de meetresultaten	29
2.6 Samenvattend	30
 3. RESULTATEN	 31
3.1 Omstandigheden tijdens de bespuitingen	31
3.2 Metingen actieve stof	33
 4. UITWERKING RESULTATEN EN DISCUSSIE	 35
4.1 Concentratieverloop tijdens de metingen	35
4.1.1 Concentratieverloop in druppelvorm	35
4.1.2 Concentratieverloop in dampvorm	36
4.2 Bepaling van de emissie uit de metingen	37
4.2.1 Emissie in dampvorm	37
4.2.2 Emissie in druppelvorm	38
4.2.3 Nauwkeurigheid	39
4.3 Bepaling van de emissie uit modelberekeningen	39
4.3.1 Emissie in dampvorm	40
4.3.2 Emissie in druppelvorm	42
4.3.3 Nauwkeurigheid	44
4.4 Concentratieverloop onder verschillende omstandigheden	44
4.4.1 Concentratieverloop in dampvorm	45
4.4.2 Concentratieverloop in druppelvorm	53
4.4.3 Nauwkeurigheid	54

	Blz.
4.5 Invloed van verschillende parameters op het concentratieverloop	55
4.5.1 Invloed van de actieve stof	55
4.5.2 Invloed van de toedieningstechniek	55
4.5.3 Invloed van de meteorologie	56
4.5.4 Invloed van blad aan het gewas	57
4.5.5 Invloed van de windsingels	57
4.5.6 Invloed van overige parameters	57
5. CONCLUSIES	58
6. AANBEVELINGEN	60
7. LITERATUUR	61
BIJLAGEN	
BIJLAGE 1 SITUATIESCHETS	67
BIJLAGE 2 MEETRESULTATEN EN UITVOERING CAPTAN EN FOSALONE METINGEN	69
BIJLAGE 3 METHODEVALIDATIE EN METINGEN SF ₆	78
BIJLAGE 4 BEPALINGSWIJZE VAN DE EMISSIE EN HET CONCENTRATIEVERLOOP VAN ACTIEVE STOF TIJDENS DE METINGEN	83

VOORWOORD

Voor u ligt een rapport waarin is beschreven welke concentratieniveau's van actieve stof in de lucht mogen worden verwacht bij het bespuiten van boomgaarden onder verschillende omstandigheden.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met:

- Het Proefstation voor de Fruitteelt te Wilhelminadorp
- Het Fruitteelt Proefbedrijf "Naar Beter Fruit" te Numansdorp
- Het Prins Maurits Laboratorium van TNO te Delft

Hierbij willen wij bovenstaande instellingen bedanken voor de plezierige wijze waarop is samengewerkt. Met name willen wij dhr. Heijne van het Proefstation voor de Fruitteelt, dhr. Westerlaken van het Fruitteelt Proefbedrijf en dhr. de Ruiter (PML-TNO) bedanken voor hun ideeën en inzet voor het project.

Tevens willen wij hierbij de begeleidingscommissie bedanken voor hun inbreng in het project. De begeleidingscommissie bestond uit de volgende personen:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| • Drs. J. E. Prast | VROM |
| • Dr. Ir. H.E. van de Baan | VROM |
| • Ing C. J. de Ruiter | TNO-PML |
| • Ir. B. Heijne | Proefstation voor de Fruitteelt |
| • Dr.Ir. M. Leistra | DLO Staring Centrum |
| • Ir. J. L. Ebbens / Ir H.R. Kuypers | Landbouwschap |
| • Ing. A van de Bos | Regionale Inspectie Milieu Hygiëne – Gelderland |
| • Ing. C.W.M. Didden | Provincie Gelderland |
| • Ir. P. Jellema | Plantenziektenkundige Dienst |
| • Ir. S. Koning | Nederlandse Fruittelers Organisatie |

LIJST VAN GEBRUIKTE BEGRIPPEN/AFKORTINGEN

Actieve stof	Het werkzame bestanddeel in het handelsprodukt.
Bronsterkte, Q	De hoeveelheid actieve stof (of SF ₆), die per tijdseenheid emitteert. De bronsterkte wordt uitgedrukt in g/s.
Directe emissie	De drift van de spuitwolk tot buiten de grenzen van de boomgaard.
Dosering	De hoeveelheid gewasbeschermingsmiddel die wordt toegediend.
Druppeldrift	Zie directe emissie.
Emissie	De hoeveelheid actieve stof (of SF ₆) die in totaal buiten de grenzen van de boomgaard terechtkomt. De emissie wordt uitgedrukt in g of als percentage van de dosis.
Formulering	Handelsprodukt.
Gewasbeschermingsmiddel	Zie actieve stof.
Indirecte emissie	Emissie ten gevolge van verdamping van het bestrijdingsmiddel na de toediening.
Initiële druppelgrootte	De druppelgrootte op de kortste afstand van de nozzle waarop de druppels zich hebben gevormd.
Spuitnevel	De wolk spuitvloeistof bij het verlaten van de spuitdop.
Spuitvloeistof	De vloeistof die wordt verspoten. In dit rapport is dit het handelsprodukt aangevuld met water.

Spuitwolk	De wolk spuitvloeistof die ontstaat tijdens de toediening. De spuitvloeistof “verwaait” deels in een pluim, welke de spuitwolk wordt genoemd.
Toedieningstechniek	De techniek waarmee de spuitoplossing over het gewas wordt verspreid.
u	De windsnelheid.
σ_y	De horizontale dispersieparameter, loodrecht op de windrichting.
σ_z	De verticale dispersieparameter.

SAMENVATTING

In opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer werd een onderzoek uitgevoerd naar de concentraties gewasbeschermingsmiddel in de lucht in de omgeving van boomgaarden tijdens en na toedieningen.

Het onderzoek werd uitgevoerd in samenwerking met het Proefstation voor de Fruitteelt, het Fruitteelt-proefbedrijf "Naar Beter Fruit" en het Prins Maurits Laboratorium van TNO.

Het onderzoek is zo opgezet dat door het uitvoeren van een tiental metingen onder verschillende omstandigheden een algemeen inzicht werd verkregen in de emissie en de concentraties actieve stof in de omgeving van boomgaarden tijdens en na een toediening. De metingen waren erop gericht de invloed van de volgende parameters op de emissie en concentratie van de actieve stof te bepalen:

- de actieve stof
- de toedieningstechniek
- de meteorologische omstandigheden
- de hoeveelheid blad aan de bomen
- de aanwezigheid van windsingels rond de boomgaard

De metingen zijn uitgevoerd met twee actieve stoffen (captan en fosalone). Captan is een fungicide dat in de fruitteelt erg veel wordt toegepast. Fosalone is een insecticide waarvan het gebruik op jaarbasis niet zo hoog ligt maar dat wel vrij algemeen wordt toegepast in de fruitteelt.

Deze actieve stoffen zijn verspoten met verschillende toedieningstechnieken om een idee te krijgen van de invloed van de toedieningstechniek (de druppelgrootte) op de emissie. Als toedieningstechnieken zijn nevelen, snelspuiten en tunnelspuiten in het onderzoek opgenomen. De metingen zijn uitgevoerd onder verschillende meteorologische omstandigheden.

De metingen zijn vooral gebruikt om bestaande modellen die de emissie van gewasbeschermingsmiddelen beschrijven te calibreren. Hierdoor konden de resultaten van de metingen worden gebruikt om voor willekeurige omstandigheden het concentratieverloop in de omgeving van een bespoten boomgaard te bepalen.

Tijdens de metingen is onderscheid gemaakt tussen emissie in druppelvorm en emissie in dampvorm om deze twee vormen van emissie van elkaar te kunnen scheiden en (los van elkaar) te kunnen beschrijven.

Emissie in dampvorm

Uit eerder uitgevoerde metingen bleek dat de emissie van actieve stof in dampvorm recht evenredig is met de dampdruk van de actieve stof. Dit maakt de dampdruk van de actieve stof een van de belangrijkste parameters die de emissie beïnvloeden. Uit modelberekeningen blijkt dat voor actieve stoffen met een dampdruk groter dan 10 mPa vrijwel de gehele toegediende dosis kan emitteren naar de lucht. Dit kan leiden tot concentraties actieve stof in de omgeving van de boomgaard van enkele honderden $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Voor actieve stoffen met een lage dampdruk vindt nauwelijks emissie in dampvorm plaats. Bij een dampdruk < 0.01 mPa is de berekende emissie in dampvorm kleiner dan 1% van de toegediende dosis en komen de concentraties in de omgeving van de boomgaard niet boven $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Bovenstaande gegevens zijn gebaseerd op berekeningen met een door TNO ontwikkeld emissiemodel. Uit de metingen en literatuuronderzoek blijkt dat dit model voor actieve stoffen met een bepaalde dampdruk een realistische maximum emissie voorspelt. Het is echter mogelijk dat de dampdruk van een actieve stof wordt verlaagd doordat de actieve stof een interactie aangaat met het gewas. Hierdoor wordt ook de emissie van zo'n actieve stof verlaagd.

Niet alle actieve stoffen gaan zo'n interactie aan en op basis van beschikbare gegevens is het niet mogelijk om deze interactie te modelleren. Voor het beschrijven van deze interactie is het noodzakelijk dat een beter inzicht wordt verkregen in de processen die een rol spelen bij de verdamping van actieve stoffen vanaf gewassen.

Emissie in druppelvorm

Voor actieve stoffen met een dampdruk kleiner dan 10 mPa geldt dat op korte afstanden tot de boomgaard het concentratieverloop (vrijwel volledig) wordt bepaald door emissie in druppelvorm. Op grotere afstanden (vanaf ca. 40 meter) wordt het concentratieverloop (vrijwel volledig) bepaald door emissie in dampvorm.

De mate waarin emissie in druppelvorm optreedt wordt in sterke mate bepaald door de druppelgrootteverdeling van de toedieningstechniek. In de praktijk betekent dit dat de druppeldrift bij het snelspuiten, door de grotere druppels die worden verspoten, veel lager is dan de druppeldrift bij het nevelen. De emissie in druppelvorm bedraagt voor het snelspuiten ca. 1% van de toegediende hoeveelheid actieve stof en bij het nevelen ca. 10% van de toegediende hoeveelheid actieve stof.

Emissie in druppelvorm leidt tot relatief hoge concentraties actieve stof in de lucht op korte afstand vanaf de boomgaard. Op 10 meter afstand vanaf de boomgaard kunnen bij het nevelen concentraties in de spuitwolk voorkomen die, afhankelijk van lokale variaties in windrichting en of windsnelheid kunnen variëren tussen $< 0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $4500 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Verder blijkt uit de metingen dat de overkapping van het neveltoestel een bijdrage van ca. 10% levert aan de beperking van de emissie in druppelvorm voor de omstandigheden tijdens de metingen. De aanwezigheid van windsingels leidt achter de windsingel tot een ca. 50% lagere concentratie actieve stof in de lucht. Het is echter niet uitgesloten dat direct achter de windsingel een verhoogde mate van depositie optreedt door de lage windsnelheid direct achter de windsingel.

1. INLEIDING

In opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer is een onderzoek uitgevoerd naar de concentraties gewasbeschermingsmiddel in de lucht in de omgeving van boomgaarden tijdens en na toedieningen. In dit rapport is beschreven op welke wijze het concentratieverloop is vastgesteld en hoe de gemeten concentratieniveaus zijn geëxtrapoleerd naar verschillende omstandigheden.

Er is in dit project nauw samengewerkt met:

- Het Proefstation voor de Fruitteelt
- Het Fruitteelt Proefbedrijf "Naar Beter Fruit" te Numansdorp
- Het Prins Maurits Laboratorium van TNO

1.1 Probleemstelling

Tijdens het bespuiten van een gewas treedt emissie op naar de verschillende milieucompartimenten. Een gedeelte van de verspoten hoeveelheid gewasbeschermingsmiddel komt in de bodem, het oppervlaktewater en de lucht terecht en kan daar onbedoelde effecten veroorzaken.

Vooraf over de emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar de lucht zijn nog weinig praktijkgegevens bekend, terwijl wel wordt verondersteld dat deze emissieroute voor veel actieve stoffen belangrijk kan zijn (ref. 11). Er wordt geschat dat door verdamping van actieve stof vanaf het gewas ca. 20% van de totale toegepaste hoeveelheid actieve stof emitteert naar de atmosfeer (ref. 10).

Deze schatting komt redelijk overeen met door metingen bepaalde emissies van gewasbeschermingsmiddelen uit kassen. Uit die metingen is gebleken dat afhankelijk van de combinatie van toedieningstechniek en actieve stof tussen ca. 1 en ca. 40% van de gedoseerde hoeveelheid emitteert naar de lucht buiten de kas (ref. 1).

Onderhavig onderzoek is gericht op de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht bij gebruik in de fruitteelt.

1.2 De fruitteelt in Nederland

1.2.1 De boomgaard

De meeste boomgaarden zijn opgedeeld in percelen die ca. 1 ha groot zijn. Binnen een perceel is het gewas geplant in rijen. Om de ca. 2.5 meter is een rij bomen geplant met meestal een noord-zuid oriëntatie. De ruimte tussen de rijen bomen wordt gebruikt om werkzaamheden uit te voeren.

Bij een moderne volgroeide boomgaard is de hoogte van het gewas ca. 3 meter. De levensduur van een boom in een appelboomgaard bedraagt ca. 10 jaar.

Vrijwel alle boomgaarden zijn aan tenminste drie zijden omgeven door windsingels om het gewas tegen weersinvloeden te beschermen. Naast een bescherming tegen weersinvloeden wordt verondersteld dat windsingels ook effect hebben op de mate van emissie uit boomgaarden (ref. 11). Vooral de emissie van druppels tijdens de toediening zou worden verlaagd door de aanwezigheid van windsingels.

1.2.2 Gebruikte spuittechnieken in boomgaarden

Er worden een aantal technieken toegepast voor het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen in boomgaarden. De belangrijkste technieken zijn spuiten en nevelen (ref. 4):

Het spuiten (ook wel snelspuiten genoemd) is inmiddels een enigszins verouderde techniek, die steeds minder wordt toegepast. Het snelspuiten wordt in ca. 20% van de toedieningen in Nederland gebruikt als toedieningstechniek. Bij het snelspuiten wordt de formulering gemengd met relatief veel water (meer dan 400 liter/hectare) en wordt de spuitoplossing in relatief grote druppels (200-600 μm) door de boomgaard verspreid.

Het nevelen is momenteel de meest gebruikte toedieningstechniek. De hoeveelheid water die wordt gebruikt bij een toediening ligt in de grootte orde van 200 l/ha. De druppelgrootte waarmee wordt gewerkt ligt tussen 100 en 150 μm (ref. 4).

De toedieningen worden uitgevoerd door het spuit- of neveltoestel met een trekvoertuig door de boomgaard te rijden. Dit gebeurt met een rijsnelheid van ca. 6 km/uur om een goede verdeling van de spuitvloeistof over het gewas te verkrijgen. Een bespuiting van een perceel met een oppervlakte van 1 ha neemt ongeveer een half uur in beslag.

Meestal wordt zowel bij het snelspuiten als bij het nevelen lucht met de spuitvloeistof meegeblazen om de druppels verder het gewas in te kunnen blazen. Het verschil tussen snelspuiten en nevelen zit vooral in de druppelgrootteverdeling en de hoeveelheid oplosmiddel (water) die wordt gebruikt per bespoten hectare. Voor het nevelen wordt een wat gunstiger verdeling van de spuitvloeistof over het gewas geclaimd vanwege de kleinere druppels die worden verspoten. Ondanks de kleinere hoeveelheid spuitvloeistof, die bij het nevelen wordt gebruikt is de hoeveelheid actieve stof die per hectare wordt toegepast (vrijwel) hetzelfde als bij snelspuiten. Bij het nevelen worden dus meer geconcentreerde spuitvloeistof toegediend dan bij het snelspuiten.

De laatste ontwikkelingen bij het bespuiten van boomgaarden richten zich op het beperken van de drift van druppels tijdens de toepassing. Getracht wordt driftbeperking te bereiken door de apparatuur waarmee de toedieningen worden uitgevoerd deels te overkappen. Daardoor kan de wind minder vat krijgen op de verspoten druppels. De overkapping wordt uitgevoerd als een soort tunnel, die over de boompjes wordt voortbewogen. Aan de binnenzijde van de tunnel vindt de toediening van spuitvloeistof (met luchtondersteuning) plaats. De tunnels zijn zo geconstrueerd dat ze op de gebruikelijke wijze met een trekvoertuig door de boomgaard kunnen worden gereden.

Bij het "tunnelspuiten" zijn momenteel twee technieken te onderscheiden, die beiden nog in het ontwikkelingsstadium zitten. De eerste techniek is niet principieel anders dan een standaard neveltechniek, waar een tunnel omheen is gebouwd. Bij de tweede techniek worden andere spuitdoppen gebruikt die speciaal zijn ontwikkeld voor het tunnelspuiten. Deze spuitdoppen produceren een kleinere druppel dan gebruikelijk is bij de neveltoestellen. Door de kleinere druppels wordt een betere verspreiding over het gewas nagestreefd. De overkapping moet ervoor zorgen dat de druppeldrift ondanks de kleinere druppels beperkt blijft.

Dat deze toedieningstechnieken nog niet volledig zijn uitontwikkeld uit zich bijvoorbeeld in het (bij voorkeur) niet gebruiken van deze technieken tegen oogsttijd omdat er (mechanische) beschadiging van het gewas op kan treden.

1.2.3 Verbruik van actieve stof in de fruitteelt in Nederland

In het algemeen kan worden gesteld dat in de fruitteelt schimmels het grootste probleem zijn. Ruim 50% van de totaal gebruikte hoeveelheid gewasbeschermingsmiddel in de fruitteelt bestaat uit schimmelbestrijders (fungiciden). In de appelteelt is het fungicidegebruik het hoogst met gemiddeld ca. 15 toedieningen per jaar. In de pruimenteelt is het fungicidegebruik het laagst met gemiddeld 0-4 toedieningen per jaar (ref. 10).

In tabel 1 is een overzicht gegeven van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen (uitgedrukt als actieve stof) in de fruitteelt op jaarbasis in Nederland (ref. 11).

Tabel 1 *Overzicht van het geschatte gebruik van gewasbeschermingsmiddelen in de fruitteelt in Nederland in 1987.*

Gebruik	Verbruik (kg/ha/jr)	Verbruik (1000 kg/jr)	Verbruik (%)
grondontsmetting, bodembehandeling	4	95	14
herbiciden	2.8	65	10
fungiciden, insecticiden, acariciden en groeiregulatoren	22.2	496	76
totaal (afgerond)	29	656	100

1.2.4 Emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar de lucht

Emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar de lucht bij het bespuiten van boomgaarden kan optreden door drift van druppels tijdens de bespuiting (directe emissie) of door verdamping van actieve stof vanaf het gewas, de bodem etc. ook na de toediening (indirecte emissie).

Directe emissie wordt vooral beïnvloed door (ref. 2, 10, 12):

- de windsnelheid
- de druppelgrootteverdeling van de toedieningstechniek
- de invloed van windsingels rond de boomgaard
- de hoeveelheid blad aan het gewas
- de relatieve luchtvochtigheid

Andere parameters die een (naar verwachting gering) effect kunnen hebben op de mate waarin directe emissie optreedt zijn:

de temperatuur en de formulering (welke de druppelgrootte kan beïnvloeden).

Directe emissie kan leiden tot kortdurende hoge concentraties actieve stof in de zeer nabije omgeving (tot enkele tientallen meters) van een bespoten boomgaard. Door depositie van druppels vindt een snelle afname van de concentratie actieve stof in de lucht plaats met toenemende afstand tot het spuitapparaat.

Indirecte emissie wordt vooral beïnvloed door:

- de windsnelheid en de stabiliteit van de atmosfeer
- de aard van het bladoppervlak
- de aard (dampdruk) van de actieve stof
- de toedieningstechniek

Andere parameters die een (naar verwachting gering) effect hebben op de mate waarin indirecte emissie optreedt zijn: de temperatuur (beïnvloedt de dampdruk van de actieve stof) en de hoeveelheid blad aan het gewas.

Indirecte emissie leidt (naar verwachting) tot lagere concentraties actieve stof in de omgeving van de boomgaard dan directe emissie. Deze concentraties kunnen echter wel gedurende langere tijd optreden.

Op basis van een literatuurstudie en rekenmodellen (ref. 2, 3, 7, 12) is een schatting gemaakt van te verwachten concentraties actieve stof in de omgeving van boomgaarden na een toediening.

De gerapporteerde concentraties actieve stof lopen uiteen van $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aan de rand van de boomgaard tot enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$ op ca. 100 meter afstand van de rand van de boomgaard. De rekenmodellen zijn echter niet (of nauwelijks) door praktijkmetingen gevalideerd, zodat de onzekerheid in de berekende concentraties groot is.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is:

Het op basis van metingen en berekeningen weergeven van het verloop van de concentratie actieve stof in de lucht met de afstand tot de boomgaard tijdens en direct na het toedienen van actieve stof onder verschillende omstandigheden.

De resultaten moeten de mogelijkheid bieden om in combinatie met toxicologische gegevens aan te geven in welke situaties er overschrijding van (nog te formuleren) normen met betrekking tot de luchtkwaliteit plaatsvindt.

2. METHODE

De belangrijkste doelstelling van het onderzoek is om het concentratieverloop van gewasbeschermingsmiddel en in de omgeving van boomgaarden tijdens en na toedieningen te beschrijven.

Omdat metingen het verloop van de concentratie onder de dan heersende omstandigheden geven zijn modelberekeningen noodzakelijk om de metingen te veralgemeniseren. Daarom zijn metingen en modelberekeningen gecombineerd bij het vaststellen en kunnen beschrijven van het concentratieverloop in de omgeving van een boomgaard.

De gebruikte meetmethodiek komt erop neer dat benedenwinds van een boomgaard tijdens een toediening het concentratieverloop wordt gemeten. Met behulp van verspreidingsmodellen wordt uit de gemeten concentraties de bronsterkte berekend.

De bronsterkte die volgt uit de metingen wordt vervolgens vergeleken met de uitkomsten van een eerder ontwikkeld model (ref. 2) voor de berekening van de bronsterkte van gewasbeschermingsmiddelen uit boomgaarden. Dit model wordt getuned op de meetgegevens en vervolgens gebruikt om de bronsterkte onder de meetomstandigheden te extrapoleren naar omstandigheden waaronder niet is gemeten.

In dit hoofdstuk wordt eerst in paragraaf 2.1 een theoretische beschrijving van de emissie gegeven. In paragraaf 2.2 is deze theoretische beschrijving vertaald naar de praktijk. Vervolgens wordt in paragraaf 2.3 ingegaan op de opzet van het onderzoek. Daarna wordt in paragraaf 2.4 beschreven hoe het onderzoek is uitgevoerd in de praktijk en in paragraaf 2.5 hoe de resultaten worden veralgemeniseerd naar omstandigheden waaronder niet is gemeten.

2.1 Theoretische beschrijving van de emissie

2.1.1 Directe emissie

Om de directe emissie te kunnen beschrijven zijn vooral de toedieningstechniek (druppelgrootteverdeling, snelheid waarmee de druppels de spuitdop verlaten en de mate van lucht-ondersteuning) en de windsnelheid tijdens de toediening van belang (ref. 2).

Een verspoten druppel kan worden beschouwd als een bolletje gewasbeschermingsmiddel met daaromheen een mantel water. De watermantel verdampt waarna alleen het bolletje gewasbeschermingsmiddel overblijft. Ter illustratie: de levensduur van een druppel water van 100 μm is (bij normale luchtvochtigheid) korter dan 10 seconden.

Het bolletje gewasbeschermingsmiddel zal (langzaam) verder verdampen en tijdens de verdamping worden verspreid in de omgeving. Naast de initiële grootte is de afstand die een verspoten druppel kan afleggen afhankelijk van de snelheid waarmee het druppeltje wordt weggespoten en externe omstandigheden als de windsnelheid en de relatieve vochtigheid (de relatieve vochtigheid heeft invloed op de verdampingssnelheid van de watermantel).

De verspreiding van verspoten druppels kan worden beschreven met een Gaussisch pluimmodel (zie ook bijlage 4) waarbij de pluimas daalt ten gevolge het deponeren van de druppeltjes. Dit in tegenstelling tot de beschrijving van de verspreiding van een gas waarbij de pluimas een constante hoogte heeft.

De mate waarin de pluimas daalt is afhankelijk van de grootte van de druppels en het verloop van de druppelgrootte in de tijd. De grootte van de druppels is voor de gebruikte spuitapparatuur gemeten (ref. 28). Voor de beschrijving van het verloop van de druppelgrootte in de tijd is een model beschikbaar (ref. 1, 2). Verder is de rekenwijze gelijk aan de rekenwijze die gebruikelijk is bij de berekening van de verspreiding van gassen.

2.1.2 Indirecte emissie

Het emissiemodel van Huygen *et. al.* (ref. 2) is gemaakt om de verdampfingsflux te berekenen direct na de behandeling van het gewas met een gewasbeschermingsmiddel. Bij dit model wordt ervan uitgegaan dat een verspoten oplossing of dispersie bestaat uit fijne druppels die na korte tijd worden afgezet op het gewas en de bodem. Het gedeelte dat op de bodem terecht komt wordt door de bodem opgenomen en is niet meer voor verdamping beschikbaar.

Nadat het oplosmiddel is verdampt bevindt de actieve stof zich op het gewas in de vorm van een aantal min of meer ronde vlekken. De diameter van de vlekken is vooral afhankelijk van de druppelgrootteverdeling van de toedieningstechniek en de structuur van het blad. De verdamping (emissie) van het gewasbeschermingsmiddel wordt gegeven door het produkt van het totale verdampingsoppervlak (totale vlekkenoppervlak) en de verdampingsdichtheid (de massastroom per eenheid verdampingsoppervlak). Hierbij wordt aangenomen dat hechting van de actieve stof aan het blad geen rol speelt.

De initiële verdampingsdichtheid per eenheid van bladoppervlak wordt berekend volgens vergelijking 1:

$$-\frac{dm}{dt} = \frac{3m_0 F}{2R_0 C_0} \quad (1)$$

Hierin staat:

- m_0 voor het produkt van de dosering van actieve stof en de fractie op het gewas (in kmol.m^{-2})
- F voor de verdampingsdichtheid (zie vgl. 2) (in $\text{kmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
- R_0 voor de druppelstraal na afzetting op het gewas (in m)
- c_0 voor de concentratie actieve stof in de spuitoplossing (in kmol.m^{-3})

De dosering en de waarde van c_0 volgen uit de voorschriften voor de toediening. De fractie op het gewas is afhankelijk van de toediening en bedraagt ca. 45% (ref. 35). Voor de waarde van R_0 wordt aangenomen dat deze gelijk is aan 0.63 maal de druppeldiameter tijdens de toediening (ref. 2). Bij de berekening van de verdampingsdichtheid (F) is het volgende aangenomen: het transport van verdampt gewasbeschermingsmiddel vindt plaats door diffusie van het middel door een dunne luchtlaag boven de vlek waarin de stroming laminair is. Het gewasbeschermingsmiddel moet door deze luchtlaag heen diffunderen naar een turbulente atmosfeer waarin het middel snel wordt opgenomen en afgevoerd. De dikte van de laminaire laag is afhankelijk van de windsnelheid en de bladstructuur en moet experimenteel worden vastgesteld.

De verdampingsdichtheid (F) wordt berekend met behulp van vergelijking 2:

$$F = \frac{DP_v}{RTl} \quad (2)$$

Hierin staat:

- D voor de moleculaire diffusiecoëfficiënt (in $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)
- P_v voor de dampdruk van de actieve stof (in Pa)
- R voor de gasconstante ($8310 \text{ J.kmol}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- T voor de temperatuur (in K)
- l voor de dikte van de laminaire laag (in m)

De diffusiecoëfficiënt (D) uit vergelijking 2 tenslotte is afhankelijk van de temperatuur en de molmassa van de actieve stof en wordt berekend met behulp van vergelijking 3:

$$D = 8.8 * 10^{-9} * \left(\frac{RT}{M} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

Hierin staat:

R voor de gasconstante ($8310 \text{ J.kmol}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

T voor de temperatuur (in K)

M voor de molmassa van de act. stof (in kg.kmol^{-1})

Indien deze drie vergelijkingen worden gecombineerd ($T = 293 \text{ K}$) ontstaat vergelijking 4 waarmee direct de bronsterkte (Q) kan worden berekend (uitgedrukt in mg/s per hectare boomgaard).

$$Q = 0.98 * \left(\frac{m_o P_v M^{\frac{1}{3}}}{R_o C_o l} \right) \quad (4)$$

De betrouwbaarheid van deze vergelijking is moeilijk te schatten. Het basisidee van het model, verdamping van actieve stof door een laminaire laag waarna verspreiding optreedt wordt in de literatuur wel vaker beschreven (bijvoorbeeld ref. 25) maar is moeilijk kwantitatief te maken. Hiervoor zijn metingen van verschillende aard noodzakelijk.

Als eerste aanzet is het model echter wel bruikbaar, bovendien is het model bruikbaar om de invloed van verschillende parameters op de bronsterkte te kunnen schatten.

2.1.3 Parameters die de emissie beïnvloeden

De parameters met het grootste effect op de emissie zijn:

- de actieve stof (dosering, dampdruk, molmassa en concentratie in de spuitvloeistof)
- de druppelgrootteverdeling van de toedieningstechniek
- de hoeveelheid en de aard van het blad aan het gewas

Voor de verspreiding van de actieve stof in de omgeving van de boomgaard is daarnaast nog de stabiliteit van de atmosfeer van belang en de aanwezigheid van windsingels.



Naast deze parameters zijn er nog andere parameters die de emissie uit een boomgaard beïnvloeden zoals bijvoorbeeld de temperatuur en de formulering. Onder de omstandigheden waaronder normaal gesproken toedieningen worden uitgevoerd variëren deze parameters niet sterk¹⁾ zodat het effect op het concentratieverloop beperkt is.

2.2 Vertaling naar de praktijk

Er zijn een aantal meetcampagnes uitgevoerd waarin de belangrijkste parameters die het concentratieverloop van actieve stof beïnvloeden zijn gevarieerd. Daarmee bestond de mogelijkheid om de emissiemodellen te calibreren en zo de meetgegevens te extrapoleren naar omstandigheden waaronder niet is gemeten.

Er zijn tien metingen uitgevoerd waarbij de in paragraaf 2.1.3 genoemde parameters zijn gevarieerd.

In het resterende deel van deze paragraaf wordt ingegaan op de keuzen die zijn gemaakt bij de opzet van het onderzoek.

2.2.1 De actieve stof

Naast de dosering van actieve stof is de dampdruk van de actieve stof de belangrijkste parameter die de concentratie in de omgeving van de boomgaard beïnvloedt. Naast de dampdruk is ook de affiniteit van de actieve stof met het gewas van belang. Bij een hoge affiniteit met het gewas kan de actieve stof moeilijker in dampvorm overgaan. Hierdoor lijkt het alsof de dampdruk van de actieve stof lager is dan zonder interactie met het gewas (ref. 23 t/m 26). Het is op voorhand zeer moeilijk te schatten in welke mate de actieve stof affiniteit heeft met het gewas, dit zal door metingen duidelijk moeten worden.

De aard van de actieve stof kan ook een (klein) effect hebben op de directe emissie omdat de actieve stof de fysische eigenschappen van de spuitvloeistof kan beïnvloeden en daarmee de druppelgrootteverdeling van de toedieningstechniek (ref. 28). Op grond van eerdere metingen (ref. 1) wordt echter verwacht, dat dit effect pas een rol gaat spelen indien er relatief weinig water wordt verspoten (minder dan 50 l/ha) hetgeen bij het bespuiten van boomgaarden niet het geval is.

¹⁾ De temperatuur wordt uitgedrukt in K. Dit wil zeggen dat de temperatuur tijdens toedieningen niet varieert tussen ca. 5 en 25°C maar tussen ca. 280 en 300 K, zodat het effect van temperatuursveranderingen beperkt is.

De gekozen verbindingen zijn :

Captan : Een fungicide, dat in boomgaarden veel wordt toegepast en waaraan in Nederland in het verleden al meer onderzoek is gedaan.

Captan heeft een dampdruk van 1.3 mPa (25°C) (ref. 5,6,7).

Fosalone : Een insecticide, dat in boomgaarden algemeen wordt gebruikt maar gemiddeld niet vaker dan eenmaal per jaar. Het gebruik in de fruitteelt is toegestaan tot 15 juni.

Fosalone heeft een dampdruk van 65 µPa (25°C) (ref. 5).

Captan is in de fruitteelt een van de meest gebruikte actieve stoffen (ref. 20). Het geschatte gebruik in de fruitteelt in Nederland bedraagt 52 ton per jaar (ref. 16). Dit is meer dan 10% van de totale hoeveelheid actieve stof die wordt gebruikt in de fruitteelt en bijna 25% van het fungiciden gebruik in de fruitteelt.

De geschatte emissie van captan bedraagt 49% van de toegepaste dosis zodat de totale emissie in Nederland op 26 ton komt (ref. 7). Verbruikscijfers voor fosalone zijn niet bekend en er zijn voor fosalone ook geen emissieschattingen uitgevoerd.

De dampdruk was het voornaamste criterium bij de keuze van de actieve stoffen. Het verschil in dampdruk tussen captan en fosalone is groot genoeg (factor 20) om de invloed van de dampdruk op de emissie te kunnen zien en de resultaten van de metingen te extrapoleren naar de emissie van actieve stoffen met een hogere of lagere dampdruk.

Na de dampdruk was de moeilijkheid van de concentratiebepaling bepalend voor de keuze. Er is van uitgegaan, dat de concentratiebepaling van de gekozen actieve stoffen relatief eenvoudig moet zijn en dat de stoffen stabiel moeten zijn voor, tijdens en na de monsterneming tot en met de analyse.

Om daarnaast zoveel mogelijk bij de praktijk van het spuiten in boomgaarden aan te sluiten en een handvat te geven bij het onderbouwen van eventuele maatregelen met betrekking tot het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen hebben de volgende criteria (in willekeurige volgorde) een rol gespeeld bij de keuze van de actieve stoffen.

- Hoeveelheid actieve stof, die op jaarbasis wordt gebruikt.
- Toxicologische eigenschappen voor de mens en milieu.
- Aantoonbaarheid in het milieu.
- Aansluiting bij eerder uitgevoerd onderzoek.

2.2.2 De toedieningstechniek

Zoals al in paragraaf 1.2.2 is vermeld zijn er verschillende toedieningstechnieken in gebruik bij het bespuiten van boomgaarden met een verschillend druppelgroottespectrum.

Het nevelen is in de praktijk de meest gebruikte techniek, zodat op deze techniek de nadruk is gelegd bij dit onderzoek. Daarnaast is de snelspuit in het onderzoek betrokken omdat deze een ander druppelgroottespectrum heeft, waardoor de invloed van de druppelgrootte op de emissie kan worden vastgesteld.¹⁾

Naast deze twee conventionele technieken is de tunnelspuit in het onderzoek opgenomen. Deze techniek moet leiden tot een lager gebruik van actieve stof en een lagere emissie door de overkapping. Het effect van een overkapping over de spuit is moeilijk in te schatten maar naar verwachting is de directe emissie bij dit soort spuittechnieken aanzienlijk kleiner dan bij spuittechnieken zonder overkapping omdat de wind minder vat kan krijgen op de verspoten druppels.

Voor de vergelijkbaarheid van de resultaten verkregen met de tunnelspuit met die van de andere spuittechnieken is gekozen voor de tunnelspuit op basis van de neveltechniek. Het druppelgroottespectrum van deze spuittechniek is in principe gelijk aan die van de neveltechniek, zodat het effect van de tunnel zo goed mogelijk kan worden vastgesteld.

¹⁾ Bij beide technieken is gekozen voor een apparatuur van het dwarsstroom-type.



Foto 1 Tunnelspuit.

2.2.3 De meteorologische omstandigheden

Met de meteorologische omstandigheden wordt vooral de stabiliteit van de atmosfeer bedoeld. De stabiliteit van de atmosfeer wordt bepaald door de windsnelheid, het tijdstip van de dag, het jaargetijde en de bewolkingsgraad (volgens ref. 15, 18).

De stabiliteit van de atmosfeer is een maat voor de turbulentiegraad van de atmosfeer en wordt meestal uitgedrukt in 6 klassen (A t/m F) volgens Pasquill (ref. 8). Bij een hoge turbulentiegraad (klasse A of B volgens Pasquill) komen door een grotere menging van de emissie lagere concentraties in de omgeving van een bron (de boomgaard) voor dan indien de turbulentiegraad laag is en de menging gering is. Getalsmatig wordt dit uitgedrukt in de waarde van de dispersieparameters (σ_y en σ_z). Indien de turbulentiegraad hoog is hebben de dispersieparameters relatief grote waarden.

De invloed van de windsnelheid op concentraties gewasbeschermingsmiddel nabij een boomgaard is gecompliceerder omdat hierbij meerdere processen een rol spelen met een tegengesteld effect:

- 1) Bij toenemende windsnelheid ontstaat een toenemende verdunning van de emissie, waardoor de concentratie benedenwinds van de boomgaard afneemt.
- 2) De dispersieparameters worden kleiner bij toenemende windsnelheid, zodat de concentratie benedenwinds van de boomgaard toeneemt.
- 3) Bij toenemende windsnelheid wordt de mate waarin actieve stof van het gewas kan verdampen of druppeldrift op kan treden groter. Hierdoor neemt de bronsterkte toe zodat de concentratie benedenwinds van de boomgaard toeneemt.

Het netto resultaat hiervan is naar verwachting dat de concentratie toeneemt bij toenemende windsnelheid onder omstandigheden waaronder normaal gesproken nog toedieningen worden uitgevoerd. De parameters met de grootste invloed op het concentratieverloop zijn de windsnelheid en de dispersieparameters. De stabiliteitsklassen B, C en D komen voor tijdens bespuitingen van boomgaarden. Tijdens de overige condities worden in de praktijk (vrijwel) geen bespuitingen uitgevoerd.

Er is gekozen voor het uitvoeren van de metingen onder omstandigheden waaronder relatief lage concentraties worden verwacht (stabiliteitsklasse B) en onder omstandigheden, waaronder relatief hoge concentraties worden verwacht (stabiliteitsklasse D). De stabiliteitsklasse wordt bepaald aan de hand van de stratificatieschema's behorende bij het Nationaal model (ref. 15, 18).

2.2.4 De boomgaard

Bij de keuze van de boomgaard hebben de volgende overwegingen (in willekeurige volgorde) een rol gespeeld:

- beschikbaarheid
- mogelijkheid tot het plaatsen van de meetapparatuur benedenwinds van het terrein
- afmetingen
- mogelijkheid tot uitvoeren bespuitingen op dagen, geschikt om te meten
- mogelijkheid om metingen uit te voeren met en zonder de aanwezigheid van windsingels benedenwinds van de boomgaard
- zoveel mogelijk vrij liggend van obstakels, die de aanstroming van de wind verstoren

In overleg met het Proefstation voor de Fruitteelt is gekozen voor een (commerciële) boomgaard nabij Numansdorp, die aan (vrijwel) alle bovengenoemde overwegingen voldoet.

Naast de mogelijkheid om het effect van windsingels te meten is ook gekeken naar het effect van de hoeveelheid blad aan het gewas door een meting uit te voeren aan een boomgaard zonder blad aan het gewas. De hoeveelheid blad aan het gewas kan een effect hebben op de indirecte emissie indien de affiniteit van het blad met de actieve stof groot is. Daardoor wordt de emissie naar de lucht beperkt (zie onder 2.2.1 De actieve stof).

Daarnaast zou de directe emissie groter kunnen zijn als er geen blad aanwezig is in de boomgaard omdat de druppels niet door blad worden afgevangen.

2.3 Aantal meetcampagnes

Om het effect van de genoemde parameters op het concentratieverloop te meten is ervoor gekozen om 10 meetcampagnes uit te voeren volgens het in tabel 2 gegeven schema.

Tabel 2 Overzicht van de planning van de metingen.

Actieve stof	Toedienings-techniek	Windsingel	Stabiliteits-klasse	Blad
captan	nevelen	zonder	B	ja
captan	nevelen	zonder	B	nee
captan	nevelen*	zonder	B	ja
captan	nevelen	met	B	ja
captan	nevelen	zonder	D	ja
captan	snelspuiten	zonder	B	ja
fosalone	nevelen	zonder	B	ja
fosalone	snelspuiten	zonder	B	ja
fosalone	nevelen	met	B	ja
fosalone	nevelen	zonder	D	ja

* Als 2 echter met toepassing van een tunnel ter beperking van de druppeldrift

De uitgangssituatie is de eerste bespuiting. Door bij de verschillende metingen telkens een van de invloedsparameters te veranderen kan het effect van die parameter op de emissie worden onderzocht.

Veel van de metingen zijn gepland in situaties, waarin de windsingel geen rol speelt. Deze keuze is gemaakt omdat de windsingels het effect van de verschillende invloedsparameters kunnen “dempen” waardoor een vertekend beeld kan ontstaan van de mate, waarin de emissie door genoemde parameters wordt beïnvloed.

Door twee metingen uit te voeren bij boomgaarden, die benedenwinds zijn begrensd door een windsingel wordt toch het effect van de windsingel op de emissie in beeld gebracht. De algemene interpreteerbaarheid van de resultaten wordt door deze keuze groter.

2.4 Schematisch overzicht van de uitvoering van de metingen

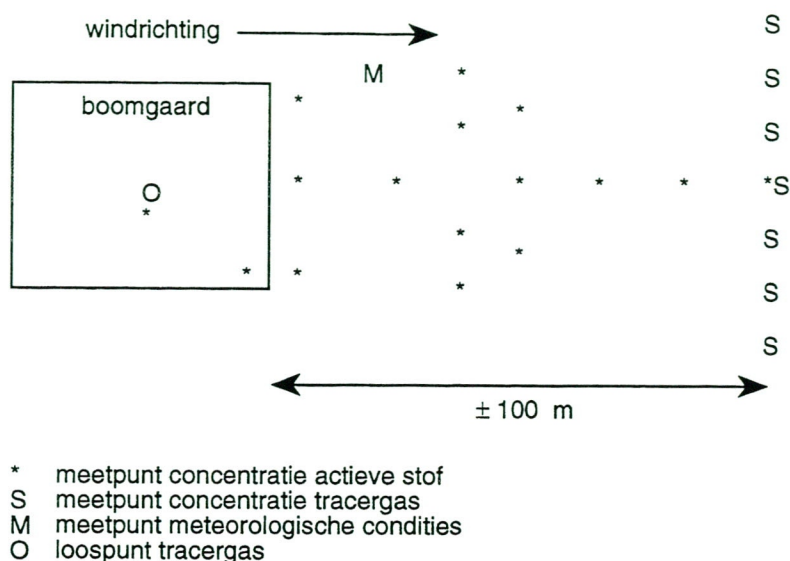
2.4.1 Overzicht monsterplaatsen

Er zijn op verschillende afstanden tot de rand van de boomgaard concentratiemetingen uitgevoerd. De metingen vonden plaats tussen 10 en 100 meter vanaf de rand van de boomgaard.

Op de kortste meetafstanden is onderscheid gemaakt tussen de concentratie in druppelvorm en de concentratie in gasvorm. Op grotere afstanden tot de boomgaard (vanaf 40 meter) is alleen de totale concentratie actieve stof in de lucht bemeaten omdat op deze afstand de concentratie in druppelvorm te verwaarlozen is.

Op 100 meter afstand vanaf de boomgaard is een serie tracergasmetingen uitgevoerd. In het midden van de boomgaard is een tracergas geloosd met als doel de gewasbeschermingsmiddelmetingen te “ijken”. Omdat de bronsterkte van het tracergas bekend is en de concentratie van het tracergas en het gewasbeschermingsmiddel wordt gemeten is de bronsterkte voor het gewasbeschermingsmiddel te berekenen (hierbij moet rekening worden gehouden met het gegeven dat het tracergas wordt verspreid na lozing uit een puntbron en het gewasbeschermingsmiddel niet uit een puntbron wordt geloosd). In bijlage 4 is in detail beschreven hoe de bronsterkte is berekend.

Schematisch is de opzet van de metingen weergegeven in figuur 1.



Figuur 1 Schematisch overzicht van de meetopzet.

Na de zesde meting zijn de concentratiemetingen uitgebreid met het nemen van monsters in de spuitwolk. Dit is gedaan door gedurende het spuiten van de rand van de boomgaard in de spuitwolk mee te lopen en monsters te nemen (hierbij is geen onderscheid gemaakt tussen druppel- en dampvorm). Deze monsters zijn genomen op 10, 25 en 40 meter afstand tot de rand van de boomgaard.

Naast de metingen van de concentraties actieve stof en tracergas zijn ter plaatse de windsnelheid, windrichting, temperatuur, relatieve vochtigheid en de bewolgingsgraad bepaald.

Voordat de metingen zijn uitgevoerd zijn eerst in het laboratorium, de monsternemings- en analysemethode gevalideerd. Dit geldt zowel voor de gewasbeschermingsmiddelen (ref. 27) als voor het tracergas (SF_6) (zie bijlage 3).

2.4.2 Periodisering van de metingen

Bij het uitvoeren van de metingen is de volgende periodisering aangehouden:

- Periode 1: toediening
- Periode 2: eerste uur na de toediening
- Periode 3: tweede uur na de toediening
- Periode 4: derde uur na de toediening
- Periode 5: vierde uur na de toediening

De toediening duurt ongeveer een half uur, gedurende deze periode is bij de metingen op afstanden tot 25 meter vanaf de rand van de boomgaard onderscheid gemaakt tussen de concentratie actieve stof in druppel- en in dampvorm. Tijdens de volgende perioden is geen onderscheid meer gemaakt tussen de concentratie in druppel- en in dampvorm omdat de emissie in druppelvorm stopt als de toediening stopt.

Na de toediening worden alle metingen op uurgemiddelde basis uitgevoerd. Dit is gedaan omdat normen veelal ook zijn gebaseerd op uurgemiddelde concentraties, zodat de resultaten van de metingen dan op directe wijze kunnen worden vergeleken met normwaarden.

In periode 1 en 2 zijn naast de concentratiemetingen ook tracergas metingen uitgevoerd. Na periode 2 zijn de tracergasmetingen gestaakt. De metingen van actieve stof zijn in het veld na periode 3 gestaakt. Tijdens deze periode kwamen de concentraties actieve stof in de buurt van de detectielimiet te liggen.

De concentratiemetingen binnen de boomgaard zijn wel gedurende langere tijd voortgezet. Door combinatie van de metingen binnen de boomgaard, de meteorologische metingen en de metingen uit de perioden 1 en 2 kan in de daaropvolgende uren de concentratie actieve stof in de omgeving van de boomgaard worden berekend.

2.5 Veralgemeeniseren van de meetresultaten

De metingen waren erop gericht om de belangrijkste parameters die de concentratie actieve stof in de omgeving van een boomgaard beïnvloeden te karakteriseren en te kwantificeren (zie paragraaf 2.2) zodat de meetresultaten kunnen worden gebruikt om het concentratieverloop onder willekeurige omstandigheden vast te stellen.

Voor de emissie in druppelvorm geldt dat de meest gebruikte toedieningstechnieken in het onderzoek zijn opgenomen en representatief zijn voor de gebruikte toedieningstechnieken in Nederland.

Voor de emissie in dampvorm zal het in paragraaf 2.1.2 beschreven emissiemodel dienen als uitgangspunt bij de extrapolatie naar omstandigheden waaronder niet is gemeten. Extrapolatie zal plaatsvinden naar andere actieve stoffen en naar meteorologische omstandigheden waaronder niet is gemeten.

2.6 Samenvattend

Door het uitvoeren van een beperkt aantal meetcampagnes onder verschillende omstandigheden kan een compleet beeld worden verkregen van de emissie en de concentraties actieve stof in de omgeving van boomgaarden tijdens en na de toediening.

Bij het onderzoek is de invloed van de volgende parameters op de emissie en concentratie actieve stof onderzocht:

- de actieve stof
- de toedieningstechniek
- de meteorologische omstandigheden
- de hoeveelheid blad aan de boomgaard
- de aanwezigheid van windsingels rond de boomgaard

De metingen waren erop gericht het concentratieverloop op afstanden tot 100 meter vanaf de boomgaard te meten. Op grotere afstanden wordt het concentratieverloop berekend met het Gaussisch pluimmodel op basis van tracergasmetingen.

Op afstanden tot 25 meter is onderscheid gemaakt tussen de concentratie actieve stof in druppelvorm en de concentratie actieve stof in gasvorm. Dit is nodig om de emissie in druppelvorm apart te kunnen beschrijven van de emissie in gasvorm. Voor de beschrijving van de emissie in druppelvorm zijn naast de concentratiemetingen ook metingen uitgevoerd van de druppelgrootteverdelingen van de toedieningstechniek en van de concentratie actieve stof in de spuitnevel (ref. 28).

3. RESULTATEN

In dit hoofdstuk is een overzicht opgenomen van de belangrijkste meetgegevens. Een uitgebreider overzicht van de meetgegevens is opgenomen in de bijlagen 2 en 3.

3.1 Omstandigheden tijdens de bespuitingen

Tijdens de metingen zijn de gebruikelijke procedures die gelden voor het spuiten in commercieel geëxploiteerde boomgaarden gevolgd om het onderzoek zo goed mogelijk bij de praktijksituatie aan te laten sluiten. Op de foto's 2 en 3 wordt een beeld gegeven van hoe de bespuitingen zijn uitgevoerd.

Alle toedieningen zijn uitgevoerd door personeel van het Fruitteelt proefbedrijf "Naar beter fruit" te Numansdorp. Zij hebben ook de spuitapparatuur beschikbaar gesteld en de spuitoplossingen aangemaakt. Details van de gebruikte spuitapparatuur zijn opgenomen in bijlage 2.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de omstandigheden tijdens de metingen.

Tabel 3 Omstandigheden tijdens de metingen.

nr.*	datum	temperatuur (°C)	RH (%)	windsnelheid (m/s)	stab. klasse	actieve stof	verspoten hoeveelheid (g)	toedienings techniek	blad	windsingels
1	19/03/93	16	40	4 - 5	B	captan	1025	nevelen	neen	neen
2	27/05/93	14	100	3 - 4	D	fosalone	654	nevelen	ja	neen
3	28/05/93	17	70	5 - 6	C/D	fosalone	671	snelspuiten	ja	neen
4	29/05/93	23	65	2 - 3	B	fosalone	391	nevelen	ja	neen
5	01/06/93	21	62	5 - 6	C/D	fosalone	483	nevelen	ja	ja
6	17/06/93	22	65	2 - 5	D	captan	840	nevelen	ja	neen
7	09/11/93	12	67	2 - 3	B	captan	1168	nevelen	ja	ja
8	11/11/93	8	90	3 - 4	B/C	captan	601	nevelen	ja	neen
9	11/11/93	11	69	4 - 5	C/D	captan	793	tunnel	ja	neen
10	12/11/93	5	90	2 - 3	B	captan	800	snelspuiten	ja	neen

* deze nummering wordt in de rest van het rapport ook aangehouden.



Foto 2 Foto 2 is genomen tijdens de meting zonder blad aan het gewas en geeft een indruk van de terreinomstandigheden en de windsingels.



Foto 3 Nevelen.

3.2 Metingen actieve stof

In onderstaande tabellen is voor de verschillende meetcampagnes tijdens (tabel 4 en 5) en gedurende het eerste uur na de toediening (tabel 6) de maximale concentratie actieve stof (ofwel de concentratie in de pluimas) op verschillende afstanden tot de boomgaard weergegeven.

In tabel 4 is de gemiddelde concentratie actieve stof in de pluimas tijdens de toediening weergegeven (ca. 35 minuten). In tabel 5 zijn de concentraties in de spuitwolk weergegeven (gebaseerd op de meeloopmonsters). Deze concentraties treden op tijdens de bespuiting van de buitenste rij bomen in de boomgaard (deze concentratie kan gedurende ca. 10 seconden voorkomen op een vast meetpunt).

De concentraties gemiddeld tijdens de toediening zijn lager omdat het spuittoestel zich door de boomgaard verplaatst, waardoor de meetpunten maar gedurende korte tijd direct worden blootgesteld aan de spuitwolk, maar het grootste gedeelte van de tijd niet in de spuitwolk staan.

De concentratie in de pluimas is berekend door de metingen van de windrichting te combineren met de gemeten concentraties. Daar waar de pluimas niet exact over de meetpunten ligt is de concentratie bepaald door lineaire interpolatie tussen de twee dichtstbij gelegen concentraties of door berekening met het Gaussisch pluimmodel.

Tabel 4 Concentratie in de pluimas op verschillende afstanden tot de boomgaard gemiddeld tijdens de toediening.

Meetcampagne nummer	Concentratie in de pluimas op verschillende afstanden tot de boomgaard ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	10 m	25 m	40 m	60 m	80 m	100 m
1 (captan)	10	6	4	1.8	*	1.1
2 (fosalone)	2.9	2.4	1.7	1.3	0.6	0.4
3 (fosalone)	1.4	0.9	0.7	0.6	0.2	0.1
4 (fosalone)	3.3	2.1	1.2	0.8	0.6	0.4
5 (fosalone)	3.1	2.6	1.6	1.0	0.8	0.6
6 (captan)	3.2	2.6	1.6	0.5	0.7	0.7
7 (captan)	7.1	6.4	5.6	3.4	2.4	1.3
8 (captan)	20	3.5	3.0	2.7	1.7	1.3
9 (captan)	5.6	3.3	1.0	0.8	0.5	0.2
10 (captan)	1.8	0.3	0.1	0.08	0.1	0.1

* niet gemeten

Tabel 5 *Gemeten concentratieverloop voor captan in druppelvorm in de spuitwolk op verschillende afstanden tot de boomgaard.*

Toedieningstechniek	Concentratie actieve stof in de spuitwolk op verschillende afstanden tot de boomgaard ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	10 m	25 m	40 m
snelspuiten	8	2	2
nevelen	110	12	28
nevelen*	64	29	12
tunnelspuit	82	5	21

* Met aanwezigheid van een windsingel

Tabel 6 *Concentratie in de pluimas op verschillende afstanden tot de boomgaard gemiddeld over het eerste uur na de toediening.*

Meetcampagne nummer	Concentratie in de pluimas op verschillende afstanden tot de boomgaard ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	10 m	25 m	40 m	60 m	80 m	100 m
1 (captan)	0.9	1.3	0.5	0.7	*	0.91
2 (fosalone)	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.03
3 (fosalone)	0.5	0.2	0.22	0.20	0.15	0.13
4 (fosalone)	0.3	0.2	0.10	0.07	0.05	0.03
5 (fosalone)	0.2	0.2	0.08	0.06	0.06	0.03
6 (captan)	0.2	0.1	0.08	0.19	0.06	0.03
7 (captan)	1.8	0.9	2.3	2.4	0.03	2.3
8 (captan)	0.5	0.3	0.25	0.14	0.13	0.18
9 (captan)	0.2	0.1	0.08	0.06	0.07	0.04
10 (captan)	0.2	0.1	0.09	0.06	0.04	0.05

* niet gemeten

De achtergrondconcentratie was bij alle metingen lager dan de detectielimiet welke voor deze mengingen overeenkomt met ca. $0.001 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Een uitgebreid overzicht van de tracergasmetingen is opgenomen in bijlage 3.

4. UITWERKING RESULTATEN EN DISCUSSIE

In dit hoofdstuk zijn de in hoofdstuk 3 weergegeven resultaten uitgewerkt. Op basis van de meetresultaten is de emissie berekend. Daarnaast zijn de resultaten geëxtrapoleerd naar omstandigheden waaronder niet is gemeten.

4.1 Concentratieverloop tijdens de metingen

In deze paragraaf is het concentratieverloop van actieve stof tijdens de verschillende meetcampagnes beschreven. Hierbij is het concentratieverloop uitgesplitst naar de concentratie in druppel- en in dampvorm.

4.1.1 Concentratieverloop in druppelvorm

Zoals mocht worden verwacht neemt de concentratie actieve stof in druppelvorm sterk af met toenemende afstand tot de boomgaard. Door de valsnelheid van de druppels blijft de verspreiding van de druppels beperkt tot enkele tientallen meters vanaf de rand van de boomgaard.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de concentratie actieve stof in druppelvorm voor de verschillende toedieningstechnieken op verschillende afstanden tot de boomgaard. Deze tabel is gebaseerd op tabel 5 uit paragraaf 3.3.2, waarbij de verschillende metingen met elkaar zijn vergeleken en zijn geïntegreerd tot één logisch geheel. Daarbij is de meting die op 10 meter afstand is uitgevoerd als uitgangspunt genomen.

Tabel 7 Verloop van de concentratie in druppelvorm in de spuitwolk tijdens de metingen.

Toedieningstechniek	Concentratie actieve stof in de spuitwolk op verschillende afstanden tot de boomgaard ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	10 m	25 m	40 m
snelspuiten	10	2	2
nevelen	110	65	25
nevelen*	65	30	10
tunnelspuit	80	50	20

* Met aanwezigheid van een windsingel

Bij deze tabel dient men zich te realiseren dat de gegevens zijn gebaseerd op monsters die tijdens de toediening in de spuitwolk zijn genomen door met deze wolk mee te lopen. Hierdoor wordt een grotere tijdsintegratie verkregen (ca. 1.5 minuut) dan bij meting van de concentratie in de spuitwolk op een vast meetpunt. Door de grotere tijdsintegratie is de spreiding in de gemeten concentraties kleiner omdat kortdurende fluctuaties in windrichting of windsnelheid voor een groter deel worden uitgemiddeld.

De concentraties op een willekeurig punt in de spuitwolk kunnen door lokale omstandigheden veel hoger of veel lager uitvallen dan de in deze tabel genoemde concentraties. Dit blijkt ook uit de gemeten concentraties op 10 meter vanaf de rand van de boomgaard. Deze concentraties zijn gemeten met een tijdsintegratie van ca. 10 seconden (de tijdsduur waaraan een punt blootstaat aan de spuitwolk) en varieerden tussen $< 0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $4500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (zie bijlage 2).

De gegevens uit deze tabel komen goed overeen met de trend die volgt uit de gemeten concentraties actieve stof in druppelvorm op 10 en 25 meter afstand tot de boomgaard (zie bijlage 2). Voor het snelspuiten is op 25 meter afstand vanaf de boomgaard geen bijdrage meer te zien van de concentratie actieve stof in druppelvorm aan de totale concentratie actieve stof. Voor het nevelen is de bijdrage van de druppelfractie op 25 meter afstand van de boomgaard nog bijna 40% van de totale gemeten concentratie actieve stof. Ditzelfde geldt voor de tunnelspuit.

In de praktijk betekent dit dat voor de actieve stoffen waarmee de metingen zijn uitgevoerd vooral bij het nevelen de blootstelling van een bepaald punt op korte afstand tot de boomgaard (i.e. afstand < 25 meter) vooral wordt bepaald door de blootstelling aan de spuitwolk. De bijdrage van de verdampingsemissie aan de blootstelling wordt pas groter dan de blootstelling aan de druppelmissie op afstanden groter dan 25 meter voor het nevelen en vanaf ca. 10 meter bij het spuiten.

4.1.2 Concentratieverloop in dampvorm

De gemeten concentraties actieve stof in dampvorm zijn veel lager dan de concentraties actieve stof in druppelvorm. Bij de rand van de boomgaard liggen de concentraties gemiddeld over de toedieningstijd in de grootte orde van enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit neemt af tot een concentratie actieve stof in de grootte orde van $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ op 100 meter afstand vanaf de boomgaard.

Na de toediening lopen de concentraties actieve stof uiteen van ca. 1 tot $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ afhankelijk van de omstandigheden en de afstand tot de boomgaard.

Enkele uren na de toediening zijn de concentraties binnen de boomgaard zowel voor captan als voor fosalone lager dan enkele tienden $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (zie bijlage 2).

In de paragrafen 4.2 en 4.3 wordt ingegaan op de emissie van actieve stof tijdens en direct na de toediening. Uit eerder uitgevoerd onderzoek blijkt dat de emissie van actieve stof vanuit een bespoten veld meerdere weken en zelfs maanden kan aanhouden (voor persistente bestrijdingsmiddelen ref 22,23,26,29,34). Er kan dan telkens als de omstandigheden dat toelaten (vooral's ochtends onder vochtige omstandigheden) opnieuw emissie optreden. Het grootste deel van de totale emissie vindt echter plaats tijdens en gedurende de eerste uren na de toediening (ref. 22,29). In deze paragraaf zal dan ook aan deze periode de meeste aandacht worden besteed.

4.2 Bepaling van de emissie tijdens de metingen

4.2.1 Emissie in dampvorm

De emissie van actieve stof in dampvorm is bepaald door de concentratiemetingen met het Gaussisch pluimmodel terug te rekenen naar de emissie. De tracergasmetingen zijn daarbij gebruikt om de verspreidingsparameters te bepalen. In bijlage 4 is in detail beschreven hoe de emissie is berekend.

In tabel 8 is de emissie van actieve stof in gasvorm uit de boomgaard weergegeven zowel in absolute hoeveelheden als in percentage van de toegepaste dosis. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de emissie tijdens en in de eerste uren na toediening en in de latere perioden.

Bij de metingen 1, 5, 7 en 8 was de emissie nog meetbaar 5 uur na toedienen.

Tabel 8 Emissie van actieve stof uit de boomgaard in dampvorm tijdens de metingen.

Nr	Actieve stof	Toedienings-techniek	Emissie perioden 1, 2, 3 *		Emissie perioden 4, 5 *		Emissie totaal
			(g)	(%)	(g)	(%)	(%)
1	captan	nevelen	64	6.2	± 20	± 2	8.2
2	fosalone	nevelen	19	2.9	< 0.5	< 0.1	2.9
3	fosalone	snelspuiten	21	3.1	< 0.5	< 0.1	3.1
4	fosalone	nevelen	18	4.6	< 0.5	< 0.1	4.6
5	fosalone	nevelen	23	4.8	± 1.0	± 0.2	5.0
6	captan	nevelen	27	3.2	± 1.0	± 0.1	3.3
7	captan	nevelen	25	2.1	± 2.0	± 0.2	2.3
8	captan	nevelen	29	4.8	± 3.0	± 0.5	5.3
9	captan	tunnelspuit	12	1.5	± 0.5	± 0.1	1.6
10	captan	snelspuiten	9	1.1	± 0.5	± 0.1	1.2

* Zie paragraaf 2.4.2.

4.2.2 Emissie in druppelvorm

In tabel 9 is de berekende bronsterkte in druppelvorm voor de verschillende toedienings-technieken tijdens de metingen weergegeven. In bijlage 4 is in detail beschreven op welke wijze de bronsterkte is bepaald.

Tabel 9 Bronsterkte en emissie in druppelvorm voor de verschillende toedieningstechnieken tijdens de metingen.

Toedieningstechniek	Bronsterkte voor druppeldrift (mg/s)	Emissie (g)	Emissie (%)
snelspuiten	11	4	0.5
nevelen	130	45	8
nevelen *	65	20	2
tunnelspuit	120	40	5

* Met aanwezigheid van een windsingel

Uit de tabel blijkt dat de bronsterkte bij het snelspuiten aanzienlijk lager ligt dan bij het nevelen. Ook is het effect van de windsingel terug te zien. De bronsterkte is hierbij ongeveer gehalveerd. Het effect van de tunnel op de druppeldrift is bij deze metingen beperkt en bedraagt ongeveer 10%. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de bronsterkte voor de tunnelspuit is berekend met dezelfde druppelgrootteverdeling als voor het neveltoestel. Het is echter niet uit te sluiten dat juist de grote druppels niet buiten de tunnel terechtkomen waardoor de tunnel in werkelijkheid een wat grotere beperking van de druppeldrift kan opleveren.

De hoeveelheid actieve stof die buiten het bespoten perceel terecht komt is geschat op basis van deze bronsterktes voor de omstandigheden tijdens de metingen.

4.2.3 Nauwkeurigheid

Emissie in dampvorm

De onzekerheid in de berekende bronsterkte en emissie is circa 25%. Deze onzekerheid is opgebouwd uit de onzekerheid in de gemeten concentraties ($< 10\%$) en de onzekerheid waarmee de berekening van de bronsterkte kan worden uitgevoerd met het Gaussisch pluimmodel. Uit de tracergasexperimenten blijkt dat de onzekerheid in de berekening van de bronsterkte gemiddeld over alle metingen kleiner is dan 10% en maximaal ca. 25% bedraagt.

Emissie in druppelvorm

De onzekerheid in de berekende bronsterkte bedraagt circa 50%. Net als bij de emissie in dampvorm is deze onzekerheid opgebouwd uit de onzekerheid in de concentratiebepaling welke in de pluim ca. 25% bedraagt en de onzekerheid geïntroduceerd door de berekeningen met het Gaussisch pluimmodel.

4.3 Bepaling van de emissie uit modelberekeningen

Bij de berekeningen in deze paragraaf is alleen de initiële bronsterkte berekend op basis van modellen.

4.3.1 Emissie in dampvorm

De (initiële) bronsterkte (Q) in dampvorm wordt berekend m.b.v. vergelijking 4 (zie paragraaf 2.1.2):

$$Q = 0.98 * \left(\frac{m_o P_v M^{1/3}}{R_o C_o l} \right) \quad (4)$$

Hierin staat:

- m_o voor de dosering * de fractie op het gewas (in kmol.m⁻²)
- P_v voor de dampdruk van de actieve stof (in Pa)
- M voor de molmassa van de actieve stof (in kg.kmol⁻¹)
- R_o voor de druppelstraal na afzetting op het gewas (in m)
- c_o voor de conc. act. stof in de spuitoplossing (in kmol.m⁻³)
- l voor de dikte van de laminaire laag (in m)

Voor fosalone en captan is de bronsterkte berekend op basis van dit model. Bij de berekeningen is uitgegaan van een dikte van de laminaire laag van 10 µm (ref. 2,7)³⁾ en een fractie op het gewas van 45% (ref. 20). Daarnaast is gerekend met een druppelgrootte (aantallen mediane diameter) bij het snelspuiten van 160 µm en bij het nevelen van 130 µm. Deze diameters zijn gebaseerd op de gemeten druppelgrootteverdelingen van de voor het onderzoek gebruikte spuitmachines (ref. 28).

De waarden van m_o en c_o zijn gebaseerd op de doseringen tijdens de metingen (900 g/ha voor captan en 500 g/ha voor fosalone, de hoeveelheid oplosmiddel die is gebruikt is bij het nevelen 235 l/ha en bij het snelspuiten 1000 l/ha). De resultaten van de berekening zijn opgenomen in tabel 10.

³⁾ De spreiding in de literatuurgegevens in de dikte van de laminaire laag bedroeg meer dan een factor 10. Dit heeft tot gevolg dat de berekende emissies met enige voorzichtigheid moeten worden betracht. Eigenlijk moet de dikte van de laminaire laag experimenteel worden bepaald.

Tabel 10 *Berekende bronsterkte voor captan en fosalone tijdens de metingen op basis van het emissie-model.*

actieve stof	toedienings-techniek	m_o (kmol/m ²)	c_o (kmol/m ³)	molmassa (kg/kmol)	dampdruk (Pa)	bronsterkte (mg/s)
captan	nevelen	3.0 E-7	1.3 E-2	300.6	1.3 E-3	150
captan	snelspuiten	3.0 E-7	3.0 E-3	300.6	1.3 E-3	530
fosalone	nevelen	1.4 E-7	5.8 E-3	367.8	67 E-6	8.8
fosalone	snelspuiten	1.4 E-7	1.4 E-3	367.8	67 E-6	29.4

Vergelijking van de berekende en de gemeten emissies

In tabel 11 zijn de berekende (zie tabel 1 uit bijlage 4) en de gemeten emissies in één tabel naast elkaar gezet. Uit de tabel blijkt dat het niet mogelijk is om voor de laminaire laag een dikte te kiezen waarmee alle berekende emissies overeenkomen met de gemeten emissies. Bovendien wordt voor het snelspuiten een hogere emissie berekend dan bij het nevelen, dit is geheel toe te schrijven aan de waarde van c_o .

In de praktijk blijkt dit niet het geval te zijn. Dit komt waarschijnlijk doordat bij het snelspuiten de druppels voor een groter deel van het blad afdruppen waardoor het vlekkenoppervlak (zie hoofdstuk 2) geen afspiegeling is van de initiële druppelgrootte. Als dit effect een rol speelt mag het emissiemodel niet worden gebruikt bij de berekening van de emissie bij het snelspuiten. Daarnaast kan ook het percentage op het blad voor het snelspuiten kleiner zijn dan voor het nevelen.

Tabel 11 *Vergelijking van de berekende en de gemeten bronsterkten in dampvorm voor de situatie tijdens de metingen.*

Actieve stof	Toedieningstechniek	Berekende bronsterkte (mg/s)	Gemeten bronsterkte (mg/s)
captan	nevelen	150	13
captan	snelspuiten	530	4.0
fosalone	nevelen	8.8	8.0
fosalone	snelspuiten	29.4	2.1

Opvallend aan de berekende en de gemeten emissies is de grote overschatting van de emissie van captan door de rekenmethode. De overschatting kan geen gevolg zijn van een verkeerde schatting van de dikte van de laminaire laag. De captan en fosalone metingen zijn in dezelfde periode uitgevoerd onder vergelijkbare omstandigheden.

Ook in vergelijking met de metingen uitgevoerd in kassen (ref 1) is vooral de emissie van captan laag. Bij het kassenonderzoek is vastgesteld dat van een actieve stof met een dampdruk van 0.9 mPa bij gebruik van de spuitmast (een spuittechniek die qua druppel-grootteverdeling overeenkomt met wat bij het boomgaardspuiten gebruikelijk is) ongeveer 8% emitteert naar de lucht buiten de kas. Mede op grond hiervan werd voor captan (dampdruk 1.3 mPa) een

hogere emissie verwacht dan de ca. 5% die (in het open veld) is gemeten.

De lagere emissie van captan wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een verlaging van de verdampingssnelheid ten gevolge van een interactie van captan met het blad. Experimenten hebben aangetoond dat de dampdruk van de actieve stof aanzienlijk kan worden verlaagd door een interactie van de actieve stof met het gewas (zie ook hoofdstuk 2). Deze interactie is moeilijk in een getal uit te drukken. De octanol/water coëfficiënt bijvoorbeeld geeft hierover geen uitsluitsel. Daarnaast kan de emissie van een actieve stof worden beïnvloed door de hulpstoffen in de formulering. Het effect hiervan is echter te klein om de lage emissie van captan te verklaren.

4.3.2 Emissie in druppelvorm

De emissie in druppelvorm is geschat op basis van de metingen (dus ook voor de omstandigheden tijdens de metingen) en bedraagt ca. 10% van de toegediende hoeveelheid voor het nevelen, ca. 9% voor het tunnelspuiten, ca. 5% in aanwezigheid van een wind-singel en ca. 1% voor het snelspuiten. Deze emissie komt voor het grootste gedeelte in de directe omgeving van de boomgaard terecht. Op basis van modelberekeningen is bepaald waar de geëmitteerde druppels terechtkomen. In bijlage 4 is in detail beschreven hoe dit is uitgevoerd.

Bij de berekening zijn de volgende aannamen gemaakt:

- De boomgaard is vierkant.⁴⁾
- De windsingel staat 5 meter uit de rand van de boomgaard.
- De verspoten hoeveelheid actieve stof bedraagt 800 gram.

In onderstaande tabel is de berekende depositie van actieve stof buiten de boomgaard weer-gegeven op verschillende afstanden tot de boomgaard bij verschillende windsnelheden.

Tabel 12 *Schatting van de depositie van actieve stof in druppelvorm op verschillende afstanden tot de boomgaard bij verschillende windsnelheden.*

Toedienings- techniek	Wind- snelheid (m/s)	Depositie van actieve stof in druppelvorm op verschillende afstanden tot de boomgaard (g)				
		0 - 5 m	5 - 10 m	10 - 25 m	25 - 40 m	40 - 100 m
snelspuiten	2	4	1	1	1	1
nevelen	2	42	8	6	4	2
nevelen*	2	42	4	3	2	1
tunnelspuit	2	39	7	5	4	2
snelspuiten	4	3	1	1	1	1
nevelen	4	30	10	8	4	6
nevelen*	4	30	5	4	2	3
tunnelspuit	4	27	9	7	4	5
snelspuiten	6	2	1	1	1	1
nevelen	6	24	8	8	4	8
nevelen*	6	24	4	4	2	4
tunnelspuit	6	22	7	7	4	7

* met aanwezigheid van een windsingel, de afstand van de rand van de boomgaard tot de windsingel bedraagt ca. 5 meter zodat de depositie van 0 tot 5 meter niet verschilt van de situatie zonder windsingel.

Uit de gegevens uit deze tabel blijkt dat (zoals mocht worden verwacht) de depositie dicht-bij de boomgaard afneemt bij toenemende windsnelheid met een toename van de depositie op grotere afstanden tot de boomgaard.

⁴⁾ De lengte/breedte verhouding heeft gemiddeld geen invloed op de emissie. Bij een windrichting loodrecht op de lengte-as van een boomgaard is de emissie hoger dan bij een vierkante boomgaard, maar bij een windrichting loodrecht op de breedte-as is de emissie lager dan bij een vierkante boomgaard.

4.3.3 Nauwkeurigheid

Emissie in dampvorm

Het is lastig om de onzekerheid te schatten van de met het model berekende bronsterkten. De redelijke overeenstemming van de berekende emissie voor fosalone met de gemeten emissie veronderstelt dat het model goed kan worden gebruikt voor een eerste schatting van de emissie van een bepaalde verbinding.

Een vergelijking van de met het emissiemodel berekende emissies, de in kassen gemeten emissies (ref. 1) en in laag gewas gemeten emissies (ref. 22,29) leert dat met het emissiemodel berekende bronsterkten een realistische (binnen 10%) maximum schatting geven voor de voor die dampdrukklasse berekende emissie. Voor individuele verbindingen (zoals voor captan) kunnen de emissies echter veel lager liggen dan op grond van deze berekeningen wordt aangenomen door “hechting” van het middel aan het gewas.

Emissie in druppelvorm

De gemeten concentraties zijn gebruikt om de emissie uit te berekenen. Uit dezelfde berekeningen volgen ook de depositiepercentages zodat de onzekerheid in de berekende depositiepercentages ook ca. 50% bedraagt.

4.4 Concentratieverloop onder verschillende omstandigheden

Op basis van de metingen en het emissiemodel is in deze paragraaf een schatting gemaakt van het concentratieverloop van actieve stof onder verschillende omstandigheden. Het concentratieverloop is berekend voor de volgende omstandigheden:

- direct na toedienen
- voor actieve stoffen met een verschillende dampdruk
- toediening uitgevoerd met spuit- en nevelapparatuur
- windsnelheid van 2, 4 en 6 m/s
- gunstige en ongunstige meteorologische condities

Bij de berekeningen wordt onderscheid gemaakt tussen het concentratieverloop in druppelvorm en het concentratieverloop in dampvorm. De procedure die wordt gevolgd houdt in dat eerst de bronsterkte wordt berekend voor verschillende toedieningstechnieken en verschillende actieve stoffen. Vervolgens wordt met de bekende bronsterkte op basis van verspreidingsberekeningen het concentratieverloop berekend.

4.4.1 Concentratieverloop van actieve stof in dampvorm

Bij het concentratieverloop in dampvorm is de bronsterkte berekend met het emissiemodel voor verschillende actieve stoffen met nevelen als toedieningstechniek omdat het emissiemodel voor deze toedieningstechniek de beste resultaten oplevert (zie paragraaf 4.3.1).

De berekening van de bronsterkte is uitgevoerd met een dikte van de laminaire laag van $10\text{ }\mu\text{m}$.⁵⁾ Voor de doseringen is uitgegaan van 750 g/ha . Bij het nevelen wordt 235 l oplosmiddel per hectare gebruikt en is de diameter van de druppels $130\text{ }\mu\text{m}$. De fractie op het gewas bedraagt 45% .

De dampdruk van de actieve stof is telkens met een factor 10 verlaagd beginnend bij 10 mPa en eindigend bij 10^{-2} mPa . Verder is voor de berekeningen verondersteld dat de molecuulmassa van de actieve stoffen gelijk is aan 350 g/mol . De resultaten zijn weergegeven in tabel 13.

Op basis van de berekende bronsterkte is tevens de emissie berekend, uitgedrukt als percentage van de dosis. Daarbij is verondersteld dat de emissie een verloop heeft zoals voor captan en fosalone onder de verschillende omstandigheden is gemeten. Verder is op basis van de metingen gesteld dat de bronsterkte bij snelspuiten als toedieningstechniek een derde bedraagt van de bronsterkte bij het nevelen.

⁵⁾ De dikte van de laminaire laag is afhankelijk van de windsnelheid en geldt voor een windsnelheid van 4 m/s (i.e. de windsnelheid) tijdens de metingen.

Tabel 13 *Berekende initiële bronsterkte en emissie voor verschillende actieve stoffen en toedieningstechnieken*

Dampdruk actieve stof (mPa)	Toedieningstechniek	Initiële bronsterkte (mg/s)	Emissie (%)
10	nevelen	1 E+3	100
10	snelspuiten	3 E+2	100
1	nevelen	1 E+2	50
1	snelspuiten	3 E+1	20
0.1	nevelen	1 E 1	5
0.1	snelspuiten	3 E 0	2
0.01	nevelen	1 E 0	< 1
0.01	snelspuiten	3 E-1	< 1
0.001	nevelen	1 E-1	< 1
0.001	snelspuiten	3 E-2	< 1

Uit deze tabel blijkt dat de emissie voor actieve stoffen met een hoge dampdruk gelijk kan zijn aan de dosering. Wellicht is dit een overschatting omdat er geen rekening is gehouden met droge depositie in de boomgaard en eventueel andere processen die de verdamping beïnvloeden. Wel staat vast dat van deze categorie actieve stoffen het grootste gedeelte emitteert naar de lucht. Er zijn echter maar zeer weinig actieve stoffen met een dampdruk in deze grootte orde die worden toegepast bij het bespuiten van boomgaarden. Dit in tegenstelling tot de kasteelt waarin wel actieve stoffen met een hoge dampdruk (i.e. > 10 mPa) worden toegepast.

Op basis van de berekende initiële bronsterkten is het concentratieverloop van actieve stof berekend. Voor de bronsterkte is verondersteld dat deze evenredig is met de wortel uit de windsnelheid en dat de berekende bronsterkte geldig is voor een windsnelheid van 4 m/s. Verder is verondersteld dat de boomgaard vierkant is (in principe kan voor iedere lengte/breedte verhouding de concentratieverloop worden berekend). Verder is uitgegaan van meteorologische condities die leiden tot relatief hoge concentraties actieve stof in de atmosfeer (stabiliteitsklasse D) en van meteorologische condities die leiden tot relatief lage concentraties actieve stof in de atmosfeer (stabiliteitsklasse B). Voor de windsnelheid is uitgegaan van 2 m/s, 4 m/s en 6 m/s.

In tabel 14 zijn de resultaten van deze berekeningen weergegeven. Tevens zijn deze resultaten weergegeven in de figuren 1 t/m 10.

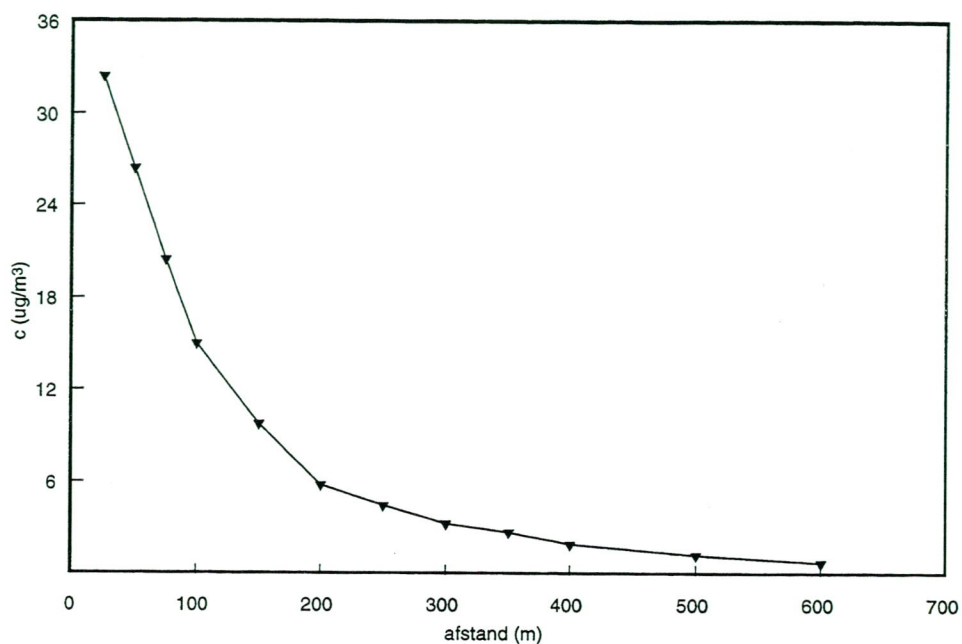
Tabel 14 *Berekend concentratieverloop onder verschillende omstandigheden op verschillende afstanden tot de boomgaard.*

Fig. nr.	Damp-druk actieve stof (mPa)	Stabiliteits-klasse	Toedienings-techniek	Wind-snelheid (m/s)	Berekende concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in dampvorm op verschillende afstanden tot de boomgaard (afstand in m tot de rand van de boomgaard)								
					25	50	75	100	150	200	300	400	500
1	10	B	nevelen	2	31	26	20	14	9	6	3	2	2
2	10	B	nevelen	4	22	18	14	10	7	4	2	2	1
3	10	B	nevelen	6	18	15	12	8	5	4	2	1	1
4	10	B	snelspuiten	2	10	9	7	5	3	2	1	1	0.5
5	10	B	snelspuiten	4	7	6	5	4	2	2	1	1	0.3
6	10	B	snelspuiten	6	6	5	4	3	2	1	1	0.3	0.2
7	10	D	nevelen	4	27	23	19	16	12	8	5	3	2
8	10	D	snelspuiten	4	9	8	7	6	4	3	2	1	1
9	1	D	nevelen	4	270	230	190	160	120	80	50	30	20
10	1	D	snelspuiten	4	90	80	70	60	40	30	20	10	10

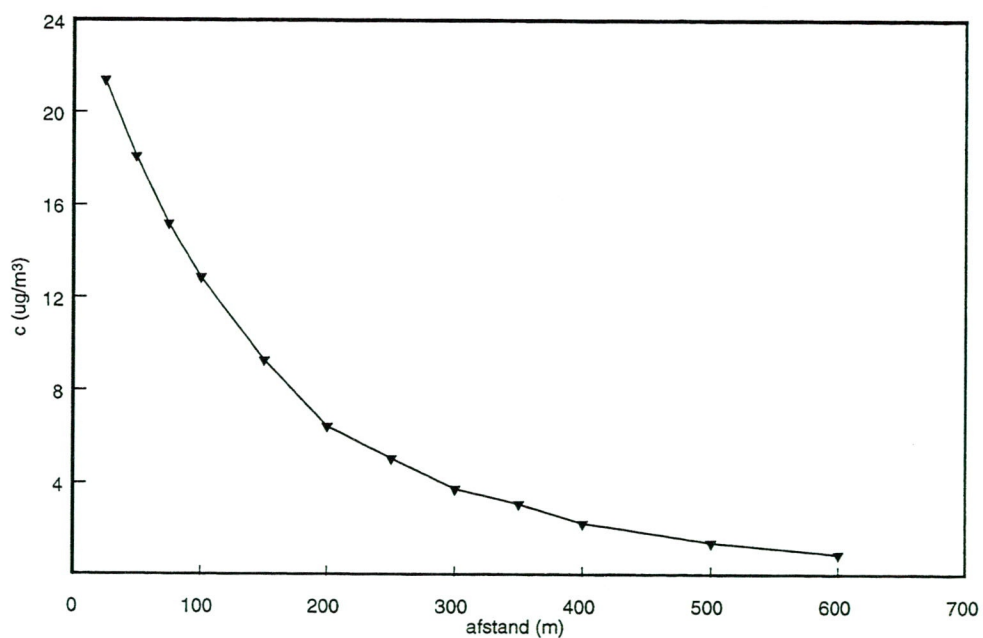
De figuren 1 t/m 8 zijn de concentratieverlopen voor actieve stoffen met een dampdruk van 1 mPa bij verschillende windsnelheden en toedieningstechnieken.

De figuren 9 en 10 geven het concentratieverloop in dampvorm weer voor actieve stoffen met een dampdruk van 1 mPa bij een windsnelheid van 4 m/s voor het nevelen en het spuiten onder meteorologische condities waarbij relatief hoge concentraties actieve stof voorkomen. Bij de figuren 9 en 10 moet worden bedacht dat de berekende concentraties maxima zijn en niet langer dan enkele minuten kunnen voorkomen.

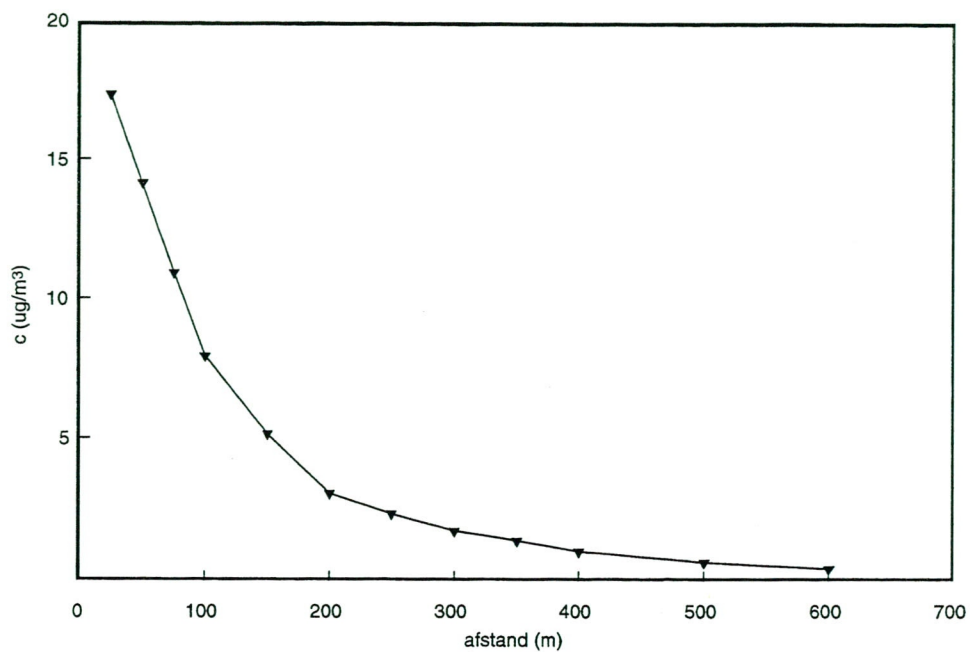
Uit de figuren blijkt dat de concentratie actieve stof in dampvorm op korte afstand van de boomgaard voor zeer vluchtige verbindingen kan oplopen tot boven enkele honderden $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Deze hoge concentratie kan gedurende enkele minuten voorkomen. Wel is het zo dat emissie in dampvorm nog dagen na de toediening op kan treden, dit leidt dan wel tot veel lagere concentraties actieve stof.



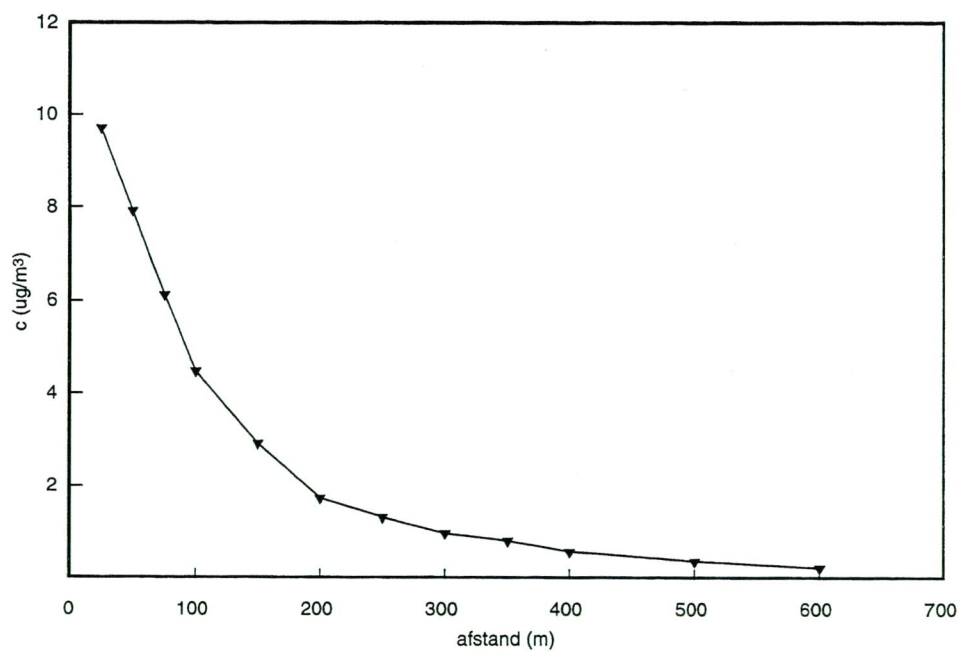
Figuur 1 Concentratieverloop als functie van de afstand: stabiliteitsklasse B, windsnelheid 2 m/s, toedieningstechniek nevelen, dampdruk 10 mPa.



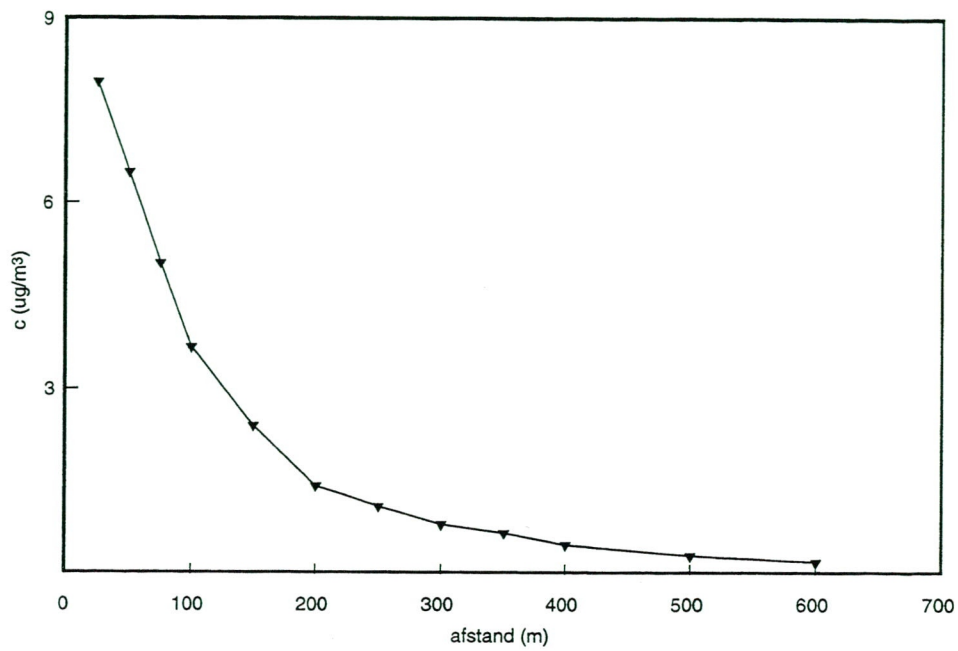
Figuur 2 Concentratieverloop als functie van de afstand: stabiliteitsklasse B, windsnelheid 4 m/s, toedieningstechniek nevelen, dampdruk 10 mPa.



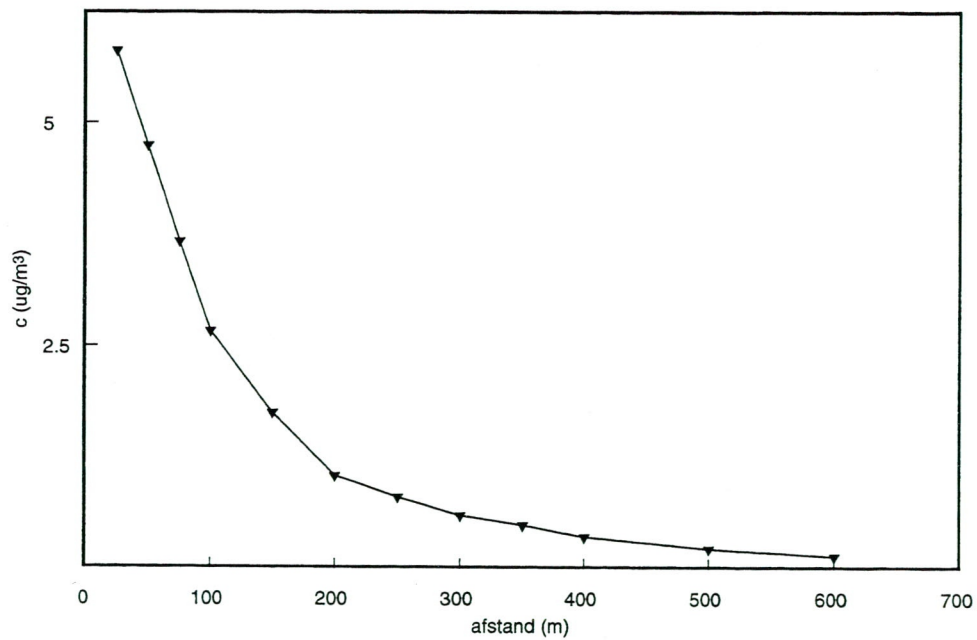
Figuur 3 Concentratieverloop als functie van de afstand: stabiliteitsklasse B, windsnelheid 6 m/s, toedieningstechniek nevelen, dampdruk 10 mPa.



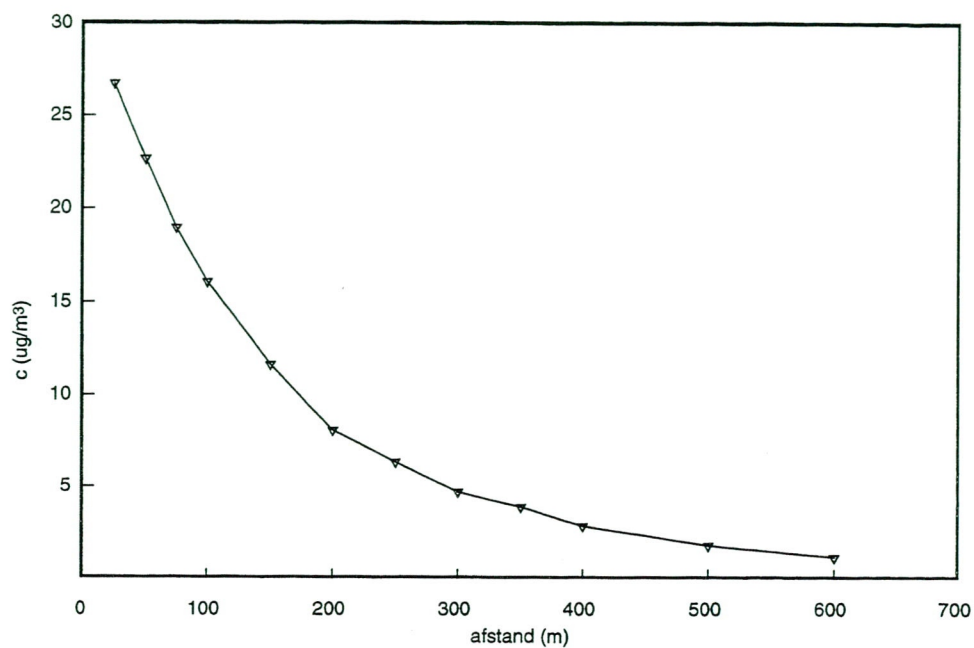
Figuur 4 Concentratieverloop als functie van de afstand: stabiliteitsklasse B, windsnelheid 2 m/s, toedieningstechniek snelspuiten, dampdruk 10 mPa.



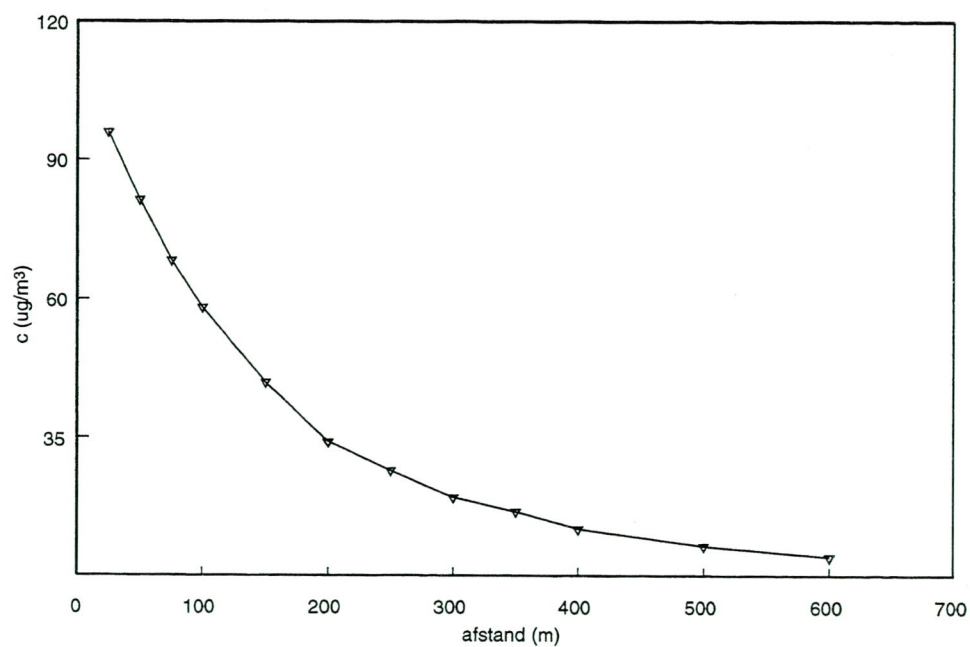
Figuur 5 Concentratieverloop als functie van de afstand: stabiliteitsklasse B, windsnelheid 4 m/s, toedieningstechniek snelspuiten, dampdruk 10 mPa.



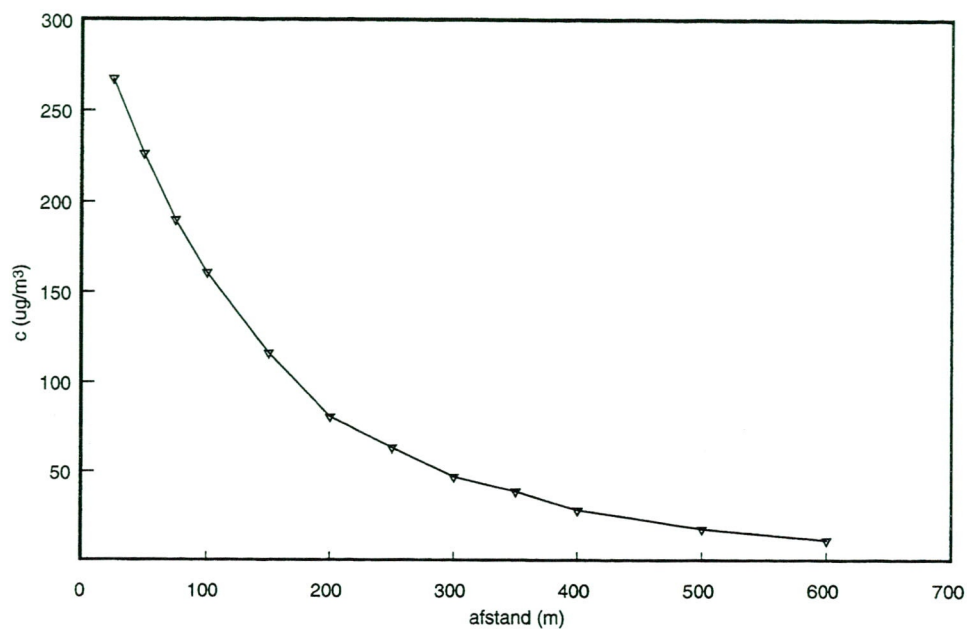
Figuur 6 Concentratieverloop als functie van de afstand: stabiliteitsklasse B, windsnelheid 6 m/s, toedieningstechniek snelspuiten, dampdruk 10 mPa.



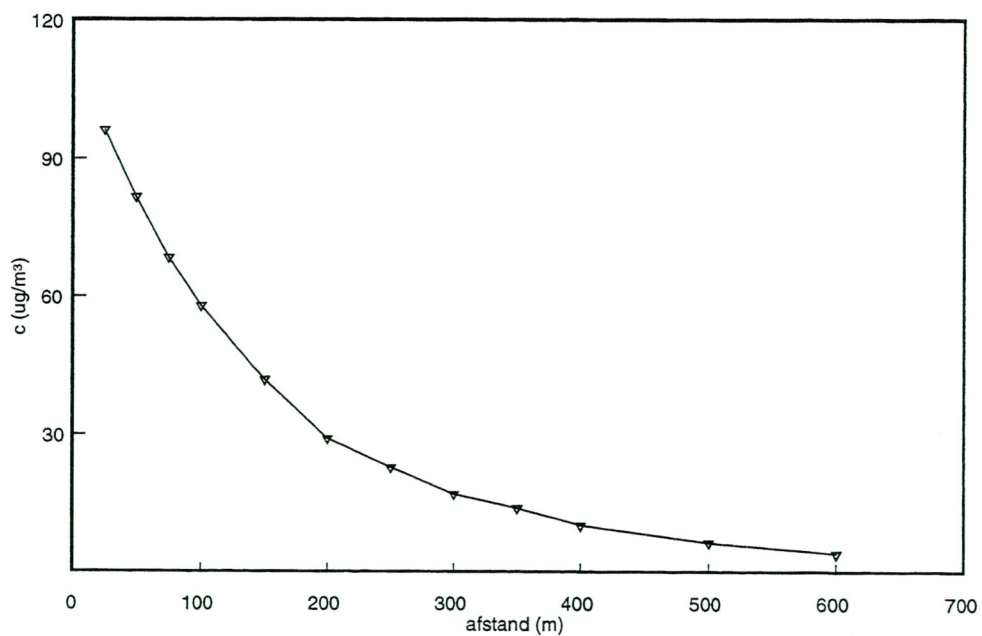
Figuur 7 Concentratieverloop als functie van de afstand: stabiliteitsklasse D, windsnelheid 4 m/s, toedieningstechniek nevelen, dampdruk 10 mPa.



Figuur 8 Concentratieverloop als functie van de afstand: stabiliteitsklasse D, windsnelheid 4 m/s, toedieningstechniek snelspuiten, dampdruk 10 mPa.



Figuur 9 Concentratieverloop als functie van de afstand: stabiliteitsklasse D, windsnelheid 4 m/s, toedieningstechniek nevelen, dampdruk 1 mPa.



Figuur 10 Concentratieverloop als functie van de afstand: stabiliteitsklasse D, windsnelheid 4 m/s, toedieningstechniek snelspuiten, dampdruk 1 mPa.

4.4.2 Concentratieverloop van actieve stof in druppelvorm

In bijlage 4 is in detail beschreven hoe het concentratieverloop van actieve stof in druppelvorm is berekend. De berekening komt neer op het berekenen van het verloop van de depositiesnelheid en de grootte van de verspoten druppels met toenemende afstand tot de boomgaard. Deze gegevens worden vervolgens als invoer gebruikt bij verspreidingsberekeningen met het PAL-model. Alle berekeningen zijn zoveel mogelijk gefit op de meetresultaten. In tabel 15 zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.

De formulering bleek geen invloed te hebben op de druppelgrootteverdeling (ref. 28), zodat de gegeven concentratieverlopen voor in principe alle formuleringen gelden.

Tabel 15 Concentratieverloop in druppelvorm voor verschillende toedieningstechnieken en windsnelheden.

Toedienings- techniek	Windsnelheid (m/s)	Concentratie actieve stof in druppelvorm op verschillende afstanden ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		10 m	25 m	40 m
snelspuiten	2	13	2	1
nevelen	2	190	41	18
nevelen (ws)	2	85	20	10
tunnelspuit	2	170	35	15
snelspuiten	4	11	2	1
nevelen	4	140	32	14
nevelen (ws)	4	65	15	7
tunnelspuit	4	125	30	13
snelspuiten	6	9	2	1
nevelen	6	95	21	10
nevelen (ws)	6	50	10	5
tunnelspuit	6	85	20	10

Uit deze tabel blijkt dat de concentratie actieve stof afneemt bij toenemende windsnelheid. Indien de windsnelheid toeneemt van 2 tot 6 m/s betekent dit ongeveer een halvering van de concentratie actieve stof. Uit tabel 12 blijkt echter wel dat de depositie van druppels over grotere afstanden plaatsvindt bij toenemende windsnelheid.

4.4.3 nauwkeurigheid

Concentratieverloop in dampvorm

De nauwkeurigheid waarmee de indirecte emissie is berekend is moeilijk aan te geven. Het emissiemodel is weliswaar op de meetgegevens afgestemd, maar dit geldt dan in principe alleen voor die bepaalde omstandigheden. Zoals al in paragraaf 4.3.3 is gesteld levert de met het emissiemodel berekende emissie wel een realistische maximum schatting van de voor die dampdruk berekende emissie. Voor individuele verbindingen echter kunnen de emissies veel lager liggen dan op grond van deze berekeningen wordt aangenomen. Om hier met meer zekerheid uitspraken over te doen zijn meer metingen noodzakelijk waarin meerdere actieve stoffen worden opgenomen.

De berekende concentratie in dampvorm kan voor de verschillende dampdrukclassen worden beschouwd als een maximum concentratie. Daarbij is met name de onzekerheid van de concentratie op korte afstanden relatief groot, omdat de verspreidingsmodellen niet geschikt zijn voor korte afstanden. In de meeste gevallen echter wordt het concentratieverloop op korte afstanden bepaald door de concentratie in druppelvorm zodat de onzekerheid in de concentratie in dampvorm minder relevant is.

Op grotere afstanden bedraagt de onzekerheid in de berekende maximum concentraties ongeveer een factor twee. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat bij de berekeningen is uitgegaan van standaardomstandigheden die tijdens toepassingen in de praktijk niet altijd zo voorkomen.

Concentratieverloop in druppelvorm

De nauwkeurigheid waarmee het concentratieverloop in druppelvorm is bepaald is voor de windsnelheid van 4 m/s ca. 30% (gebaseerd op de metingen zie paragraaf 4.3.3). Voor de overige windsnelheden is dit ca. 50% (recht evenredig met de geschatte emissie, zie paragraaf 4.2.3).

4.5 Invloed van verschillende parameters op het concentratieverloop

4.5.1 Invloed van de actieve stof

Uit de berekeningen volgt dat de actieve stof een grote invloed kan hebben op de concentratieniveau's die kunnen voorkomen. Met name de emissie in dampvorm is evenredig met de dampdruk van de actieve stof (ref. 30-33). De emissie in druppelvorm wordt nauwelijks beïnvloed door de actieve stof.

Door een grote interactie met het blad kan de dampdruk van een bepaalde verbinding aanzienlijk worden verlaagd waardoor het mogelijk is zo'n verbinding (bijvoorbeeld captan) moeilijk in dampvorm over kan gaan en een relatief lage emissie heeft.

Dit idee wordt versterkt omdat voor fosalone binnen de boomgaard concentraties gemeten worden in de grootte orde van de maximale dampdruk. De concentratieniveau's voor captan liggen veel lager dan de maximale dampdruk toestaat behalve in het geval dat er geen blad aan de boomgaard aanwezig is. Ook in vergelijking met eerder uitgevoerd onderzoek wordt voor captan een emissie verwacht in overeenstemming met de door het emissiemodel berekende emissie.

Op basis van het emissiemodel kan voor een willekeurige actieve stof de emissie en de concentratie in de omgeving worden berekend. Uit de berekeningen blijkt dat voor actieve stoffen met een dampdruk groter dan 10 mPa de concentratieniveau's ten gevolge van dampdrift zelfs groter kunnen zijn dan de concentratieniveau's ten gevolge van druppeldrift.

De berekende concentratie dient echter te worden beschouwd als een maximum voor een actieve stof met een bepaalde dampdruk. In de praktijk kan de concentratie door een grote interactie met het blad aanzienlijk lager uitvallen.

4.5.2 Invloed van de toedieningstechniek

Bij het snelspuiten worden lagere concentraties actieve stof gemeten dan bij het nevelen. Dit verschil wordt veroorzaakt door de druppelgrootte waarmee wordt gewerkt. De druppelgrootte (volume mediaan diameter) ligt bij nevelen in de grootte orde van 160 μm en bij snelspuiten in de grootte orde van 190 μm (ref. 28).

Ook de concentratie op grotere afstand tot de boomgaard (welke alleen wordt beïnvloed door de emissie in dampvorm) blijkt bij het snelspuiten kleiner te zijn dan bij het nevelen.

Kennelijk is de verdamping na snelspuiten minder. De grote druppels (met nagenoeg dezelfde hoeveelheid actieve stof, zie paragraaf 1.2.2) veroorzaken een kleiner vlekkenoppervlak (zie vergelijking 1). Echter de term $1/c_0$ uit dezelfde vergelijking zou de verdamping bij het spuiten moeten verhogen. Het is echter ook mogelijk dat er bij het spuiten een groter deel op de bodem terechtkomt en daarvandaan door absorptie niet meer (of langzaam) emitteert. Het is niet helemaal duidelijk welk effect hierin de doorslag geeft.

Voor de tunnelspuit geldt dat de druppeldrift met ca. 10% wordt verminderd door het gebruik van een overkapping voor de omstandigheden tijdens de meting. Het gebruik van actieve stof kan echter wel worden verminderd omdat een deel van de verspoten hoeveelheid actieve stof niet op de bodem terecht komt tijdens de toediening maar wordt opgevangen en opnieuw wordt verspoten. Hierdoor zou het gebruik van actieve stof met ca. 20% kunnen worden verminderd.

4.5.3 Invloed van de meteorologie

Omstandigheden waarbij relatief weinig turbulentie optreedt (stabiele atmosfeer) leiden tot hogere concentraties actieve stof dan omstandigheden waarbij turbulentie optreedt.

De mate waarin turbulentie optreedt bepaalt de verdunning van de “pluim”, zodat de concentraties lager zijn indien de turbulentiegraad hoog is.

Bij het effect van de windsnelheid op het concentratieverloop moet onderscheid worden gemaakt tussen het effect op de druppeldrift en het effect op de dampdrift.

De concentraties actieve stof in dampvorm blijken bij een hogere windsnelheid niet significant af te wijken van concentraties bij een lagere windsnelheid. Dit wordt veroorzaakt door een bronsterkte bij toenemende windsnelheid.⁶⁾

Effect van de windsnelheid op de druppeldrift

Het effect van de windsnelheid op de druppeldrift volgt volledig uit modelberekeningen die zijn gefit op de actuele situatie tijdens de metingen.

Bij hogere windsnelheid neemt de druppeldrift toe, echter door een grotere verdunning van de emissie nemen de absolute concentraties in de lucht af. Wel treedt depositie op over grotere afstanden bij een hogere windsnelheid.

⁶⁾ De toenemende bronsterkte zorgt ervoor dat de concentraties gelijk blijven ondanks een door de toenemende windsnelheid toegenomen verdunningen (zie ook paragraaf 2.2.3).

4.5.4 Invloed van blad aan het gewas

Uit de metingen blijkt dat de concentratie actieve stof in de omgeving toeneemt (voor captan) als er minder blad aan de boomgaard zit. De hoeveelheid blad heeft (voor captan) vooral effect op de concentratieniveau's in dampvorm door interactie van de actieve stof met het blad.

4.5.5 Invloed van de windsingels

De emissie in dampvorm wordt niet of nauwelijks door de windsingels tegengehouden. Voor de emissie in druppelvorm geldt dat bij aanwezigheid van een windsingel de concentratieniveau's (achter de windsingel) ongeveer worden gehalveerd t.o.v. de situatie zonder windsingel. Wel is het zo dat direct achter de windsingels de windsnelheid aanzienlijk lager is dan voor de windsingel waardoor het niet uitgesloten is dat depositie direct achter de windsingel groter is dan in een situatie zonder windsingels. In de gebruikelijke situatie met een sloot direct achter de windsingels kan dit door de aanwezigheid van de windsingel tot een hogere belasting van het oppervlaktewater leiden.

4.5.6 Invloed van overige parameters

Uit de metingen is geen effect van de temperatuur of de relatieve vochtigheid op het concentratieverloop te halen. Het effect van de eerder genoemde parameters blijkt veel groter dan het effect van deze parameters.

Op theoretische gronden kan worden gesteld dat de temperatuur de concentratie beïnvloedt door een effect op de dampdruk en op de diffusiesnelheid waardoor een hogere emissie optreedt. Maar bij hogere temperaturen treedt vaak grotere turbulentie op. Door dit effect nemen de concentraties weer af. Het netto effect moet voor iedere situatie afzonderlijk worden beoordeeld.

Eveneens op theoretische gronden kan worden gesteld dat de relatieve vochtigheid effect heeft op de mate waarin de verspoten druppels kunnen verdampen. Bij een hogere relatieve vochtigheid is de verdampingssnelheid van de druppels lager waardoor druppeldrift in mindere mate kan optreden.

5. CONCLUSIES

Op basis van metingen en modelberekeningen is het concentratieverloop van gewas-beschermingsmiddelen in de lucht in de omgeving van een boomgaard bepaald. Uit het onderzoek kwamen de volgende punten naar voren:

Algemeen

- 1) Voor actieve stoffen met een dampdruk < 10 mPa (dit zijn de meeste actieve stoffen) kan worden gesteld dat op korte afstanden tot de boomgaard het concentratieverloop (vrijwel volledig) wordt bepaald door emissie in druppelvorm. Op grotere afstanden (vanaf ca. 40 meter) wordt het concentratieverloop (vrijwel volledig) bepaald door emissie in dampvorm. Uit berekeningen blijkt dat indien de dampdruk van de actieve stof ≥ 10 mPa is het hele concentratieverloop wordt bepaald door emissie in dampvorm.
- 2) Emissie in druppelvorm leidt tot relatief hoge concentraties actieve stof op korte afstand vanaf de boomgaard, deze concentraties leiden echter tot een beperkte blootstelingsduur. De emissie in dampvorm leidt in het algemeen tot lagere concentraties actieve stof in de omgeving van de boomgaard. Deze concentraties blijven echter langer op hetzelfde niveau.
- 3) De totale emissie van actieve stof uit een boomgaard is sterk afhankelijk van de dampdruk van de actieve stof. Uit berekeningen blijkt dat voor actieve stoffen met een dampdruk groter dan 10 mPa (vrijwel) de gehele toegediende dosis emitteert naar de lucht. In dat geval zijn de concentratieniveau's op korte afstand van de boomgaard ten gevolge van dampdrift groter dan de concentratieniveau's ten gevolge van druppeldrift.

Druppeldrift

- 1) Druppeldrift wordt in sterke mate bepaald door de druppelgrootte van de toedienings-techniek. Bij het snelspuiten zijn dan ook veel lagere concentraties actieve stof in de spuitwolk gemeten dan bij het nevelen.

- 2) De concentratie actieve stof ten gevolge van druppeldrift bedraagt in de spuitwolk gemiddeld ca. 0.1 mg/m^3 op 10 meter afstand vanaf de boomgaard. Deze concentratie kan echter variëren tussen $< 5 \cdot 10^{-5} \text{ mg/m}^3$ en 4.5 mg/m^3 ten gevolge van inhomogeniteit van de spuitwolk ten gevolge van lokale variaties in windrichting of windsnelheid.
- 3) De overkapping van het neveltoestel beperkt de emissie in druppelvorm voor de omstandigheden tijdens de metingen met ca. 10%.
- 4) De aanwezigheid van windsingels beperkt de concentratie actieve stof in druppelvorm met circa 50%. Het is echter niet uitgesloten dat direct achter de windsingel een verhoogde mate van depositie optreedt door de lage windsnelheid direct achter de windsingel.

Dampdrift

- 1) De concentraties nemen in de tijd vrij snel af; 2 uur nadat de toediening is gestopt zijn de gemeten concentraties in de boomgaard net boven de detectielimiet ($\pm 0.2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). Op dit niveau blijven de gemeten concentraties nog enkele uren. Uit literatuuronderzoek blijkt echter dat de emissie van een actieve stof gedurende langere tijd kan doorgaan (tot enkele maanden na een enkele toediening). Emissie treedt vooral ('s ochtends) onder vochtige omstandigheden op, in de loop van de dag neemt de emissie dan weer af tot niet meetbaar. Dit proces kan zich vele malen herhalen.
- 2) De invloed van de hoeveelheid blad aan de bomen op de emissie kan groot zijn. Voor captan is de emissie ongeveer een factor 4 groter indien er geen blad aan de bomen aanwezig is.
- 3) Uit de berekening van het concentratieverloop van actieve stof met het emissiemodel volgt een maximum concentratie en emissie. Voor een individuele verbinding **kan** de rekenmethode echter tot een overschatting van de werkelijke concentraties en emissie leiden.
- 4) Uit de berekeningen blijkt dat actieve stoffen met een dampdruk van 10 mPa (vrijwel) volledig kunnen emitteren naar de lucht. Waarbij (gedurende korte tijd) hoge concentraties actieve stof (tot enkele honderden $\mu\text{g/m}^3$) kunnen voorkomen tot ca. 100 meter afstand tot de boomgaard.

6. AANBEVELINGEN

Tijdens dit onderzoek is (net als in eerder uitgevoerd onderzoek) geconstateerd dat de gebruikte doseringen kunnen afwijken van de voorgeschreven dosering (de variatie in de dosering bedroeg voor zowel captan als fosalone bijna een factor twee). Deze afwijking wordt veroorzaakt doordat de concentraties actieve stof in de formuleringen niet constant zijn.

Om een beter idee te krijgen van wat er wordt verspoten verdient het aanbeveling voor de fabrikanten en de gebruikers om meer aandacht te besteden aan de gebruikte formuleringen.

De mate van druppeldrift is voor het boomgaardspuiten experimenteel vastgesteld in dit onderzoek. Het zou interessant zijn om deze gegevens te vergelijken met druppeldrift ten gevolge van veldspuiten, waarbij de spuithoogte en de gewasstructuur heel anders zijn dan bij het boomgaardspuiten.

De emissie naar de lucht van actieve stoffen met een dampdruk groter dan 1 mPa kan oplopen tot meer dan 20% van de toegepaste dosis. Actieve stoffen met een nog hogere dampdruk kunnen voor een nog groter gedeelte emitteren. Het verdient aanbeveling om hiermee bij de toelating van actieve stoffen rekening mee te houden.

Op basis van metingen is geschat dat van de verspoten hoeveelheid actieve stof circa 45% op het gewas terecht komt. Dit betekent dat 55% van de toegediende dosis niet op het blad terechtkomt maar direct op de bodem terechtkomt. Door een meer effectieve toedieningstechniek of recirculatie zoals bij de tunnelspuit kan het verbruik van actieve stof verder worden teruggebracht.

Om met meer zekerheid de emissie van een individuele verbinding te kunnen berekenen is kennis omtrent de processen die de interactie met bladoppervlak beïnvloeden noodzakelijk. Hiervoor zijn gerichte metingen noodzakelijk.

Uit het onderzoek blijkt dat experimentele gegevens noodzakelijk zijn om modelberekeningen te valideren. Het gebruik van niet door metingen gevalideerde modellen dient met grote zorgvuldigheid te geschieden en kan ook dan nog leiden tot resultaten die sterk afwijken van de werkelijke situatie.

7. LITERATUUR

- 1) J. Baas en C. Huygen.
Emissie van gewasbeschermingsmiddelen uit kassen naar de buitenlucht.
IMW-TNO rapport nr. R 92/304, 10 september 1992.
- 2) C. Huygen, J. A. Duiser en L. de Vries.
Emissie van bestrijdingsmiddelen naar lucht bij boomgaarbespuiting. Methoden voor het schatten van concentraties en deposities in de naaste omgeving.
MT-TNO rapport nr. R 86-225, November 1986.
- 3) A. D. van Vessem.
Emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar lucht bij bespuiting van laag gewas en spuiten in boomgaarden.
IMW-TNO rapport nr. R 91-384, 29 oktober 1992.
- 4) W. van Mullem en J. Kemperman.
Spuitechniek-gewasbescherming in de boomteelt.
DLV Boomteelt Z.O.N. November 1989
- 5) The pesticide manual (a world compendium).
The British Crop Protection Council, edited by C. R. Worthing en R. J. Hance, 9th Edition 1991.
- 6) The Merck Index.
An encyclopedia of chemicals, drugs and biologicals, 1983.
- 7) F. M. W. de Jong, E. van der Voet en K. J. Kanters.
The side-effects of airborne pesticides on fungi and vascular plants,.C.M.L.-rapport 74, januari 1992.
- 8) F. Pasquill, Atmospheric diffusion.
2^e druk, John Wiley & Sons, Chicester 1974.

- 9) L. F. Heidema.
MT-TNO rapport R 86/100, april 1986 niet openbaar.
- 10) Rapportage werkgroep beperking emissies.
Achtergronddocument Meerjarenplan Gewasbescherming 1991, Ministerie van L.N.V., Den Haag.
- 11) Meerjarenplan Gewasbescherming.
Sectorplan fruitgewassen, 1993.
- 12) C. Huygen, J. A. Duiser en L. de Vries.
Emissie van bestrijdingsmiddelen naar lucht bij bespuiting van laag gewas. Methoden voor het schatten van concentraties en deposities in de naaste omgeving.
MT-TNO rapport nr. R 86-227, November 1986.
- 13) Luchtverontreiniging en het weer.
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt, Staatsuitgeverij 's-Gravenhage (2^e druk), 1979.
- 14) K. S. Rao en H. F. Dnodgrass.
Analytical solutions of a gradient-transfer model for plume deposition and sedimentation
EPA-600/3-82-079 (NTIS acession number pb 82-215 153), U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C., November 1982.
- 15) Modellen voor de berekening van de verspreiding van luchtverontreiniging inclusief aanbevelingen voor de waarden van parameters in het lange termijn model.
Kleine Commissie Modellen TNO, Staatsuitgeverij 's Gravenhage, ISBN 90 12 012716, april 1976.
- 16) A.G. Berends.
Bestrijdingsmiddelen en oppervlaktewaterkwaliteit, DBW/RIZA, Lelystad, 1989.

- 17) K. S. Rao en H. F. Dnodgrass
PAL-DS model: The PAL-model including deposition and sedimentation – Users guide.
EPA-600/8-82-023 (NTIS accession number pb83-117 739), U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C., November 1982.
- 18) Parameters in het lange termijnmodel verspreiding luchtverontreiniging Nieuwe aanbevelingen.
Commissie onderzoek luchtverontreiniging TNO, SCMO-TNO, september 1984.
- 19) J. Baas en J.C.Th.
Hollander, Berekening van de emissie uit benedenwinds van een bron gemeten concentratieprofielen.
IMW-TNO rapport nr. IMW - R 93/028, December 1992.
- 20) Persoonlijke communicatie met dhr B. Heijne van het Proefstation voor de Fruitteelt.
- 21) M.S. Majewski, D.E. Glotfelty, K.T.P. U en J.N. Seiber.
A field comparison of several methods for measuring pesticide evaporation rates from soil.
Environ. Sci. Technol, 24, 1490-1497, 1990.
- 22) R. E. Lee.
Air pollution from pesticides and agricultural processes, CRC Press, 1976.
- 23) W. F. Spencer en M. M. Cliath.
Movement of pesticides from soil to the atmosphere, uit Long range transport of pesticides, D. A. Kurtz, pag 1-16, 1990.
- 24) R. G. Nash en B. D. Hill.
Modeling pesticide volatilization and soil decline under controlled conditions.
Uit Long range transport of pesticides, D. A. Kurtz, pag 17-28, 1990.

- 25) A. W. Taylor.
Post application volatilization of pesticides under field conditions.
Journal of the air pollution control association, vol. 28, no 9, pag. 922-927, 1978.
- 26) D.E. Glotfelty, A.W. Taylor, B.C. Turner en W.H. Zoller.
Volatilization of surface-applied pesticides from fallow soil.
J. Agric. Food Chem., vol 32, no 3, pag. 638-643, 1984.
- 27) S.A.C.M.
Walraven, Bepaling van captan en fosalone in lucht.
IMW-TNO rapport R 93/185a.
- 28) C.J. de Ruiter.
Deeltjesgrootteverdeling van initiële sprays van gewasbeschermingsmiddelen bij nevelen en snelspuiten in boomgaarden.
PML-TNO rapport nr. PML 1993/C122, 1993.
- 29) A.W. Taylor, D.E. Glotfelty, B.C. Turner, R.E. Silver, H.P. Freeman en A. Weiss.
Volatilization of dieldrin and Heptachlor residues from field vegetation.
J. Agric. Food Chem., vol 25, no 3, pag. 542-548, 1977.
- 30) W. Gückel, G. Synnatschke en K. Ritting.
A method for determining the volatility of active ingredients used in plant protection.
Pesticide Science 4, pag. 137-147, 1973.
- 31) W. Gückel, R. Kästel, J. Lewerenz en G. Synnatschke.
A method for determining the volatility of active ingredients used in plant protection III.
Pesticide Science 13, pag. 161-168, 1982.
- 32) W. J. Farmer, K. Igue, W. F. Spencer en J. P. Martin.
Volatility of organochloride insecticides from soil (I).
soil sci. soc. Amer. proc., 36 pag. 443-447, 1972.

-
- 33) W. F. Spencer en M. M.
Cliath Pesticide volatilization as related to water loss from soil.
J. Env. Qual., 2, pag. 284-289, 1973.
- 34) L. D. Clendening, W. A. Jury en F. F. Ernst.
A field mass balance study of pesticide volatilization, leaching, and persistence and soil decline under controlled conditions, uit Long range transport of pesticides.
D. A. Kurtz, pag 47-28, 1990
- 35) H.A.J. Porskamp, J.M.P.G. Michielsen, J.F.M. Huysmans.
Emissiebeperkende spuittechnieken voor de fruitteelt. Deel I: depositie en emissie van gewasbeschermingsmiddelen (1992).
DLO-IMAG rapport 1994.

BIJLAGEN

BIJLAGE 1 OVERZICHT MEETLOKATIE

BIJLAGE 2 MEETRESULTATEN EN UITVOERING METINGEN CAPTAN EN FOSALONE

BIJLAGE 3 METHODEVALIDATIE EN METINGEN SF₆

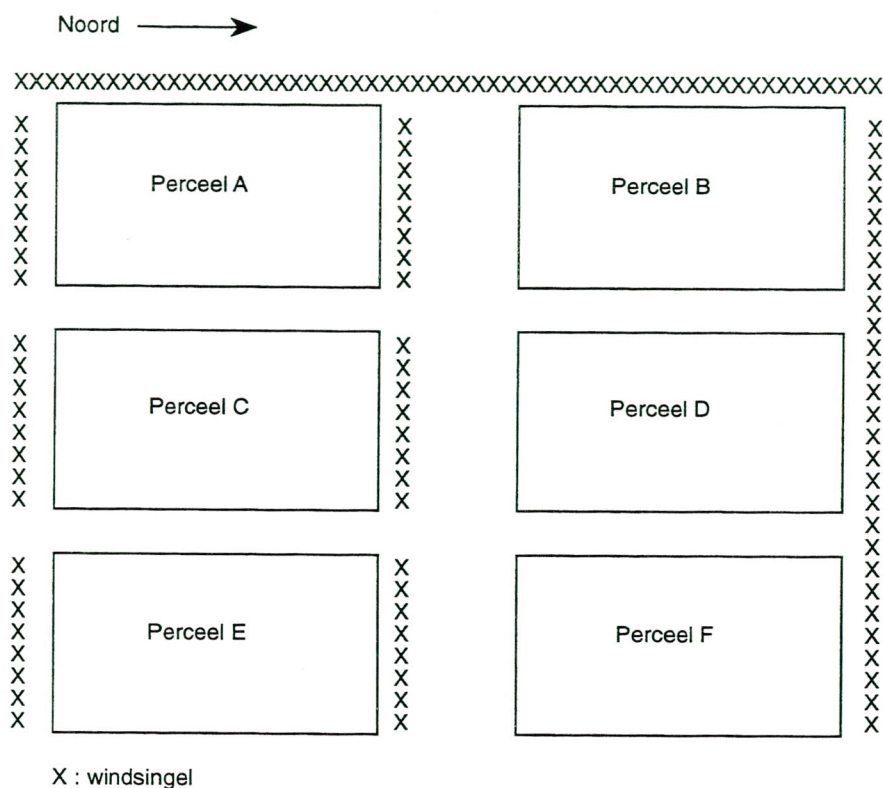
1. Methodevalidatie SF₆
2. Meetresultaten SF₆

BIJLAGE 4 EMISSIE EN CONCENTRATIEVERLOOP VAN ACTIEVE STOF MET DE AFSTAND TOT DE BOOMGAARD

1. Emissie in gasvorm
2. Emissie in druppelvorm
3. Literatuur

BIJLAGE 1 OVERZICHT MEETLOKATIE

In deze bijlage is een overzicht van de meetlokatie en een overzicht van de monsterpunten gegeven.



De beplanting van de bomen is op alle percelen noord-zuid.
Tussen de percelen zijn toegangspaden opengelaten.

De metingen zijn uitgevoerd na bespuiten van perceel F

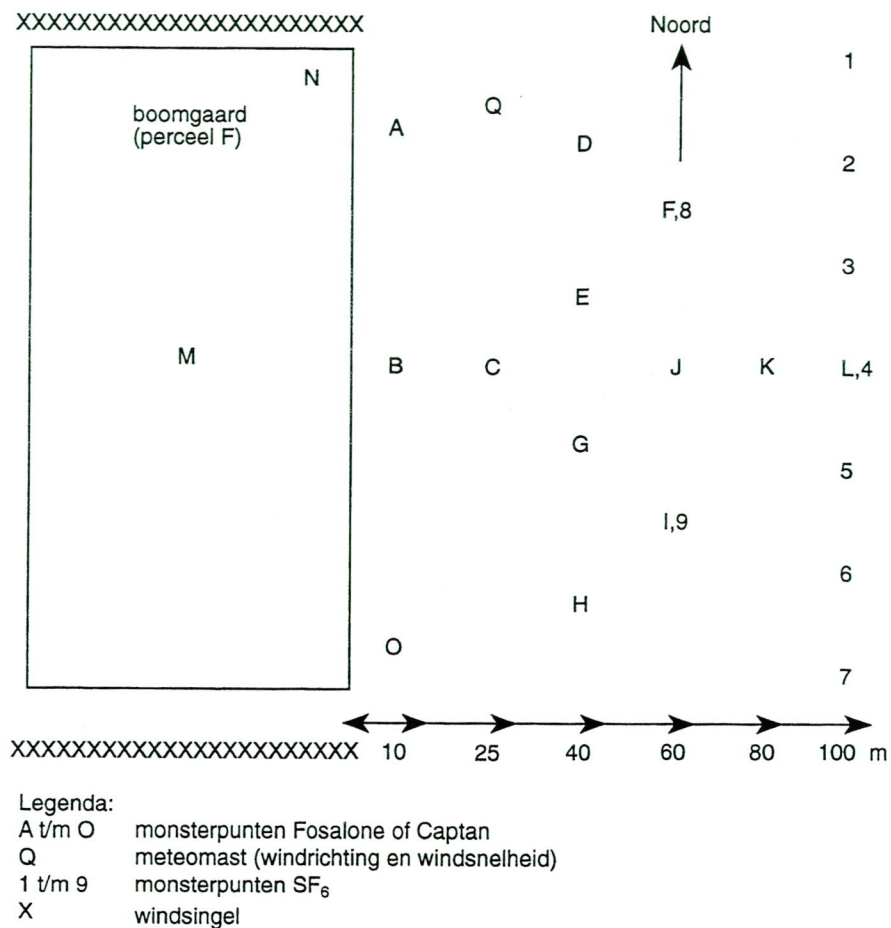
De afmetingen van de percelen zijn:

lengte : 149 m (noord-zuid)

breedte : 67 m (oost-west)

Perceel F wordt aan de oost-zijde begrensd door een smalle sloot, waarachter zich een groot terrein bevindt, waarop de metingen, zonder windsingels zijn uitgevoerd. Aan de noord-zijde is het perceel begrensd door een windsingel, waarachter een smalle sloot loopt. Daarachter is een stuk grasland, waarop de metingen zijn uitgevoerd met een windsingel.

Schematisch overzicht monsterpunten



N.B. Monsterpunt O is alleen gedurende de laatste vier meetcampagnes gebruikt. Indien het effect van de windsingel is gemeten is eenzelfde meetopstelling gebruikt, benedenwinds van een windsingel.

BIJLAGE 2 MEETRESULTATEN EN UITVOERINGH CAPTAN EN FOSALONE METINGEN

In deze bijlage wordt ingegaan op de uitvoering van de metingen van captan en fosalone zijn de gemeten concentraties weergegeven.

2.1 Gebruikte spuitapparatuur

De gebruikte nevel- en spuitapparatuur was van de firma Munckhof van het dwarsstroom-blaasmondtype. Voor het nevelen en het snelspuiten is dezelfde apparatuur gebruikt alleen uitgerust met andere spuitdoppen. Voor het nevelen werd de apparatuur uitgerust met spuitdoppen van het merk ALBUZ, type lila. Voor het snelspuiten werd de apparatuur uitgerust met doppen van het merk ALBUZ, type groen. Aan beide zijden van de apparatuur waren 8 spuitdoppen geplaatst.

De tunnelspuit was uitgerust met aan iedere zijde 5 doppen van het merk ALBUZ, type lila.

2.2 Uitvoering van de actieve stofmetingen

De concentratie actieve stof op de meetpunten is bepaald door gedurende een bekende periode (typische tijdsduur 1 uur) lucht met een bekend debiet (typisch debiet 5 l/min) te zuigen door een buisje gevuld met XAD. De buisjes zijn vervolgens meegenomen naar het laboratorium waar de hoeveelheid actieve stof aanwezig in het vangstmedium is bepaald (zie voor meer informatie ref. 27).

Foto's 4 en 5 De foto's 4 en 5 geven een overzicht van de monsterneming. Op foto 5 is in detail te zien hoe de monsternemers zijn bevestigd, tevens is op deze foto de cycloon te zien die werd gebruikt om de druppelfase van de dampfase te scheiden.

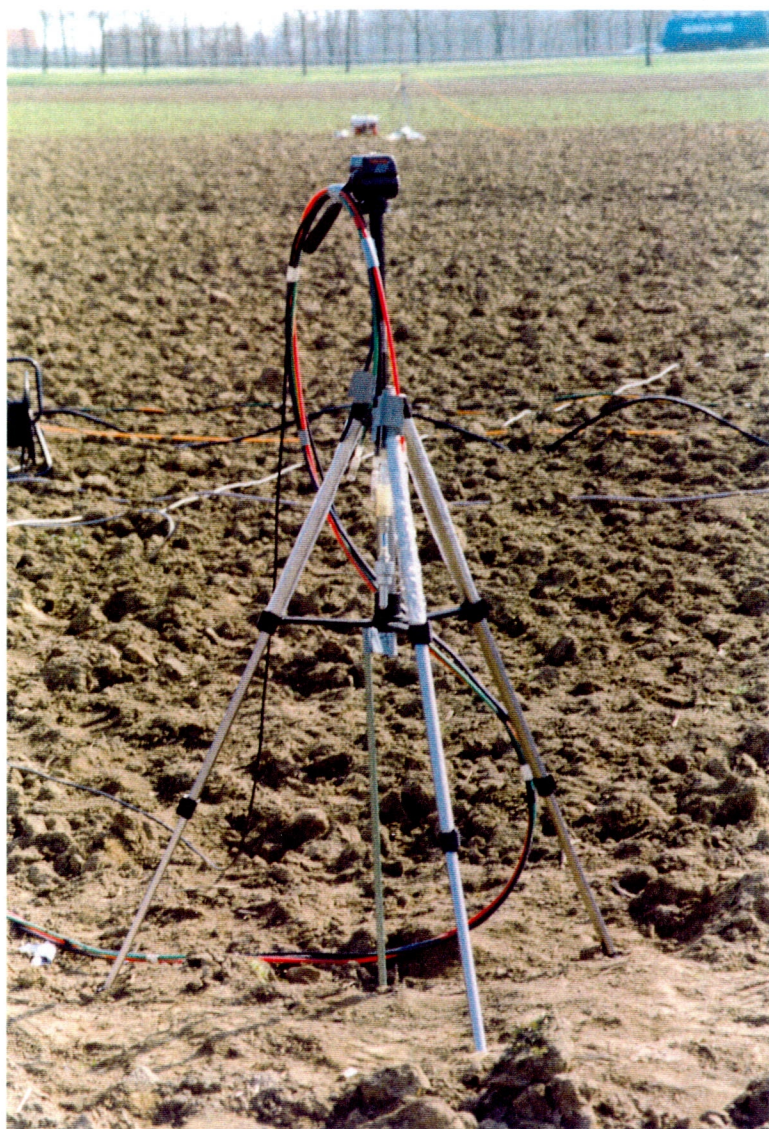


Foto 4

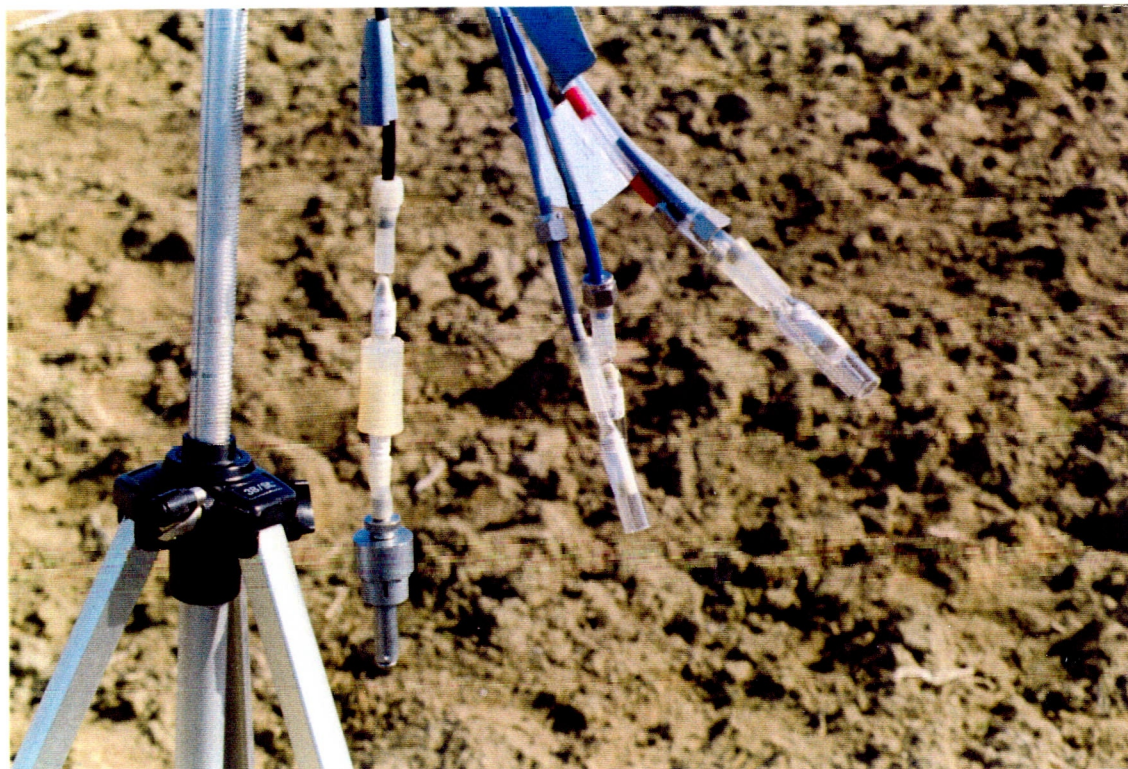


Foto 5

De monsterneming in het veld is uitgevoerd met computergestuurde meervoudige monsternemers.

Deze monsternemers bestaan uit een pomp met een aantal electromagnetische kleppen die in een kast zijn gemonteerd. De kleppen kunnen vanuit een computer worden geopend of gesloten. Met deze apparatuur is het mogelijk om de monsterneming vanuit een centraal punt te sturen zodat een volstrekt synchrone monsterneming op meerdere punten kan worden gerealiseerd.

De pompen, kleppen en computer werden van stroom voorzien met een aggregaat.

De monsters binnen de boomgaard en de monsters van de spuitnevel in de wolk zijn genomen met Personal Air Samplers (PAS-pompjes). Deze pompjes werken op batterijen zodat er voor deze monsters geen stroomvoorziening hoefde te worden aangelegd. Deze pompjes waren ingesteld op een debiet tussen 2 en 3 liter per minuut. Voor ieder monster in de boomgaard zijn de monsterbuisjes handmatig verwisseld zoveel mogelijk simultaan met de metingen in het veld.

2.3 Resultaten van de captan en fosalone metingen

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de toegediende hoeveelheden (op basis van monsters van de spuitoplossing). En in de tabellen 2 t/m 11 is een overzicht gegeven van de individueel gemeten concentraties per meetpunt.

Tabel 1 Overzicht van de aangemaakte- en resthoeveelheid spuitvloeistof en de toegediende hoeveelheden actieve stof

nr	aangemaakt (l)	concentratie (g/l)	resthoeveelheid (l)	concentratie (g/l)	verspoten hoeveelheid (g)
1	240	4.8	27	4.7	1025
2	240	3.1	26	2.3	684
3	1050	0.64	1	0.65	671
4	235	2.0	20	4.0	390
5	230	2.1	20	< 0.01	483
6	230	3.5	0	—	805
7	240	5.6	28	4.6	1168
8	230	3.0	16	5.5	601
9	140	6.0	16	2.9	793
10	1000	0.8	0	—	800

- Er is geen restvloeistof aanwezig na de toediening.

In de tabellen 2 tot en met 11 is de volgende codering van de monsters aangehouden:

Eerste digit : nummer van de meetcampagne

Tweede digit : nummer van de periode*

Derde digit : monsterpunt (zie bijlage 1)**

vierde digit : indien er binnen één periode meerdere monsters zijn genomen op één monsterpunt is een vierde digit gebruikt***

* De perioden zijn genummerd vanaf de toediening; de toediening is periode 1 de daaropvolgende uren krijgen een oplopend nummer.

** De loopmonsters hebben als derde digit een cijfer (3, 4 of 5). Nummer 3 is op een afstand van ca. 10 meter vanaf de boomgaard genomen, nr. 4 op ca. 25 meter en nr. 5 op ca. 40 meter.

*** Het gaat hierbij om de getallen 1, 2 en 3. Het getal 1 is een gewoon monster. Het getal 2 geeft aan dat een cycloon is gebruikt zodat alleen de gasfractie is bemonsterd. Het getal 3 geeft aan dat het monster alleen gedurende het passeren van de spuitwolk aan heeft gestaan.

N.B. Alle concentraties zijn gegeven in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabel 2 *Overzicht van de gemeten concentraties meetcampagne 1.*

monstercode	concentratie	monstercode	concentratie
11 A 1	5.6	12 A	0.41
11 A 2	2.0	12 B	0.87
11 A 3	250	12 C	1.3
11 B 1	10	12 D	0.45
11 B 2	2.3	12 E	0.47
11 B 3	2500	12 J	0.44
11 C 1	2.9	12 G	0.48
11 C 2	2.3	12 H	0.53
11 D	0.03	12 K	2.1
11 E	1.9	12 L	0.91
11 J	3.8		
11 G	3.2	11 M	50
11 H	3.1	12 M	28
11 K	2.7	12 N	15
11 L	1.1	12 M'	7.6
		12 N'	6.0
13 B	2.3	13 M	1.1
13 C	1.6	13 N	1.1
13 E	0.19	14 M	0.46
13 G	0.99	15 M	< 0.27
13 K	0.42	16 M	0.73

Tabel 3 *Overzicht van de gemeten concentraties meetcampagne 2.*

monstercode	concentratie	monstercode	concentratie
21 A 1	0.84	22 A	0.31
21 A 2	0.51	22 B	0.35
21 A 3	< 17	22 C	0.24
21 B 1	1.3	22 D	0.042
21 B 2	2.9	22 E	0.24
21 B 3	130	22 F	< 0.04
21 C 1	2.4	22 G	0.12
21 C 2	0.99	22 H	< 0.05
21 D	0.18	22 I	< 0.005
21 E	0.21	22 J	0.07
21 F	0.30	22 K	< 0.03
21 G	0.18	22 L	< 0.01
21 H	< 0.08		
21 I	1.3		
21 J	0.22	21 M	3.8
21 K	0.24	22 M	< 0.04
21 L	0.15	22 N	< 0.08
		23 M	< 0.03
23 B	0.093	23 N	< 0.07
23 C	0.20	24 M	< 0.01
23 E	< 0.04	25 M	< 0.10
23 G	0.072		
23 K	< 0.03		

Tabel 4 Overzicht van de gemeten concentraties meetcampagne 3.

monstercode	concentratie	monstercode	concentratie
31 A 1	1.2	32 A	0.31
31 A 2	0.52	32 B	0.35
31 A 3	< 0.05	32 C	0.24
31 B 1	1.4	32 D	0.042
31 B 2	0.60	32 E	0.24
31 B 3	3.9	32 F	< 0.04
31 C 1	0.83	32 G	0.12
31 C 2	0.69	32 H	< 0.05
31 D	< 0.055	32 I	< 0.005
31 E	0.29	32 J	0.07
31 F	0.18	32 K	< 0.03
31 G	0.66	32 L	< 0.01
31 H	0.50		
31 I	0.61	31 M	1.2
31 J	< 0.32	32 M	0.76
31 K	0.16	32 N	4.0
31 L	0.13	33 M	< 0.15
		33 N	< 0.11
33 B	0.17	34 M	< 0.11
33 C	0.22	35 M	< 0.12
33 E	< 0.088		
34 M	< 0.01	33 K	< 0.13
33 G	0.17		

Tabel 5 Overzicht van de gemeten concentraties meetcampagne 4.

monstercode	concentratie	monstercode	concentratie
41 A 1	3.3	42 A	< 0.13
41 A 2	0.99	42 B	0.21
41 A 3	< 75	42 C	< 0.17
41 B 1	2.4	42 D	< 0.036
41 B 2	1.0	42 E	< 0.001
41 B 3	< 60.0	42 F	< 0.013
41 C 1	2.1	42 G	< 0.024
41 C 2	< 0.41	42 H	< 0.043
41 D	0.79	42 I	< 0.001
41 E	0.87	42 J	< 0.001
41 F	0.61	42 K	< 0.011
41 G	0.61	42 L	< 0.001
41 H	0.41		
41 I	< 0.25	42 M	< 0.13
41 J	< 2.1	42 N	< 0.17
41 K	0.37	43 M	< 0.12
41 L	0.41	43 N	< 0.075
		44 M	< 0.10
43 B	< 0.047		
43 C	< 0.030		
43 E	0.098	43 K	< 0.075
44 M	< 0.011		
43 G	< 0.007		

Tabel 6 *Overzicht van de gemeten concentraties meetcampagne 5.*

monstercode	concentratie	monstercode	concentratie
51 A 1	2.8	52 A	0.20
51 A 2	0.56	52 B	0.24
51 B 1	3.1	52 C	0.15
51 B 2	0.74	52 D	0.040
51 C 1	2.6	52 E	0.061
51 C 2	0.42	52 F	0.036
51 D	0.85	52 G	0.081
51 E	1.3	52 H	0.043
51 F	0.81	52 I	0.056
51 G	1.8	52 J	0.060
51 H	1.1	52 K	0.057
51 I	1.2	52 L	< 0.034
51 J	0.91		
51 K	0.48	52 N	0.21
51 L	0.55	52 M	0.31
		53 N	2.5
53 B	0.16	53 M	0.21
53 C	0.10	54 M	0.11
53 E	0.046	55 M	0.19
53 G	0.063		
53 K	0.034		

Tabel 7 *Overzicht van de gemeten concentraties meetcampagne 6.*

monstercode	concentratie	monstercode	concentratie
61 A 1	3.2	62 A	0.19
61 A 2	0.72	62 B	0.092
61 A 3	60.0	62 C	0.062
61 B 1	2.3	62 D	0.058
61 B 2	1.0	62 E	0.082
61 B 3	105	62 F	0.049
61 C 1	1.0	62 G	0.035
61 C 2*	1.0	62 H	0.048
61 D	0.65	62 I	0.019
61 E	0.53	62 J	0.010
61 F	0.42	62 K	0.057
61 G	1.0	62 L	0.031
61 H	1.7		
61 I	0.48	62 M	0.20
61 J	4.5	62 N	0.50
61 K	0.73	63 M	0.25
61 L	0.71	63 N	0.38
		64 M	0.17
63 B	0.13	65 M	0.13
63 C	0.070		
63 E	0.072		
64 G	0.079		
63 K	0.064		

* monster genomen zonder cycloon

Tabel 8 *Overzicht van de gemeten concentraties meetcampagne 7.*

monstercode	concentratie	monstercode	concentratie
71 A 1	7.1	72 A	0.049
71 A 2	1.6	72 B	1.8
71 B 1	5.6	72 C	0.88
71 B 2	1.4	72 D	2.3
71 C 1	14	72 E	2.3
71 C 2	0.003	72 F	2.8
71 D	0.34	72 G	2.2
71 E	5.5	72 H	2.4
71 F	8.3	72 I	2.3
71 G	5.6	72 J	2.0
71 H	3.0	72 K	0.028
71 I	1.4	72 L	2.3
71 J	0.54		
71 K	0.27	72 N	2.8
71 L	1.3	72 M	0.34
		73 M	3.2
		74 M	0.26
		75 M	0.60
713	64		
714	29		
715	12		

Tabel 9 *Overzicht van de gemeten concentraties meetcampagne 8.*

monstercode	concentratie	monstercode	concentratie
81 A 1	24	82 A	0.24
81 A 2	1.7	82 B	0.46
81 A 3	4500	82 C	0.27
81 B 1	20	82 D	0.45
81 B 2	2.1	82 E	0.17
81 B 3	270	82 F	0.16
81 C 1	3.5	82 G	0.25
81 C 2	1.4	82 H	0.14
81 D	2.9	82 I	0.16
81 E	2.5	82 J	0.08
81 F	3.3	82 K	0.13
81 G	3.1	82 L	0.18
81 H	2.6		
81 I	3.0	82 M	1.2
81 J	1.9	82 N	2.1
81 K	1.7	83 M	0.76
81 L	1.3	84 M	-
81 O1	4.0	85 M	0.51
81 O2	33		
813	110		
814			
815			

Tabel 10 *Overzicht van de gemeten concentraties meetcampagne 9.*

monstercode	concentratie	monstercode	concentratie
91 A 1	5.6	92 A	0.18
91 A 2	0.50	92 B	0.25
91 A 3	150	92 C	0.11
91 B 1	4.1	92 D	0.063
91 B 2	0.38	92 E	0.077
91 B 3	120	92 F	0.068
91 C 1	0.71	92 G	0.091
91 C 2	0.40	92 H	0.055
91 D	0.40	92 I	0.053
91 E	0.58	92 J	0.042
91 F	0.93	92 K	0.067
91 G	0.94	92 L	0.042
91 H	0.49		
91 I	0.87	92 M	1.2
91 J	0.75	92 N	0.64
91 K	0.45	93 M	0.65
91 L	0.20	94 M	0.55
91 O1	2.0	95 M	0.64
91 O2	1.2		
913	82		
914	4.6		
915	21		

Tabel 11 *Overzicht van de gemeten concentraties meetcampagne 10.*

monstercode	concentratie	monstercode	concentratie
101 A 1	1.8	102 A	0.16
101 A 2	0.62	102 B	0.18
101 A 3	0.20	102 C	0.11
101 B 1	1.5	102 D	0.078
101 B 2	0.37	102 E	0.088
101 B 3	0.01	102 F	0.010
101 C 1	0.25	102 G	0.074
101 C 2	0.24	102 H	0.063
101 D	0.13	102 I	0.031
101 E	0.10	102 J	0.037
101 F	0.082	102 K	0.044
101 G	0.13	102 L	0.054
101 H	0.038		
101 I	0.044	102 M	0.42
101 J	0.056	102 N	1.4
101 K	0.11	103 M	0.74
101 L	0.061	104 M	0.55
101 O1	1.0	105 M	0.30
101 O2	13		
1013	76		
1014	1.6		
1015	2.1		

BIJLAGE 3 OVERZICHT METHODEVALIDATIE EN METINGEN SF₆

In bijlage 3.1 is beschreven hoe de methodevalidatie voor SF₆ is uitgevoerd. In bijlage 3.2 is een overzicht gegeven van de meetgegevens van SF₆.

1. METHODEVALIDATIE SF₆ METINGEN

1.1 Monsterneming en analyse van SF₆

De monsterneming van SF₆ vond plaats in specifiek voor het bemonsteren van gassen ontwikkelde monsterzakken met een aluminium coating. Het volume van de zakken bedraagt ca. 15 liter.

In het veld worden de zakken met een debiet van ca. 175 ml/minuut volgepompt. De tijd die de bemonstering in beslag neemt is dan vrij te kiezen zolang het totale volume niet groter wordt dan 15 liter. Typische monsternemingsduur tijdens de metingen was 30 minuten tijdens de toediening en daarna 60 minuten, zodat respectievelijk ca. 5 en ca. 10 liter lucht werd verzameld in de zakken.

1.2 Analysemethode

Gaschromatografie met detectie door middel van een elektronenvangst detector (ECD) is een geschikte methode voor de analyse van SF₆ in buitenlucht. De ECD is erg gevoelig voor SF₆ en de scheiding van SF₆ van andere componenten is relatief eenvoudig.

Het GC systeem, dat in dit onderzoek werd gebruikt is een systeem met backflush zodat de analytische kolom niet vervuild en de totale analysetijd kort kan blijven. Het systeem heeft de volgende specificaties:

GC en rekeneenheid

De gebruikte GC is van het type VARIAN 3300 en wordt aangestuurd vanuit een VARIAN 4400 integrator. De GC is verder uitgerust met een VICI 10 weg-kraan met bijbehorende besturingseenheid.

Kolommen

De pré-kolom heeft een lengte van 1.5 meter en is gepakt met Porapak Q. De analytische-kolom heeft een lengte van 2,5 meter en is gepakt met Hayesep S. Beide kolommen worden isotherm gebruikt bij een temperatuur van 115°C. De kolommen zijn gemaakt van 1/4 inch rvs leiding. Als carrier gas is stikstof gebruikt met een flow van 25 ml/min.

Detector

Als detector is een ECD gebruikt bij een temperatuur van 295°C, de make-up flow bedraagt 10 ml/min.

De retentietijd voor SF₆ met het GC-systeem in deze configuratie bedraagt 4.05 minuten. De bepalingsgrens bedraagt ca. 50 ng/m³ (het volume van de monsterlus bedraagt 2.8 ml).

1.3 IJking

Er is met een permeatiebuis als bron van SF₆ een serie ijkassen gemaakt. De ijkassen zijn d.m.v. een pomp in de gaszakken gebracht (conform de procedure die werd gevolgd in het veld). De pomp bleek geen invloed te hebben op de concentratie SF₆ in het monster. Vervolgens is het ijkgas geanalyseerd. De volgende resultaten werden verkregen (de relatieve vochtigheid van het ijkgas was ca. 60%).

Tabel 1 *Resultaten van de ijking.*

Concentratie (µg/m³)	Piekoppervlak (1E6 counts)
0	0.0
1.29	0.15
7.72	0.84
15.9	1.77
31.9	3.04
48.5	5.10
63.2	6.42
86.2	8.86

Uit een lineaire regressieanalyse volgt:

$$\text{Piekoppervlak} = 0.709 * [\text{SF}_6] - 0.02 \quad (R = 0,9994) \quad (\text{SF}_6 \text{ in } \mu\text{g}/\text{m}^3)$$

1.4 Stabiliteit van SF₆

Om de stabiliteit van het monster na de monsterneming tot de analyse te kunnen garanderen is de concentratie SF₆ in het monster gedurende langere tijd (1 week) gevolgd. Dit is gedaan door een monster met een concentratie van 3.6 µg/m³ SF₆ te volgen in de tijd. Uit de gegevens blijkt dat de SF₆ monsters gedurende minimaal 1 week stabiel zijn. Dit is ruim voldoende bij de uitvoering van de metingen.

2. RESULTATEN VAN DE METINGEN VAN SF₆

De werkwijze van de SF₆ metingen was als volgt. In het midden van de boomgaard is een cilinder SF₆ geplaatst met een reduceerventiel en een regelkraan waarmee het gas met een bekende bronsterkte SF₆ kon worden geloosd (de bronsterkte is bepaald door weging van de cilinder). Vervolgens is op 100 meter afstand een concentratieprofiel gemeten.

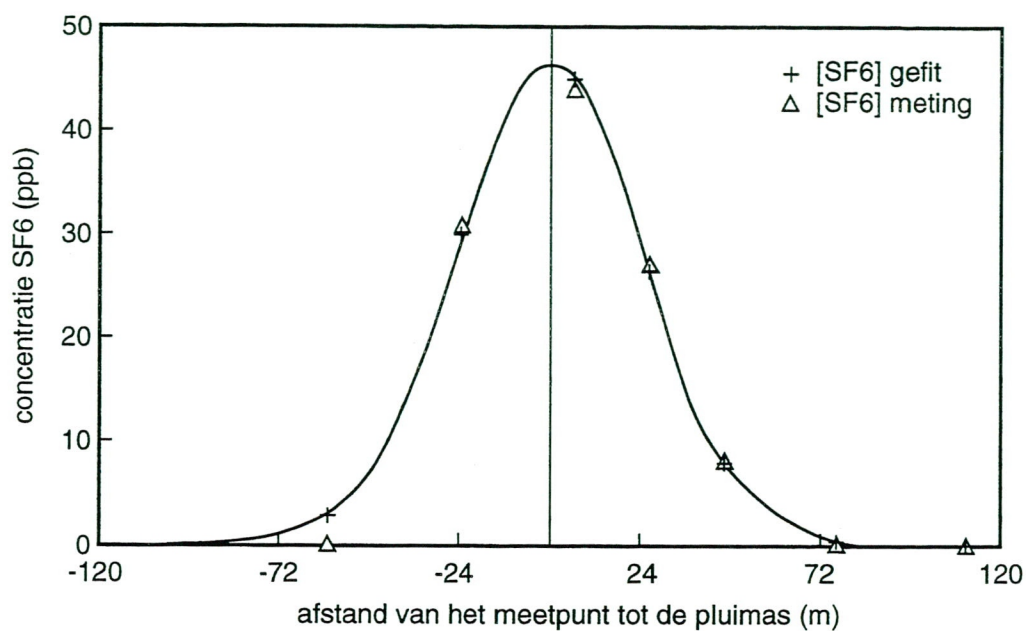
Voor de tracergasmetingen is een aparte stroomvoorziening aangelegd die centraal kan worden in- of uitgeschakeld. De tracergasmonsters zijn genomen in aluminium gecoate zakken (zie bijlage 3). Het monsternemingsdebiet lag in de buurt van 175 ml/min. en werd constant gehouden met kritische openingen.

De monstertijden liepen synchroon met de metingen van actieve stof. Na de metingen werden de monsters in duplo geanalyseerd in het laboratorium. De analyse vond plaats zonder verdere monstervoorbewerking.

Het gemeten concentratieprofiel is met een Gaussische verdeling gefit m.b.v. een standaardfitroutine uit de "IMSL-library". Uit de fit volgen:

- de ligging van het pluimmaximum,
- de concentratie in het pluimmaximum,
- de standaardafwijking van de Gausscurve.

Dit is in onderstaande figuur weergegeven:



Figuur 2 Voorbeeld van een gemeten concentratieprofiel dat via een Gaussische verdeling is gefit.

De ligging van het pluimmaximum is alleen van belang voor de gemiddelde windrichting gedurende een meting en is verder niet gebruikt. In tabel 2 is een overzicht gegeven van de verdere gegevens van de SF₆ metingen.

Tabel 2 Bronsterkte, σ_y en maximum concentratie voor SF_6 tijdens de verschillende meetcampagnes

meet-campagne	datum	periode (nr*)	Q (g/s)	σ_y (m)	c_{max} ($\mu g/m^3$)
1	19/3/1993	1	1.28	22.9	259
1	19/3/1993	2	1.28	25.2	265
2	27/5/1993	1	0.019	47.0	1.51
2	27/5/1993	2	0.019	—	—
3	28/5/1993	1	0.471	30.9	43.6
3	28/5/1993	2	0.471	33.0	50.7
4	29/5/1993	1	0.183	39.7	16.2
4	29/5/1993	2	0.183	44.0	12.8
5	11/6/1993	1	0.234	22.5	41.8
5	11/6/1993	2	0.234	27.8	43.6
6	17/6/1993	1	0.165	45.9	17.4
6	17/6/1993	2	0.165	38.1	21.8
7	9/11/1993	1	0.146	21.0	69.0
7	9/11/1993	2	0.146	19.3	93.8
8	11/11/1993	1	0.176	24.0	96.8
8	11/11/1993	2	0.176	21.0	65.9
9	11/11/1993	1	0.173	20.0	54.8
9	11/11/1993	2	0.173	19.1	68.2
10	12/11/1993	1	0.176	—	—
10	12/11/1993	2	0.176	—	—

- Er kon geen maximum worden bepaald, waardoor het gemeten profiel niet kon worden gefit.
 * Periode 1 is tijdens de toediening, periode twee is het eerste uur na toedienen.

BIJLAGE 4 EMISSIE EN CONCENTRATIEVERLOOP VAN ACTIEVE STOF MET DE AFSTAND TOT DE BOOMGAARD

In deze bijlage is beschreven hoe de emissie van actieve stof uit de boomgaard en het verloop van de concentratie actieve stof in de omgeving van de boomgaard is vastgesteld. Daarbij is ook een schatting gemaakt van de nauwkeurigheid waarmee de emissie en het concentratieverloop zijn vastgesteld.

In paragraaf 4.1 is beschreven hoe het verloop van de concentratie actieve stof met de afstand tot de boomgaard in gasvorm is vastgesteld. In paragraaf 4.2 is beschreven hoe het verloop van de concentratie actieve stof met de afstand tot de boomgaard in druppelvorm is vastgesteld.

1. CONCENTRATIEVERLOOP ACTIEVE STOF IN GASVORM

1.1 Wijze van bepaling

Het concentratieverloop van de actieve stof met toenemende afstand tot de boomgaard is bepaald op basis van een combinatie van metingen en berekeningen. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen twee situaties:

- 1) afstanden kleiner dan 100 meter vanaf de rand van de boomgaard
- 2) afstanden groter dan 100 meter vanaf de rand van de boomgaard

Deze scheiding is gemaakt omdat enerzijds alleen tegen zeer hoge kosten het concentratieverloop over grote afstanden kan worden vastgesteld door metingen. Anderzijds levert een berekening van het concentratieverloop vooral op korte afstanden vanaf de boomgaard een grote onzekerheid. Terwijl de concentraties op korte afstand van de boomgaard juist het hoogst zijn en dus potentieel het meeste gevaar opleveren.

Op afstanden tot 100 meter volgt het concentratieverloop direct uit de metingen (zie bijlage 1 voor de posities van de meetpunten). Op grotere afstanden volgt het concentratieverloop uit berekeningen met het Gaussisch pluimmodel. In de rest van deze paragraaf wordt wat dieper ingegaan op het Gaussisch pluimmodel zelf en de gebruikte rekenwijze voor het concentratieverloop.

1.2 Berekening van de bronsterkte met het Gaussisch pluimmodel

1.2.1 Het Gaussisch pluimmodel

Het verband tussen de bronsterkte en de concentratie actieve stof op grondniveau uit een puntbron wordt volgens het Gaussisch pluimmodel gegeven door vergelijking 1.

$$C(x,y) = \frac{Q}{\pi * u * \sigma_y * \sigma_z} * e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \quad (1)$$

Hierin is:

- $c(x,y)$ de concentratie op het receptorpunt met coördinaten x (afstand tot de bron) en y (verplaatsing t.o.v. de pluimas) (in g/m^3);
- Q de bronsterkte (in g/s);
- u de windsnelheid (in m/s);
- σ_y de horizontale dispersieparameter, loodrecht op de windrichting als functie van de afstand tot de bron (in m);
- σ_z de verticale dispersieparameter als functie van de afstand tot de bron (in m).

N.B. $c(x,y)$, u , σ_y en σ_z worden bepaald met dezelfde middelingstijd.

Vergelijking 1 vereenvoudigt tot vergelijking 2 bij de berekening van de maximum concentratie in de pluim (i.e. de concentratie in het hart van de pluim, $y = 0$):

$$C_{\max} = \frac{Q}{\pi * u * \sigma_y * \sigma_z} \quad (2)$$

Hierin is:

- $C_{\max}$ de concentratie in het hart van de pluim (in g/m^3).

Uit deze vergelijking volgt dat voor de berekening van de concentratie actieve stof op een bepaalde afstand tot de boomgaard de volgende parameters moeten worden gekwantificeerd:

- de windsnelheid
- de bronsterkte
- de dispersieparameters

1.2.2 Meteorologische metingen

De windsnelheid werd gemeten met een cup anemometer (meethoogte 3 meter). De windrichting is gemeten met een windvaan. De relatieve vochtigheid is gemeten met een Vaisala relatieve vochtigheidsmeter. De temperatuur is gemeten met een thermokoppel. De bewolkingsgraad is visueel bepaald.

Deze gegevens zijn tijdens de metingen geregistreerd met een datalogger (Grant, Squirrel-type 1209) en na afloop van de metingen verwerkt in het laboratorium. Deze metingen vonden iedere 15 seconden plaats.

1.2.3 Bepaling van de bronsterkte van de actieve stof

De bronsterkte van de actieve stof is bepaald op basis van de tracergasmetingen. Van het tracergas is de bronsterkte, de waarde van $c_{\max}$ en σ_y op ca. 100 meter afstand vanaf de bron bekend (zie tabel 2 uit bijlage 3). De windsnelheid volgt uit onafhankelijke metingen zodat de waarde van σ_z met behulp van vergelijking 2 kan worden berekend.

De verspreidingsparameters zijn dan bekend. Voor de berekening van de bronsterkte van actieve stof is de boomgaard beschouwd als een verzameling van puntbronnen (21 stuks) verspreid over de boomgaard met een gelijke bronsterkte.

Vervolgens wordt met vergelijking 1 voor iedere puntbron in de boomgaard de bijdrage aan de gemeten concentratie op 100 meter afstand vanaf de boomgaard in het hart van de pluim berekend. Daarbij wordt de bronsterkte zo gekozen dat de berekende concentratie overeenkomt met de gemeten concentratie. In tabel 1 zijn de bronsterkten weergegeven.

Tabel 1 Bronsterkte en emissie van actieve stof tijdens de metingen van actieve stof in gasvorm.

meetcampagne	periode	duur periode (min)	c100 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	bronsterkte (mg/s)	emissieperiode (g)
1	1	34	1.10	13	26
1	2	60	0.50	6.3	23
1	3	60	0.30	4.2	15
2	1	33	0.30	8.4	17
2	2	60	0.03	0.5	2
2	3	60	< 0.01	< 0.1	< 0.5
3	1	45	0.10	2.1	5.7
3	2	60	0.13	2.1	7.6
3	3	60	0.10	2.1	7.6
4	1	36	0.4	7.4	16
4	2	60	0.03	0.5	2
4	3	60	< 0.01	< 0.1	< 0.5
5	1	34	0.60	9.5	19
5	2	60	0.03	0.5	2
5	3	60	0.03	0.5	2
6	1	33	0.70	13	25
6	2	60	0.03	0.5	2
6	3	60	0.03	0.5	2
7	1	34	1.3	8.6	18
7	2	60	0.	.	.
7	3	60	0.	.	.
8	1	32	1.3	10	19
8	2	60	0.18	2.1	7.6
8	3	60	0.06	0.7	2
9	1	52	0.20	3.5	11
9	2	60	0.04	0.1	0.4
9	3	60	0.03	0.1	0.4
10	1	34	0.10	4.0	8.2
10	2	60	0.05	< 0.1	0.5
10	3	60	0.03	< 0.1	0.5

Op basis van deze tabel en de gedoseerde hoeveelheden is berekend welk deel van de toegepaste dosis emitteert. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 Totale emissie (in gasvorm) van actieve stof tijdens de metingen.

Datum	Emissie perioden 1 t/m 3		Emissie perioden 4 en 5		Verspoten hoeveelheid (g)	Emissie (%)
	(g)	(%)	(g)	(%)		
19/3/93	64	6.2	± 20 *	± 2	1025	8.2
27/5/93	19	2.9	< 0.5	< 0.1	654	2.9
28/5/93	21	3.1	< 0.5	< 0.1	671	3.1
29/5/93	18	4.6	< 0.5	< 0.1	391	4.6
11/6/93	23	4.8	± 1.0*	± 0.2	483	5.0
17/6/93	27	3.2	± 1.0	± 0.1	840	3.3
9/11/93	25**	2.1	± 2.0*	± 0.2	1168	2.3
11/11/93	29	4.8	± 3.0*	± 0.5	601	5.3
11/11/93	12	1.5	± 0.5	± 0.1	793	1.6
12/11/93	9	1.1	± 0.5	± 0.1	800	1.2

* Emissie is nog meetbaar na periode 5.

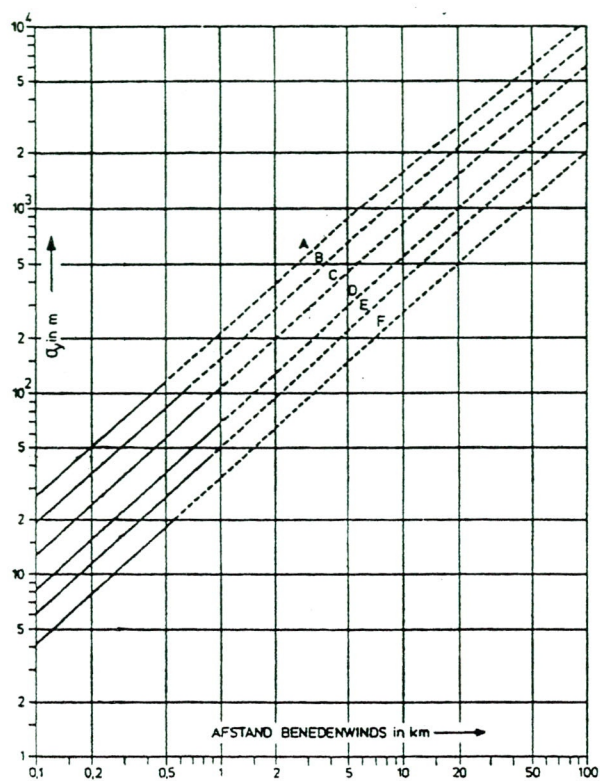
** schatting vanwege grote onzekerheid in periode 2.

1.2.3 Berekening van het concentratieverloop op grotere afstanden van de boomgaard

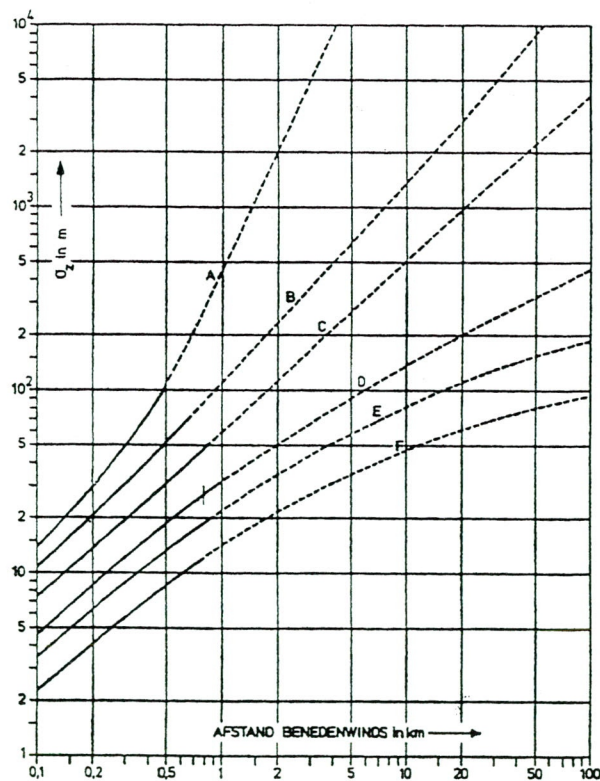
Het concentratieverloop op grotere afstanden van de boomgaard wordt berekend door de waarde van de dispersieparameters op grotere afstanden te schatten. De bronsterkte en de windsnelheid zijn inmiddels bekend zodat het concentratieverloop kan worden berekend.

De waarde van de dispersieparameters wordt geschat op basis van bestaande tabellen waarbij het verloop van σ_y en σ_z met de afstand wordt weergegeven (zie de figuren 3 en 4). Als bij één afstand (100 meter) de waarden van de dispersieparameters bekend zijn kunnen deze worden geëxtrapoleerd naar grotere afstanden op basis van deze tabellen.

Figuur 3 en 4 Dispersieparameters als functie van de afstand tot de bron en de stabiliteitsklasse van de atmosfeer.



Figuur 3



Figuur 4

1.3 Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid waarmee het concentratieverloop uit de metingen volgt (de eerste 100 meter) ligt in de grootte orde van 10%. De onzekerheid in een individuele analyse (inclusief opwerking) ligt beneden de 10%. Daar komt nog de onzekerheid in het doorgezogen volume per monster bij welke beneden de 5% ligt.

Op grotere afstanden speelt de onzekerheid waarmee de bronsterkte is berekend een grote rol. Om een idee te verkrijgen omtrent de nauwkeurigheid waarmee de modelberekeningen met het Gaussisch pluimmodel kunnen worden uitgevoerd is de bronsterkte van SF₆ berekend op basis van de op de punten 1 t/m 7 (zie bijlage 1) gemeten concentraties.

Bij deze berekening is de waarde van σ_y gebruikt voor de bepaling van σ_z . Er wordt op basis van figuur 3 gekeken bij welke stabiliteitsklasse de gemeten waarde van σ_y thuishoort. Vervolgens wordt de waarde van σ_z bepaald door bij dezelfde afstand en stabiliteitsklasse als van σ_y in figuur 4 te kijken.

In tabel 3 is een overzicht gegeven van de van belang zijnde parameters voor de berekeningen.

Tabel 3 Bronsterkte voor SF₆ tijdens de verschillende meetcampagnes.

nr.	datum	Q (g/s)	σ_y (m)	σ_z (m)	u (m/s)	cmax ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qber (g/s)	Qber/Q (%)
1	19/03/1993	1.28	22.9	12	4.4	259	0.98	77
1	19/03/1993	1.28	25.2	13	4.6	265	1.25	98
2	27/05/1993	0.019	47.0	25#	3.7	1.51	0.021	111
2	27/05/1993	0.019	—	—	—	—	—	—
3	28/05/1993	0.471	30.9	19	5.2	43.6	0.419	89
3	28/05/1993	0.471	33.0	20	5.0	50.7	0.527	112
4	29/05/1993	0.183	39.7	30	2.6	16.2	0.158	86
4	29/05/1993	0.183	44.0	33	2.6	12.8	0.153	84
5	11/06/1993	0.234	22.5	12	6.0	41.8	0.213	91
5	11/06/1993	0.234	27.8	14	4.9	43.6	0.261	112
6	17/06/1993	0.165	45.9	18#	3.8	17.4	0.172	104
6	17/06/1993	0.165	38.1	22#	2.8	21.8	0.161	98
7	09/11/1993	0.146	21.0	12	2.8	69.0	0.153	105
7	09/11/1993	0.146	19.3	10	2.0	93.8	0.114	78
8	11/11/1993	0.176	24.0	13	3.1	96.8	0.294	167
8	11/11/1993	0.176	21.0	12	3.3	65.9	0.172	98
9	11/11/1993	0.173	20.0	11	5.2	54.8	0.197	114
9	11/11/1993	0.173	19.1	10	4.6	68.2	0.187	108
10	12/11/1993	0.176	—	—	2.0	—	—	—
10	12/11/1993	0.176	—	—	2.4	—	—	—

Bij deze metingen was er een grote variatie in de windrichting, waardoor een kleinere waarde is gekozen voor σ_z dan op grond van de waarde van σ_y wordt verwacht.

Uit de resultaten blijkt dat de bronsterkte kan worden berekend uit een gemeten set concentraties met een onzekerheid kleiner dan 10%. De berekende bronsterkte bedroeg gemiddeld over alle metingen 98% van de door weging bepaalde bronsterkte. Hierbij is de eerste meting van periode 8 (167%) buiten beschouwing gelaten. De standaarddeviatie hierin bedraagt 12% zodat de berekende bronsterkte niet significant afwijkt van de door weging bepaalde bronsterkte. In een incidenteel geval is de onzekerheid in de berekende bronsterkte groter dan 30%.

Uit deze berekeningen kan worden geconcludeerd dat de onzekerheid in de berekende bronsterkte (of andersom in de berekende concentraties) gemiddeld niet groter is dan 10% en maximaal 40% bedraagt. Op grotere afstanden neemt de onzekerheid toe doordat de waarden van de dispersieparameters door de grote extrapolatie een grotere onzekerheid krijgen.

2. CONCENTRATIEVERLOOP ACTIEVE STOF IN DRUPPELVORM

2.1 Wijze van bepaling

Het verloop van de concentratie actieve stof in druppelvorm is moeilijk op eenvoudige wijze te beschrijven omdat hierbij een groot aantal processen een rol spelen. De belangrijkste processen die hierbij een rol spelen zijn:

- De windsnelheid, bij een hogere windsnelheid kunnen de druppels over een grotere afstand worden verspreid maar de verdunning is van de druppels is ook groter.
- De grootte van de druppels. Naarmate de druppels groter zijn is de valsnelheid van de druppels groter maar ook de levensduur van de druppels is groter. Beide effecten versterken elkaar zodat grote druppels over veel kortere afstanden kunnen worden verspreid dan kleinere druppels.
- De druppelgrootte neemt af in de tijd door verdamping van de druppels. Omdat de druppelgrootte afneemt neemt ook de valsnelheid af, waardoor de drift tijdens het transport van de druppels toeneemt.

Het concentratieverloop van actieve stof in druppelvorm kan worden berekend met een versie van het PAL-model waarin de bovenbeschreven processen worden berekend. In dit model zitten twee modules, de eerste module beschrijft hoe snel de druppels kleiner worden en wat hun valsnelheid is als functie van de afstand tot de boomgaard. De tweede module is het eigenlijke verspreidingsgedeelte op basis van het Gaussisch-pluimmodel dat de uitvoer van de eerste module gebruikt voor de berekening van de verspreiding van (de kleiner wordende) druppels.

De invoer voor de berekening van de druppelgrootte in de tijd bestaat uit:

- de meteorologische omstandigheden (temperatuur, windsnelheid, relatieve vochtigheid, stabiliteitsklasse van de atmosfeer)
- gegevens over samenstelling van de verspoten druppels (hoeveelheid opgeloste stof, oplosbaarheid, molecuulmassa, dichtheid, dampspanning)
- gegevens over de druppelgrootteverdeling van de verspoten druppels (druppelgrootte en standaarddeviatie).



De invoer voor de berekening van het concentratieverloop bestaat uit:

- bronhoogte
- bronsterkte
- windsnelheid
- stabiliteit van de atmosfeer
- ruwheidslengte van het terrein
- coördinaten van de receptorpunten

De invoer van het model is zo gekozen dat de gemeten concentraties zo goed mogelijk overeenkomen met de berekende concentraties. De berekeningen zijn gefit op de concentraties die zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4 Verloop van de maximum concentratie in druppelvorm en de windsnelheid tijdens de toediening.

Toedienings- techniek	Concentratie actieve stof in de spuitwolk op verschillende afstanden tot de boomgaard ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Windsnelheid (m/s)
	10 m	25 m	40 m	
spuiten	10	2	2	4
nevelen	110	65	25	5
nevelen *	65	30	10	3
tunnelspuit	80	50	20	6

* Met aanwezigheid van een windsingel

Uit de berekeningen volgden de in tabel 5 weergegeven bronsterkten voor de verschillende toedieningstechnieken.

Tabel 5 *Berekende bronsterkte voor de verschillende toedieningstechnieken voor de emissie in druppelvorm.*

Toedieningstechniek	Bronsterkte (mg/s)
snelspuiten	11
nevelen	130
nevelen (ws)	70
tunnelspuit	120

Het concentratieverloop bij andere windsnelheden dan tijdens de metingen is berekend met (afgezien van de windsnelheid) dezelfde invoergegevens als waarmee het concentratieverloop is gefit op de metingen. Naast het concentratieverloop volgt uit de berekeningen ook de depositie op verschillende afstanden tot de bron (als percentage van de verspoten hoeveelheid).

De berekeningen van het concentratieverloop zijn uitgevoerd voor drie toedieningstechnieken (waarbij bij het nevelen zowel de situatie met als zonder windsingel is berekend) en 3 windsnelheden. In tabel 6 zijn de berekende concentratieverlopen weergegeven en in tabel 7 zijn de berekende deposities weergegeven.

Tabel 6 *Berekend concentratieverloop in druppelvorm voor verschillende toedieningstechnieken en windsnelheden.*

Toedienings- techniek	Windsnelheid (m/s)	Concentratie actieve stof in druppelvorm op verschillende afstanden ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		10 m	25 m	40 m
snelspuiten	2	13	2	1
nevelen	2	190	41	18
nevelen (*)	2	85	20	10
tunnelspuit	2	170	35	15
snelspuiten	4	11	2	1
nevelen	4	140	32	14
nevelen (*)	4	65	15	7
tunnelspuit	4	125	30	13
snelspuiten	6	9	2	1
nevelen	6	95	21	10
nevelen (*)	6	50	10	5
tunnelspuit	6	85	20	10

* In aanwezigheid van een windsingel.

Tabel 7 *Berekende depositie van druppels op verschillende afstanden tot de boomgaard bij verschillende windsnelheden.*

Toedienings- techniek	Windsnelheid (m/s)	Depositie van actieve stof in druppelvorm op verschillende afstanden tot de boomgaard (percentage van de totale hoeveelheid die emitteert)				
		0 - 5	5 - 10	10 - 25	25 - 40	40 - 100
snelspuiten	2	54	14	8	4	4
nevelen	2	52	11	8	4	2
nevelen*	2	52	6	4	2	1
tunnelspuit	2	47	10	7	4	2
snelspuiten	4	36	17	13	8	10
nevelen	4	38	13	11	6	7
nevelen*	4	38	7	5	3	4
tunnelspuit	4	35	12	10	5	6
snelspuiten	6	27	15	13	9	13
nevelen	6	30	11	11	6	10
nevelen*	6	30	6	6	3	5
tunnelspuit	6	27	10	10	5	9

* Met aanwezigheid van een windsingel, de afstand van de rand van de boomgaard tot de windsingel bedraagt ca. 5 meter zodat de depositie van 0 tot 5 meter niet verschilt van de situatie zonder windsingel.

2.2 Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid waarmee deze berekeningen zijn uitgevoerd is lastig in te schatten. De nauwkeurigheid wordt vooral bepaald door de monsterneming (wel of niet goed in het hart van de pluim meelopen) en de verspreidingsberekeningen, die weer op de gemeten concentraties zijn gefit. De nauwkeurigheid van de concentratieberekeningen wordt geschat op ca. 50%.

3. LITERATUUR

- 1) Luchtverontreiniging en het weer.
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt, Staatsuitgeverij 's-Gravenhage (2^e druk), 1979.
- 2) J. Baas en J. C. Th. Hollander.
Berekening van de emissie uit benedenwinds van een bron gemeten concentratieprofielen.
IMW-TNO rapport nr. IMW-R 93/028, December 1992.
- 3) Modellen voor de berekening van de verspreiding van luchtverontreiniging inclusief aanbevelingen voor de waarden van parameters in het lange termijn model.
Kleine Commissie Modellen TNO, Staatsuitgeverij 's-Gravenhage, ISBN 90 12 012716, april 1976.
- 4) Parameters in het lange termijnmodel verspreiding luchtverontreiniging Nieuwe aanbevelingen.
Commissie onderzoek luchtverontreiniging TNO, SCMO-TNO, September 1984
- 5) Frequentieverdelingen van luchtverontreinigingsconcentraties. Een aanbeveling voor een rekenmethode.
Staatsuitgeverij 's-Gravenhage, ISBN 90 12 037107, Subcommissie luchtverontreiniging, SCMO-TNO Delft, augustus 1981.
- 6) C. Huygen.
Programma voor de berekening van uurlijkse concentraties met een korte termijn model afgeleid van het Nationaal Model (NATKT).
IMG-TNO, april 1983.
- 7) C. Huygen, J. A. Duiser en L. de Vries.
Emissie van bestrijdingsmiddelen naar lucht bij boomgaardbespuiting. Methoden voor het schatten van concentraties en deposities in de naaste omgeving.
MT-TNO rapport nr. R86-225, November 1986.

- 8) A. D. van Vessem.
Emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar lucht bij bespuiting van laag gewas en spuiten in boomgaarden.I
MW-TNO rapport nr. R 91-384, 29 oktober 1992.
- 9) The pesticide manual (a world compendium).
The British Crop Protection Council, edited by C. R. Worthing en R. J. Hance, 9th Edition 1991.
- 10) F. M. W. de Jong, E. van der Voet en K. J. Kanters.
The side-effects of airborne pesticides on fungi and vascular plants.
CML-rapport 74, januari 1992.
- 11) F. Pasquill.
Atmospheric diffusion.
2^e druk, John Wiley & Sons, Chicester 1974.
- 12) C. Huygen, J. A. Duiser en L. de Vries.
Emissie van bestrijdingsmiddelen naar lucht bij bespuiting van laag gewas. Methoden voor het schatten van concentraties en deposities in de naaste omgeving.
MT-TNO rapport nr. R 86/227, November 1986.