

R 91/111

**EMISSIES EN CONCENTRATIES VAN DCP
EN MITC IN DE AARDAPPEL- EN
BLOEMBOLLENTEELT**

Auteur : Drs. D.J. Bakker

Datum : 12 juni 1991

Opdrachtnr. : 50553

Opdrachtgever : Ministerie VROM-DGM
Dir. Stoffen en
Risicobeheersing

INHOUD

	SAMENVATTING	blz. 3
1.	INLEIDING	5
2.	LITERATUUROVERZICHT	7
	2.1 Recente IOB-rapporten	7
	2.1.1 Samenvatting van recente IOB-rapporten	7
	2.1.2 Evaluatie van recente IOB-rapporten	11
	2.2 Overige literatuur	13
	2.2.1 Algemeen	13
	2.2.2 Gedrag van DCP en MITC in de bodem	13
	2.2.3 Gedrag van pesticiden in het algemeen in de bodem	16
	2.3 Onzekerheden bij de bepaling van emissies uit de bodem	18
3.	MODELBEREKENINGEN VAN EMISSIESTERKTES	20
	3.1 Algemeen	20
	3.2 De referentiesituatie	21
	3.3 Dosering	24
	3.4 Organisch stofgehalte	24
	3.5 Vochtgehalte	25
	3.6 Bodemtemperatuur	26
	3.7 Afbraaksnelheid	27
	3.8 Berekeningswijze effectieve diffusiecoëfficiënt in de bodem	28
	3.9 "Reasonable worst case" situaties	29
	3.9.1 Algemeen	29
	3.9.2 Aardappelteelt	30
	3.9.3 Bloembollenteelt	31
	3.10 Conclusies	31
4.	MODELBEREKENINGEN VAN CONCENTRATIES DCP EN MITC IN DE LUCHT	34
	4.1 Algemeen	34
	4.2 Middelmatige meteorologische omstandigheden	35
	4.3 Ongunstige meteorologische omstandigheden	36
	4.4 Conclusies	37
5.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	38
	5.1 Conclusies	38
	5.2 Aanbevelingen	40
6.	LITERATUUR	42
	BIJLAGE A Resultaten van de gevoeligheidsanalyses	48
	BIJLAGE B Resultaten van de "reasonable worst case" berekeningen	51
	BIJLAGE C Figuren met het emissieverloop in de tijd	52
	BIJLAGE D Tabellen met de invoer en uitvoer van de verspreidingsberekeningen	59
	BIJLAGE E Figuren met de concentratie-afstand relaties	64

SAMENVATTING

Met als doel de onzekerheden in de emissies van grondontsmettingsmiddelen naar de lucht in de aardappelteelt en de bloembollenteelt te kwantificeren, is een literatuurstudie uitgevoerd naar de factoren die deze onzekerheden veroorzaken. Met deze factoren is de gevoeligheid van de emissie naar de lucht bepaald met behulp van modelberekeningen en tenslotte zijn berekende "reasonable worst case"-emissies met behulp van een verspreidingsmodel vertaald naar mogelijke concentraties in de lucht nabij ontsmette percelen.

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat de sterkte van de emissie uit de bodem naar de lucht van de grondontsmettingsmiddelen DCP en MITC (de laatste toegediend als metam-natrium) afhankelijk is van een aantal factoren. De belangrijkste factoren zijn de dosering, de afbraaksnelheid van de stof in de bodem, de mate van adsorptie aan bodemdeeltjes, de dampspanning van de stof in de bodem en de grootte van de effectieve diffusiecoëfficiënt van de stof in de bodem. Deze factoren zelf zijn weer afhankelijk van onder andere de bodemtemperatuur, de bodemtextuur, het organische stofgehalte, het vochtgehalte, de initiële concentratie van de stof in de bodem en het al of niet eerder ontsmet zijn van het perceel met hetzelfde middel.

Uit de gevoeligheidsanalyses met het bodemmodel CHEMTRIS blijkt dat:

- De dosering lineair doorwerkt in de emissiesterkte.
- Een (laag) organische stofgehalte van 1% kan leiden tot maximale daggemiddelde emissiesterktes die een factor 5 (MITC) tot 10 (DCP) hoger liggen dan bij een (hoog) organisch stofgehalte van 15%.
- Een bodemvochtgehalte van 25% resulteert in een 5 (DCP) tot 10 (MITC) maal hogere maximale daggemiddelde emissiesterkte dan een vochtgehalte van 35%.
- Een bodemtemperatuur van 15°C voor zowel DCP als MITC een 2 maal hogere maximale daggemiddelde emissiesterkte geeft dan een bodemtemperatuur van 5°C.
- Een halfwaardetijd voor afbraak van 5 dagen (snelle afbraak) resulteert in een 3 (DCP) tot 7 (MITC) maal lagere maximale daggemiddelde emissiesterkte dan een halfwaardetijd van 45 dagen.
- De emissieberekeningen gevoelig zijn voor de keuze van de wijze waarop de effectieve diffusiecoëfficiënt in de bodem berekend wordt. Onder de in de hier gepresenteerde berekeningen aangenomen condities leidde dit tot een variatie in de maximale daggemiddelde emissiesterkte met een factor 5 (DCP) tot 10 (MITC).

Met "reasonable worst case"-berekeningen voor de aardappelteelt wordt geschat dat de maximaal te verwachten daggemiddelde emissies van DCP (dosering 171 kg/ha) en MITC (dosering 86,6 kg/ha) respectievelijk 0,6 en 0,1 g/(m².dag) bedragen. Voor de bloembollenteelt is dit respectievelijk 5,7 g DCP/(m².dag) (dosering 570 kg/ha) en 0,5 g MITC/(m².dag) (dosering 216 kg/ha).

De met deze emissiesterktes uitgevoerde verspreidingsberekeningen resulteren in het ongunstigste geval (ongunstige meteorologie, bloembollenveld van 500 x 500 m) in daggemiddelde concentraties van ruim 2 mg DCP/m³ en ongeveer 0,2 mg MITC/m³ aan de rand van het ontsmette perceel. Deze concentraties kunnen ten gevolge van de onzekerheid in de effectieve diffusiecoëfficiënt een factor 5 (DCP) tot 10 (MITC) lager uitvallen. Ook moet men zich realiseren dat de aangenomen "reasonable worst case"-omstandigheden niet op grote schaal zullen voorkomen.

De met het verspreidingsmodel berekende concentraties zijn gebaseerd op de met het bodemmodel berekende maximale daggemiddelde emissiesterkte, zodat deze concentraties slechts aanwezig zijn zolang deze maximale emissiesterkte duurt.

1. INLEIDING

In opdracht van het Ministerie van VROM is onderzocht welke kennis op dit moment beschikbaar is op het gebied van de emissies naar de lucht bij chemische grondontsmetting met fumigantia in het open veld. Hiertoe is een literatuurstudie uitgevoerd waarin recente rapporten van het Instituut voor Onderzoek naar Bestrijdingmiddelen (IOB) een belangrijk aandeel vormden.

Uit de verzamelde gegevens zijn die factoren gelicht die in belangrijke mate de onzekerheden voor het beleid van het Ministerie van VROM ten aanzien van het gebruik van fumigantia bepalen. De invloed van genoemde factoren is door middel van gevoeligheidsanalyses gekwantificeerd. Daarnaast zijn enkele emissies berekend voor zodanige omstandigheden dat deze emissies als de maximaal te verwachten kunnen worden aangemerkt. Hierbij is getracht geen onredelijke aannamen te doen (zogenaamde "reasonable worst cases"). Vervolgens zijn met deze "reasonable worst case"-emissies verspreidingsberekeningen uitgevoerd om deze emissies te vertalen naar de maximaal te verwachten concentraties in de lucht. Tenslotte is aangegeven door welk aanvullend onderzoek de geconstateerde onzekerheden ten aanzien van de emissies verkleind zouden kunnen worden.

Gebruik van fumigantia is hoofdzakelijk gericht tegen aaltjes maar kan ook effect hebben op schimmels, insecten en onkruiden (Gewasbeschermingsgids, 1989). Ze worden meestal in vloeibare vorm op een diepte van 15 tot 20 cm (gemeten na afdichten van de grond) in de grond geïnjecteerd, waarna ze in dampvorm over gaan en zich door middel van diffusie door de grond verspreiden. Hierbij zal de concentratie van de stof in de bodem deels door afbraak en deels door emissie naar de lucht steeds lager worden. Onder natte omstandigheden kan ook uitspoeling naar diepere horizonten plaatsvinden.

De meest gebruikte fumigantia zijn dichloorpropeen en metam-natrium welke vooral in de aardappel- en bloembollenteelt gebruikt worden. Dichloorpropeen (DCP) wordt als $\pm 95\%$ zuivere stof ingebracht terwijl metam-natrium opgelost in water wordt toegediend (510 g/l) waarna de stof in de bodem via hydrolyse omgezet wordt in het werkzame (en vluchtige) methylisothiocyanaat (MITC).

De dosering van deze fumigantia is afhankelijk van de toepassing: In de aardappelteelt is de aanbevolen dosering van DCP 150 l/ha (95%) en van metam-natrium 300 l/ha (Gewasbescherming in de akkerbouw, 1989). In de bloembollenteelt is dat respectievelijk 240 l/ha en 600-750 l/ha (Gewasbescherming in bloembollen en bolbloemen, 1990).

Toepassing van fumigantia kan met verschillende werktuigen plaatsvinden zoals ploeginjecteurs, schaarinjecteurs en freesschaarinjecteurs. Een freesschaarinjecteur is de meest

geperfectioneerde machine voor grondontsmetting (Grondontsmetting in de landbouw, 1983). Hiermee wordt in één bewerking de toplaag door een frees verkruid, het ontsmettingsmiddel geïnjecteerd en wordt de grond geëgaliseerd en door een aangedreven rol afgedicht.

Van de recent ontwikkelde spinjecteur wordt verwacht dat uitspoeling van de hiermee in de grond gebrachte fumigantia weliswaar aanzienlijk minder zal zijn maar dat de totale emissie naar lucht net zo groot is als bij de schaarinjecteur (de Graaf, 1990). Bij versnelde omzetting of ongunstige verspreidingscondities (koude en vochtige grond) is het homogeen mengen van het middel door de bouwvoor met een spinjecteur theoretisch gunstiger (wat betreft de werking althans) dan het injecteren in een horizontaal vlak (Smelt, 1988).

2. LITERATUUROVERZICHT

2.1 Recente IOB-rapporten

2.1.1 Samenvatting van recente IOB-rapporten

In 1988 en 1989 zijn door het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen (IOB) een 8-tal rapporten geschreven over veld-, laboratorium- en modelexperimenten met de grondontsmettingsmiddelen dichloorpropeen (DCP) en methylisothiocyanaat (MITC) (van den Berg et al., 1988a,b,c,d,e en f) en (van den Berg en Leistra, 1989a en b).

Het betreft rapporten over :

- a. de bemonstering en analyse van DCP en MITC in de lucht (van den Berg et al., 1988a en b).
- b. de gemeten concentraties van DCP en MITC in de lucht nabij dorpen (van den Berg et al., 1988c en d).
- c. de gemeten concentraties van DCP en MITC in de lucht boven en rondom velden gedurende en na ontsmetting (van den Berg et al., 1988e en f).
- d. het gedrag van DCP en MITC in de bodem en de berekende emissie naar de lucht na toediening (van den Berg en Leistra, 1989a en b).

In de onder a. genoemde rapporten is beschreven op welke wijze de bemonstering en analyse van de in de veldonderzoeken (in de jaren '85, '86 en '87) genomen luchtmonsters heeft plaatsgevonden. Er worden 2 typen monsternemers beschreven: een draagbare bemonsteringspomp die gebruikt werd om op specifieke plaatsen op en rondom de behandelde velden lucht te bemonsteren en een automatische monsternemer die gebruikt werd om nabij dorpen lucht te bemonsteren. In beide gevallen werd het luchtmonster meestal op een hoogte van 1,5 m genomen, de monsternameduur was echter verschillend : 1 uur in het geval van de draagbare en meestal 6 uur in het geval van de automatische monsternemer. De gemonsterde lucht werd door koolbuisjes of buisjes met TENAX-TA geleid. Met TENAX was een lagere detectielimiet haalbaar dan met actieve kool maar dat adsorbent gaf zoveel problemen in het gebruik dat in het laatste jaar alleen nog actieve kool als adsorbent gebruikt werd.

De detectielimiet met koolbuisjes werd door verbetering van de analysemethode gedurende de 3 meetjaren voor MITC verlaagd van $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tot $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en voor DCP van $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tot $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Uit het onder b. genoemde rapport over gemeten MITC-gehalten in de lucht rondom dorpen in het noordoosten van Nederland blijkt dat 93% van de 6-uurs gemiddelde concentraties in de herfst van 1986 en 1987 variëren van $< 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tot $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wat dicht in de buurt van de detectielimiet ligt. Enkele 6-uurs gemiddelde concentraties lagen in het traject tussen 3,0 en $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, waarbij de hogere concentraties in enkele maar niet alle gevallen verklaard konden worden door ontsmettingen van nabije, bovenwinds gelegen velden. Een probleem bij het leggen van verbanden tussen de hogere concentraties in de lucht en ontsmettingen lag in het feit dat niet alle ontsmettingen gemeld werden en dat de datum van de wel gemelde ontsmettingen niet altijd bleek te kloppen.

In het geval van DCP bleek 62% van de 6-uurs gemiddelde concentratie beneden $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ te liggen, 25% tussen 2,5 en $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 8% tussen 5 en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en slechts 4% boven $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ook hier bleken niet alle hogere concentraties te verklaren met bovenwindse ontsmettingen.

De onder c. genoemde rapporten zijn, naast de onder d. genoemde rapporten, voor de beoordeling van de effecten van grondontsmetting met metam-natrium en dichloorpropeen op de luchtkwaliteit de meest belangrijke in de serie van de acht IOB-rapporten. In deze rapporten zijn luchtkwaliteitsmetingen beschreven die uitgevoerd zijn tijdens en vlak na grondontsmetting met genoemde stoffen.

De ontsmettingen werden uitgevoerd in de herfst van de jaren 1985, 1986 en 1987 op percelen die bestemd waren voor de aardappelteelt. De dosering van metam-natrium en dichloorpropeen was dan ook respectievelijk 300 l/ha (510 g/l) en 150 l/ha (95%) (zie hoofdstuk 1).

Omdat het velden betrof in een open landschap met weinig obstakels waardoor het windveld weinig verstoring kon ondervinden, leken de velden zeer geschikt om de genoemde metingen te verrichten zonder dat de evaluatie van de resultaten bemoeilijkt werd.

Meteorologische gegevens die tijdens de metingen werden verzameld betroffen:

- windrichting en windsnelheid , ter plaatse gemeten.
- luchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid, gemeten bij een nabij gelegen dorp of afkomstig van het KNMI-station te Eelde.
- dagelijkse en cumulatieve neerslag, gemeten op een nabij gelegen proefboerderij of afkomstig van het KNMI-station te Eelde.
- 1-uur gemiddelde waarde van de atmosferische stabiliteit (Pasquill) afkomstig van het KNMI-station te Eelde.

- bodemtemperatuur op 5 cm en 15 cm diepte, continue gemeten op de nabij gelegen proefboerderij of afkomstig van het KNMI te De Bilt.

Voor MITC bleek dat de hoogste gemeten 1-uur gemiddelde concentraties in de lucht voorkwamen tijdens applicatie van metam-natrium. Veel van deze hoge concentraties kwamen voor in de buurt van de plaats waar de tank gevuld werd en waar de loonwerker met het ontsmettingsvoertuig (freesschaarinjecteur) keerde. Op deze plaatsen worden namelijk de bladen van de injecteur uit de grond getrokken, waarbij metam-natrium direct op de bodem terecht komt.

Enkele uren na toediening van metam-natrium is de 1-uur gemiddelde concentratie bijna nergens hoger dan $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (met een uitzondering : $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Gedurende de eerste twee dagen na toediening kwam de 1-uur gemiddelde concentratie nergens boven $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Daarna werden geen hogere concentraties dan $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemeten en meestal was de 1-uur gemiddelde concentratie lager dan de detectielimiet van $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1987).

Hoewel uit de metingen duidelijk verschil blijkt tussen boven- en benedenwinds gelegen meetpunten is bijna nooit een relatie geconstateerd tussen de concentratie en de benedenwindse afstand van het veld. Voor een deel werd dit veroorzaakt doordat veel concentraties beneden de detectielimiet lagen. In enkele gevallen speelde de ontsmetting van naburige velden een storende rol.

Ook bij het gebruik van dichloorpropeen bleken de hoogste concentraties gemeten te worden nabij punten waar de loonwerker zijn voertuig keerde. In de dagen volgend op de ontsmetting leek de concentratie op de eerste dag relatief laag (maximaal $9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) maar op de tweede en derde dag lag de maximum concentratie respectievelijk op $33.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Echt consequente tijdsafhankelijke patronen konden niet geconstrueerd worden en ook was er lang niet altijd een relatie tussen concentratie en benedenwindse afstand aan te geven. Het ontbreken van deze relaties werd door de onderzoekers geweten aan variaties in windrichting en stabiliteit van de grenslaag.

In de onder d. genoemde rapporten worden incubatie-experimenten aan bodemmonsters uit nog niet ontsmette velden , concentratiemetingen aan bodemmonsters uit dezelfde, maar nu wel ontsmette, velden en modelexperimenten beschreven voor zowel MITC als DCP.

Voor MITC werden in het laboratorium halfwaarde-tijden (voor microbiële afbraak) gevonden van 2,7 (15°C) tot 19 (10°C) dagen voor monsters uit 4 verschillende onbehandelde velden. Bij monsters uit 2 velden werd na een bepaalde incubatietijd (resp. 4 en 18 dagen) een versnelde afbraak waargenomen die veroorzaakt zou kunnen zijn doordat bodemorganismen hun enzymen kunnen aanpassen.

Bij concentratiemetingen in bodemmonsters uit behandelde velden bleek de concentratie in de bovenste 10 cm van het bodemprofiel zeer laag en ook dieper dan 30 cm werd niet veel MITC aangetroffen. Deze monsters werden genomen na minimaal 2 dagen en maximaal 9 dagen na de ontsmetting.

Het percentage van de toegevoegde hoeveelheid dat na een bepaalde tijd nog in het profiel aanwezig was varieerde van veld tot veld :

- veld 86 I : 32% na 7 dagen
- veld 86 II : 37% na 5 dagen
- veld 87 I : 63% na 7 dagen
- veld 87 II : 45% na 9 dagen

Met behulp van een computermodel werd tenslotte de verspreiding van MITC in de bodem en de emissie uit de bodem berekend en de berekende concentraties werden vergeleken met de gemeten concentraties. Het model bleek een grotere verspreiding te berekenen dan uit de metingen naar voren kwam zowel naar het oppervlak als naar diepere bodemhorizonten. Hierdoor zou de berekende emissie naar de lucht overschat kunnen zijn. De berekende cumulatieve emissie na 3 weken varieerde voor de verschillende velden tussen 0,3% en 27% van de toegediende dosis. Als mogelijke oorzaak van de verschillen tussen gemeten en berekende concentraties werd het feit genoemd dat de afbraakcoëfficiënt verondersteld werd onafhankelijk te zijn van de concentratie, terwijl uit ander onderzoek zou blijken dat afbraak bij lage concentraties sneller verloopt dan bij hoge concentraties.

Voor DCP werden in het laboratorium halfwaardetijden (voor microbiële afbraak) gevonden die varieerden van ongeveer 10 tot 20 dagen (voor zowel z-(cis-) als e-(trans-)isomeer van DCP). In de berekening van deze halfwaardetijden is geen rekening gehouden met de geconstateerde versnelde afbraak. Deze versnelde afbraak trad op na 5, 11 of 14 dagen na toediening afhankelijk van het veld waaruit het monster genomen was.

Uit de concentratiemetingen bleek dat de DCP-concentratie (gemiddelde van z-en e-isomeer) in de bovenste 5 cm zeer laag bleef. De concentraties varieerden hier van 2 mg/kg

na 1 dag tot maximaal 22 mg/kg na 5 dagen. De hoogste gemeten concentraties kwamen voor in de laagjes tussen 10 en 20 cm diepte.

In veld 87 I was het van de dosering in de bovenste 35 cm van de bodem resterende percentage nog 24% na 10 dagen, in veld 87 II was dit 65% na 9 dagen (dit relatief hoge percentage werd geweten aan ruimtelijke heterogeniteit in de monsters).

Bij de modelberekeningen waren de berekende concentraties in de buurt van de injectie diepte duidelijk hoger dan de gemeten waarden. De berekende opwaartse fluxen waren dan ook kleiner dan uit de gemeten concentraties kon worden afgeleid. Het berekende resterende percentage bedroeg voor veld 87 I 44 % na 10 dagen, wat duidelijk hoger is dan het gemeten percentage. Voor veld 87 II bedroeg dit berekende percentage 66 % en komt dus dichtbij de gemeten (maar waarschijnlijk te hoge) waarde.

De maximale berekende emissiesterkte varieerde van veld tot veld beduidend. Door verschil in vluchtigheid van z- en e-isomeer was er ook een duidelijk verschil waarneembaar in hun respectievelijke emissiesterkte. De maximale emissiesterkte van de z-isomeer varieerde van 62 mg/(m².dag) na 11 dagen tot 183 mg/(m².dag) na 6 dagen. Voor de e-isomeer lag dat tussen 24 mg/(m².dag) na 18 dagen tot 95 mg/(m².dag) na 9 dagen.

Verskil in berekende emissiesterkte tussen de velden kon in de meeste gevallen worden verklaard met verschillen in effectieve diffusiecoëfficiënten. De berekende cumulatieve emissie na 3 weken als percentage van de toegediende dosis varieerde voor de z-isomeer van 9.5% tot 26% en voor de e-isomeer van 3.7% tot 15%.

2.1.2 Evaluatie van recente IOB-rapporten

Huygen en Duiser (1989) hebben al eerder een evaluatie gemaakt van de bruikbaarheid van de concentratiemetingen die beschreven zijn in V.d. Berg et al. (1988 e en f). Zij concluderen dat de verschillen tussen de concentraties gemeten aan de rand van het behandelde veld en die gemeten op grotere afstand van het veld te klein zijn om als referentie te dienen voor een model dat de afstandsafhankelijkheid van de concentratie berekend. Dit gold voor MITC nog sterker dan voor DCP. De berekende concentraties bleken in het algemeen hoger dan de gemeten waarden, maar het verschil was minder dan een orde van grootte. Zij concluderen dan ook dat rechtstreekse vergelijking van berekende en gemeten concentraties weinig zinvol is.

Bij de modelberekeningen van Huygen en Duiser (1989) is voor zowel DCP als MITC uitgegaan van een emissie gedurende de eerste dag van 5% van de toegevoegde dosering. Dit percentage is afgeleid uit een halfwaardetijd door afbraak voor MITC van 9 dagen en een totale halfwaardetijd (door afbraak en vervluchtiging) van 5,3 dagen, waarbij voor DCP,

vanwege de grote onzekerheden, is uitgegaan van dezelfde waarden. De hieruit berekende emissiesterkte bedroeg voor MITC 3,5 kg/(ha.dag) en voor DCP 9 kg/(ha.dag).

Uit de later door het IOB uitgevoerde incubatie-experimenten (V.d. Berg en Leistra, 1989a en b) blijken de halfwaardetijden door afbraak echter sterk te variëren. Voor MITC lagen de waarden tussen 2,7 dagen (15°C) en 19 dagen (10°C), voor DCP tussen 10 en 20 dagen. Bij beide middelen werd incidenteel een versnelde afbraak waargenomen na een bepaalde incubatietijd. Deze spreiding in halfwaardetijden door afbraak geeft al aan dat de hoeveelheid die door emissie uit het veld kan verdwijnen ook sterk kan variëren.

Modelberekeningen, beschreven in hetzelfde rapport (V.d. Berg en Leistra, 1989a en b) en waarin de per veld bepaalde halfwaardetijden en bodemfysische parameters zijn gebruikt, duiden er op dat de maximale emissiesterkte niet gedurende de eerste dag na behandeling op treedt en ook niet zo hoog is als in Huygen en Duiser (1988) is aangenomen. In het veld met de sterkste emissies (veld 86 II) blijkt de maximale emissiesterkte voor DCP (de som van e- en z-isomeer) pas op te treden na 7 dagen en ongeveer 2,6 kg/(ha.dag) te bedragen. Dit is aanzienlijk lager dan de 9 kg/(ha.dag) die Huygen en Duiser (1988) in hun verspreidingsberekeningen hebben gebruikt. De berekende maximale emissiesterkte van MITC trad op na 4 dagen en bedroeg ongeveer 2,5 kg/(ha.dag). Ook dit getal is (iets) lager dan dat gebruikt door Huygen en Duiser (1988).

Uit hun concentratiemetingen in bodemmonsters concluderen V.d. Berg en Leistra (1989a en b) dat, hoewel het aantal metingen te beperkt was om de modelberekeningen te valideren, het model de emissie van MITC lijkt te overschatten. Voor DCP waren de verschillen tussen gemeten en berekende concentraties niet eenduidig. In één veld leek de uit concentratiemetingen in de bodem bepaalde opwaartse beweging (en dus de emissie naar de lucht) groter dan de berekende, in een ander veld was dit verschil minder duidelijk.

Omdat in de modelberekeningen, naast gemeten parameters als afbraaksnelheid, porositeit en organisch stofgehalte, ook parameters zijn gebruikt waarvan de waarden uit de literatuur zijn betrokken, kunnen de modeluitkomsten afwijken van de werkelijkheid. Parameters die uit de literatuur zijn gehaald betreffen onder andere de coëfficiënten voor de verdeling van DCP en MITC over bodemlucht en bodemvocht en de verdeling over bodemvocht en bodem. In hoeverre de keuze van verdelingscoëfficiënten een overheersende rol heeft in het berekende emissiegedrag zal in hoofdstuk 3 aan de orde komen.

Vooralsnog echter lijken de resultaten van zowel de metingen als de modelberekeningen de conclusie van V.d. Berg en Leistra (1989) te rechtvaardigen dat de (zeer) hoge concentraties in de lucht tijdens de behandeling van het veld niet veroorzaakt kunnen worden door emissies uit de bodem. Ook het feit dat deze hoge concentraties vooral daar voorkomen

waar de injecteur uit de grond gelicht wordt om te keren, versterkt de mening dat hier sprake is van een causaal verband.

Omdat de concentratiemetingen in de lucht, door het ontbreken van een duidelijke relatie, niet terug te vertalen zijn naar emissiesterktes, kunnen ze niet gebruikt worden als controle op de in hoofdstuk 3 beschreven modelberekeningen van emissiesterktes.

2.2 Overige literatuur

2.2.1 Algemeen

Uit de literatuurrecherche is gebleken dat er naast het werk van het IOB op het gebied van grondontsmetting met metam-natrium en dichloorpropeen niet veel onderzoek gedaan is. Dit gebrek aan literatuurgegevens is vooral groot wanneer het specifiek gaat om de emissies naar de lucht bij het gebruik van deze twee middelen. Het onderzoek dat wel is uitgevoerd betreft vooral Nederlands onderzoek aan DCP.

Op een wat breder terrein is er vooral in de USA wel veel onderzoek gedaan naar het gedrag in de bodem en de vervluchtiging uit de bodem van andere (vaak minder vluchtige) pesticiden. En hoewel dit soort onderzoek niet direct bijdraagt aan de kennis over emissies van MITC en DCP zijn de resultaten ervan wel bruikbaar om een idee te krijgen van de factoren die een rol spelen bij het gedrag van pesticiden in de bodem.

2.2.2 Gedrag van DCP en MITC in de bodem

In Groen (1990) is een onderzoek beschreven naar het transport, de omzetting en de uitspoeling van enkele pesticiden in de bodem waaronder DCP. In het experiment werd 150 kg/ha geïnjecteerd op 20 cm diepte. Deze dosering is relatief laag voor de bloembollenteelt, waarvoor het onderzoek werd uitgevoerd. Eén dag na toediening werd nog 95% van de dosering teruggevonden in het profiel tot 90 cm. Hiervan bevond zich 99,7% in de bovenste 50 cm. Na 14 dagen was nog slechts 1% van de oorspronkelijke hoeveelheid over. De bodemtemperatuur op 40 cm diepte bedroeg in deze maand (september) gemiddeld 17°C en er viel gedurende de eerste 9 dagen na toediening geen neerslag. Het organische stofgehalte in de kalkrijke lemige zanden varieerde tussen 0,4% (30-50 cm) en 1,9% (0-30 cm). Aangezien er geen uitspoeling van betekenis optrad (minder dan 0,001% na 100 dagen) moet alle DCP door vervluchtiging en afbraak uit de bodem verdwenen zijn. Omdat de maximale concentraties in de bodem relatief laag waren zou volgens Groen (1990) afbraak

een belangrijk proces geweest kunnen zijn hoewel hij de hoge lucht- en bodemtemperatuur noemt als mogelijke factoren die vervluchtiging versnellen.

Kwantitatief maakt Groen (1990) geen onderscheid tussen afbraak en vervluchtiging.

In Groen en Winkels (1990) wordt een onderzoek op dezelfde proefvelden beschreven waarin echter vermeld staat dat na 1 dag nog slechts 71% van de dosering in het profiel tot 90 cm diepte aanwezig is. Hier wordt echter gesproken van een dosering van 150 l/ha wat overeenkomt met 171 kg/ha. In dit rapport wordt geschreven dat een groot deel van de verdwenen 29% waarschijnlijk door vervluchtiging ontweken is. Het feit dat na 15 dagen 99% van de dosering verdwenen is wordt echter weer aan (versnelde) afbraak geweten.

Niet duidelijk is of dit onderzoek hetzelfde is als dat van Groen (1990).

In Liem en de Groot (1984) wordt gerefereerd aan de resultaten van een onderzoek door studenten waarin met behulp van een eenvoudig computermodel berekend is dat van de geïnjecteerde 460 kg DCP/ha slechts 15% door vervluchtiging is ontweken na een periode van drie maanden. De emissiesterkte zou initieel 0,7 kg/(ha.dag) bedragen en zou in de loop van de 3 maanden afnemen tot 0,1-0,3 kg/(ha.dag).

Voor metam-natrium werd met hetzelfde model berekend dat in totaal slechts 0,1% door emissie naar de lucht zou ontwijken met een initiële emissiesterkte van 0,03 kg/(ha.dag). Wat hierbij de geïnjecteerde hoeveelheid geweest zou zijn wordt niet vermeld.

De berekende emissies lijken (vooral voor MITC) aan de lage kant vergeleken met in andere onderzoeken genoemde waarden.

Leistra (1972) bijvoorbeeld beschrijft het gedrag van DCP in een zandige bodem onder droge condities en bij 12°C als volgt : 75% van de dosering zal uit de bodem vervluchtigen, 10% zal naar diepere horizonten getransporteerd worden en 15% zal afgebroken worden. Onder nattere omstandigheden schat hij deze verdeling in dit bodemtype op respectievelijk 60%, 5% en 35%. Voor een zandige leem onder droge omstandigheden was zijn schatting respectievelijk 55%, 5% en 40% terwijl die onder nattere omstandigheden 20%, 1% en 80% bedroeg. Hij concludeert dan ook dat vervluchtiging en afbraak sterk afhangen van de veldomstandigheden.

In Leistra en Frissel (1974) worden met een model berekende vervluchtigingspercentages van DCP genoemd van 40% (zandige leem) tot 56% (humeus zand). De maximale emissiesterkte was hierbij in humeus zand 3,2 kg/(ha.dag) tussen de derde en de zesde dag en 4,2 kg/(ha.dag) in zandige leem gedurende de eerste drie dagen. Deze getallen zijn hoger dan de maximale emissiesterkte van 2,6 kg/(ha.dag) die in het recente IOB-rapport (v.d. Berg en Leistra, 1989b) berekend worden.

Siebering en Leistra (1979) concluderen in hun onderzoek dat schattingen van omzettingssnelheden van DCP en MITC alleen gemaakt kunnen worden voor specifieke combinaties van grondsoort en omstandigheden. Zij vonden dat de omzettingssnelheid van MITC in het algemeen iets hoger was dan die van DCP.

Naast veldomstandigheden lijkt ook de initiële concentratie een rol te kunnen spelen bij het gedrag van ontsmettingsmiddelen in de bodem. Van der Pas en Leistra (1987) vonden in hun (laboratorium)onderzoek dat DCP bij lage concentraties (12 mg/kg) sneller afgebroken werd dan bij hogere concentraties (62 mg/kg). Bij de lage concentraties lag de halfwaardetijd tussen 3 en 4 dagen terwijl dit bij de hoge concentraties 20 tot 30 dagen bedroeg.

Ook Smelt et al. (1989a) vonden een verhoging van halfwaardetijd van DCP bij verhoging van de initiële concentratie (van 4,3 dagen naar 36 dagen bij een verhoging van 3,7 tot 470 mg/kg). Zij kwamen tegelijkertijd tot de conclusie dat er verbazend grote verschillen bestaan tussen de omzettingssnelheden in percelen binnen een relatief klein gebied (zelfs op één boerderij) terwijl de vruchtwisseling en andere agrarische activiteiten vergelijkbaar waren.

Ook het feit dat een perceel eerder behandeld is met eenzelfde ontsmettingsmiddel lijkt invloed te kunnen hebben op de afbraaksnelheid. Zo komt uit het (incubatie)onderzoek van Smelt, Crum en Teunissen (1989) naar voren dat omzetting van MITC in bijna alle eerder behandelde velden veel sneller verloopt dan in nog nooit behandelde velden. In enkele gevallen was dit echter weer niet zo. De halfwaardetijden die zij vonden varieerden van 0,5 dag tot 50 dagen. Leistra en Smelt (1974) vonden halfwaardetijden voor MITC die variëren van 6,3 dagen (leem, 15°C) en 11,5 dagen (humeus zand, 15°C) tot 13,8 dagen (leem, 5°C). In de onderzoeken van Van der Pas en Leistra (1987), Smelt et al. (1989) en Smelt, Crum en Teunissen (1989) bleek het omzettingproces veelal geen eerste orde proces te zijn. In veel gevallen trad er na verloop van enkele dagen een versnelde afbraak op. Deze versnelde afbraak zou worden veroorzaakt door adaptatie van bodemorganismen.

Smelt et al. (1989b) onderzochten het gedrag van DCP in zware leemgronden. In deze veldexperimenten konden zij geen onderscheid maken tussen verdwijnen van DCP door vervluchtiging of door afbraak. Omdat echter uit een proef, waarbij het perceel met landbouwplastic werd afgedekt, bleek dat de totale afvoer van DCP nauwelijks kleiner was dan zonder afdekking, namen zij aan dat afbraak de hoofdoorzaak voor het verdwijnen was. De halfwaardetijden die zij vonden (emissie + afbraak) varieerden voor de (Z)-isomeer van 3 tot 4,5 dagen en voor de (E)-isomeer van 4 tot 10,5 dagen.

Veldonderzoek naar het effect van verschillende manieren van grondbehandeling op de effectiviteit van de ontsmetting is uitgevoerd door Smelt et al. (1974). Zij kwamen tot de conclusie dat voorbehandeling van de grond niet altijd tot betere resultaten leidde maar dat vooral een goede afwerking van het bodemoppervlak na de ontsmetting van belang was. Naast het dichtwalsen van de bodem noemen Buurveld, Dost en Van der Hoorn (1988) het uitrijden van drijfmest direct na de ontsmetting als mogelijkheid. Hiermee zou voorkomen worden dat teveel van het grondontsmettingsmiddel naar de lucht ontwijkt.

Uit onderzoek van Been en Schomaker (1987) blijkt overigens dat ontsmetting in zware kleigronden per definitie met problemen gepaard gaat. De structuur van deze gronden is hier het probleem (grote kluiten met kleine watergevulde poriën, waar fumiganten slechts langzaam naar binnen diffunderen maar waartussen de damp zeer snel naar het oppervlak kan ontsnappen).

Van Dijk (1974) beschrijft hoe ook afbraak afhankelijk is van de textuur van de bodem. Hij vond dat afbraak van DCP in kleihoudende gronden aanzienlijk sneller verliep dan in zandgronden.

2.2.3 Gedrag van pesticiden in het algemeen in de bodem

Het gedrag van pesticiden in de bodem wordt door verschillende factoren beïnvloed. Wanneer emissie uit de bodem vooral een diffusieproces is, zijn totaal poriëngehalte en vochtgehalte van belang omdat deze twee bepalen hoe groot het luchtgevulde poriënvolume is waarin de diffusie plaatsvindt.

Zo beschrijven Farmer, Igue en Spencer (1973) hoe vervluchtiging van dieldrin uit een bodemhorizont bepaald wordt door de bulkdichtheid (die samenhangt met het totaal poriëngehalte) van de er boven liggende bodemhorizont.

Vochtgehalte heeft naast een effect op het diffusieproces ook invloed op de mate van adsorptie van een pesticide aan de vaste fase van de bodem. Aangezien uit onderzoek is gebleken dat organische stoffen sterker adsorberen aan droge dan aan vochtige grond (Chiou en Shoup, 1985) kan het vochtgehalte in het bovenste laagje van de bodem bepalend zijn voor de mate van vervluchtiging.

Zo vonden Harper et al. (1976) dat vervluchtiging van het pesticide Trifluralin sterk afnam bij dalende vochtgehalten in de oppervlaktelaag ondanks hoge bodemtemperaturen en grote turbulentie in de aangrenzende luchtlaag. Glotfelty en Schomburg (1989) constateerden zelfs dat pesticidevervluchtiging in veel bodems tot stilstand komt wanneer het bodemoppervlak uitdroogt. Spencer en Cliath (1975) verklaren de grotere vervluchtiging uit een

natte bodem met een hogere dampspanning van het pesticide. Deze hogere dampspanning zou weer het gevolg zijn van verdringing van pesticidemoleculen door watermoleculen aan het oppervlak van de bodemdeeltjes.

Een andere manier waarop bodemvocht een rol kan spelen is door middel van verdamping. Spencer en Cliath (1973) constateerden dat er bij verdamping van water een opwaarts transport van water uit diepere lagen plaatsvindt met daarin het opgeloste pesticide. Hierdoor kon meer van het pesticide vervluchtigen dan door diffusie alleen. Het belang van dit massa-transport is afhankelijk van de verdeling van het pesticide over de gasfase en de waterfase. Voor een stof als lindaan kan dit aandeel oplopen tot 71% van de totale flux en zelfs voor een relatief slecht oplosbare stof als dieldrin tot 32% (Spencer en Cliath, 1973).

Een variabele die ook van invloed is op het gedrag van een pesticide in de bodem is de bodemtemperatuur. Naast de invloed op de omzettingssnelheid (van Dijk, 1974) wordt de vervluchtigingssnelheid sterk bepaald door de temperatuur via zijn effect op de dampspanning. Zo beschrijven Jury et al. (1987) dat de dampspanning van een organische stof met matig groot molecuulgewicht drie tot vier maal groter wordt bij elke temperatuurstijging van 10°C.

Als laatste kan de rol van de aan de bodem grenzende luchtlaag genoemd worden bij het emissieproces uit de bodem.

Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat het diffusieve transport door deze grenslaag trager kan verlopen dan het diffusieve transport in de bodem. Dit kan vooral een rol spelen bij (zeer) vluchtige stoffen. Bepalend voor de weerstand in de atmosferische grenslaag zijn onder andere de windsnelheid, de ruwheid van het terrein en de warmtebalans van de bodem.

Mayer, Letey en Farmer (1974) constateerden bijvoorbeeld dat een stilstaande luchtlaag de vervluchtiging van lindaan sterk beperkte. Glotfelty en Schomburg (1989) beschrijven een emissie die afhankelijk is van het aantal uren daglicht dat verstreken is. Deze relatie wordt verklaard met het feit dat vervluchtiging sterk afhankelijk is van de instraling van warmte met hoge emissies rond het middaguur en slechts kleine emissies in de nacht.

Wheatly (1973) beschrijft hoe massastroming van lucht in de bodem emissies van pesticiden kan versterken. Deze massastroming kan veroorzaakt worden door het uitzetten en krimpen van de bodemlucht in de bovenste paar centimeter wat op zijn beurt het gevolg is van dag/nacht temperatuurverschillen.

Van mogelijk groter belang acht Wheatly (1973) echter massastroming die veroorzaakt wordt door kleine drukgradiënten ten gevolge van luchtstroming over het onregelmatige bodemoppervlak en door meer algemene atmosferische turbulentie. Deze massastroming zou dan sterk afhankelijk zijn van textuur en porositeit van de bovenste bodemlagen.

Kimball en Lemon (1971) concluderen daarentegen uit laboratoriumexperimenten met heptaan dat luchtturbulentie alleen merkbare invloed heeft op vervluchtiging uit zeer grove poreuze materialen. Bij de porositeit zoals die in bodemmateriaal van landbouwgronden voorkomt zou diffusie de hoofdrol spelen.

2.3 Onzekerheden bij de bepaling van emissies uit de bodem

Uit het in de voorgaande paragrafen samengevatte literatuuronderzoek kunnen een groot aantal factoren gedestilleerd worden die van invloed (kunnen) zijn op de mate van emissie van DCP en MITC na ontsmetting van een perceel met respectievelijk DCP en metam-natrium.

Bij het schatten van deze emissies moet dus ook rekening worden gehouden met deze factoren. Hieronder zijn genoemde factoren nog eens op een rijtje gezet.

- grote variatie in de omzettingssnelheid die (mogelijk) samenhangt met :
 - de bodemtemperatuur
 - de bodemtextuur
 - het organisch stofgehalte
 - het vochtgehalte
 - het al of niet eerder ontsmet zijn met hetzelfde middel
 - de initiële concentratie

- variatie in de mate van adsorptie die (mogelijk) samenhangt met :
 - het organisch stofgehalte
 - het vochtgehalte
 - de bodemtemperatuur

- variatie in dampspanning die (mogelijk) samenhangt met :
 - de bodemtemperatuur
 - het vochtgehalte

- variatie in de effectieve diffusiecoëfficiënt die samenhangt met :
 - het totale poriëngehalte
 - het vochtgehalte
 - de bodemtemperatuur
 - de poriënverdeling (heterogeniteit, scheuren, kluiten etc.)

Uit bovenstaande opsomming blijkt dat de bodemtemperatuur, het vochtgehalte en het organische stofgehalte op meer dan één wijze invloed hebben op de het emissiegedrag van DCP en MITC. De invloed van deze factoren is dan ook met behulp van modelberekeningen in hoofdstuk 3 nader bekeken.

3. MODELBEREKENINGEN VAN EMISSIESTERKTES

3.1 Algemeen

Met een door TNO ontwikkeld computermodel voor simulatie van het transport van vluchtige stoffen in de bodem (CHEMTRIS) (Appels en Bakker, 1991) zijn berekeningen uitgevoerd om het emissieverloop van DCP en MITC in de tijd na injectie te schatten. Bij alle berekeningen is aangenomen dat de concentratie in de lucht boven het perceel als gevolg van de wind voortdurend verwaarloosbaar laag blijft waardoor de concentratiegradiënt tussen de bodemlucht en de atmosfeer (en daarmee de emissie) maximaal blijft. Met het bodemmodel is het gedrag van DCP (geen onderscheid tussen z- en e-isomeer) en MITC in de bovenste 50 cm van de bodem bekeken, waarbij deze 50 cm werd onderverdeeld in laagjes van 2,5 cm met gelijke bodemeigenschappen. De geïnjecteerde stof werd verondersteld initieel alleen aanwezig te zijn in het laagje van 17,5 tot 20 cm en van daar uit te diffunderen naar de omliggende laagjes. In het bodemmodel kan de stof zich verdelen over de gasfase, de opgeloste fase en de geadsorbeerde fase. Aangezien fumigantia zeer vluchtig zijn, is alleen transport door diffusie in de gasfase beschouwd en is aangenomen dat transport door waterstroming en door massastroming van bodemlucht te verwaarlozen is.

In eerste instantie zijn met een aantal parameters die van invloed zijn op het gedrag van het ontsmettingsmiddel in de bodem gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Voor deze gevoeligheidsanalyses is eerst een referentiesituatie gedefinieerd en met de hieruit berekende emissie zijn vervolgens de overige berekende emissies vergeleken. Voor het definiëren van de referentiesituatie is gekeken welke spreiding de waarden van de van invloed zijnde parameters vertonen en binnen dit traject is een "gemiddelde" waarde genomen.

De parameters waarmee vervolgens de gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd zijn de dosering, het organisch stofgehalte, het vochtgehalte, de bodemtemperatuur, de afbraaksnelheid, en de effectieve diffusiecoëfficiënt.

Bij de modelberekeningen moet aangetekend worden dat de bodem hierin als een homogeen poreus medium wordt beschouwd, waarin geen scheuren voorkomen waardoor "bypass flow" optreedt. Dit betekent dat de modelberekeningen niet geschikt zijn voor bodems met een sterke structuurontwikkeling (kluiten), omdat diffusie in deze (meestal zwaardere) gronden nauwelijks via de poriën in de kluiten maar hoofdzakelijk via de scheuren tussen de kluiten verloopt. Uit deze gronden zullen fumigantia dus sneller en sterker emitteren. Berekeningen, zoals in dit rapport beschreven worden, zullen de werkelijke emissies uit

zo'n type bodem door de impliciete aanname van een homogene poriënverdeling onderschatten. Dit probleem zou misschien zijn op te lossen door de ontwikkeling van een 2-dimensionaal diffusiemodel, waarin onderscheid wordt gemaakt tussen diffusie door scheuren en diffusie door kluiten, ieder met zijn eigen effectieve diffusiecoëfficiënt.

Een andere aanname in de berekeningen die niet altijd geldig hoeft te zijn is dat de adsorptie aan organische stof instantaan en volledig reversibel is. Wanneer de adsorptie in werkelijkheid niet instantaan is maar enige tijd vergt, zullen de berekende emissies lager zijn dan de werkelijke.

3.2 De referentiesituatie

Voor de referentiesituatie is uitgegaan van een bodem met een porositeit van 50%, welke waarde in de bouwvoor van een akkerland veel voorkomt.

Het organisch stofgehalte in de bouwvoor van akkerland varieert globaal tussen 1 en 15% en voor de referentiebodem is een tussenliggend gehalte van 8% aangenomen. Uit de porositeit en het organisch stofgehalte is vervolgens een bulkdichtheid van de bodem berekend van 1282 kg/m^3 , onder de aanname dat het soortelijk gewicht van de minerale bestanddelen 2660 kg/m^3 en van de organische bestanddelen 1470 kg/m^3 bedraagt (Van den Berg en Leistra, 1989a).

Voor het vochtgehalte θ van de referentiebodem is tamelijk arbitrair een waarde van 0,3 gekozen (30% vocht). In werkelijkheid kan het vochtgehalte variëren van enkele procenten tot bijna verzadiging (alle poriën met vocht gevuld). Welk vochtgehalte gemiddeld in de bouwvoor voorkomt is sterk afhankelijk van het bodemtype (zand, klei, veen etc.) en de grondwaterstand, zodat het moeilijk is om met één vochtgehalte een referentiesituatie te definiëren. Een waarde van 0,3 is echter voor de meeste bodemtypen realistisch.

De temperatuur in de bouwvoor varieert gemiddeld tussen 5 en 15°C, voor de referentiesituatie is de tussenliggende waarde van 10°C gekozen. Deze temperatuur is bij de berekeningen van invloed op de diffusiecoëfficiënt en op de verdelingscoëfficiënt gasfase/waterfase. Om de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyses niet te moeilijk interpreterbaar te maken is de afbraaksnelheid van DCP en MITC in de berekeningen niet temperatuurafhankelijk genomen.

Voor de referentiesituatie is uitgegaan van een dosering die overeenkomt met de aanbevolen hoeveelheid voor de aardappelteelt (Gewasbescherming in de akkerbouw, 1989). Deze bedraagt voor DCP 150 l/ha, wat overeenkomt met 171 kg actieve stof per hectare (95% zuiverheid en een soortelijk gewicht van 1,2 kg/l) en voor metam-natrium 300 l/ha, wat overeenkomt met 153 kg/ha (510 g/l).

De dosering van metam-natrium is vervolgens omgerekend naar een dosering van MITC van 86,6 kg/ha. Hierbij is er van uitgegaan dat metam-natrium direct na injectie volledig omgezet wordt in MITC. Dit is weliswaar niet geheel correct, maar omdat de omzettingssnelheid van metam-natrium zeer hoog is ten opzichte van de transportsnelheid in de bodem en de afbraaksnelheid van MITC (binnen 0,25 tot 1 dag is alle metam-natrium omgezet) wordt hiermee een relatief kleine fout gemaakt.

Voor zowel DCP (Leistra, 1972) als MITC (Smelt, Crum en Teunissen, 1989) varieert de halfwaardetijd door afbraak tussen 0,5 en 50 dagen hoewel uit de meeste onderzoeken blijkt dat MITC iets sneller afbreekt dan DCP. Voor de referentiesituatie is voor beide stoffen gemakshalve een halfwaardetijd van 25 dagen genomen.

Voor de diffusiecoëfficiënt van DCP in lucht bij 10°C is uitgegaan van een waarde van 0,65 m²/dag (Leistra, 1972) en voor die van MITC van een waarde van 0,72 m²/dag (Van den Berg en Leistra, 1989a). Voor de omrekening van de diffusiecoëfficiënt in lucht naar een effectieve diffusiecoëfficiënt in de bodem is uitgegaan van vergelijking 1 (Keizer, 1987):

$$D_b = \frac{V_l - b}{\lambda} \cdot D_l \quad (1)$$

waarin :

D_b = de diffusiecoëfficiënt in de bodem (m²/dag)

D_l = de diffusiecoëfficiënt in de lucht (m²/dag)

V_l = de fractie luchtgevulde poriën (porositeit minus vochtgehalte) (-)

λ = een wegverlengingsfactor omdat niet alle poriën via de kortste weg met elkaar verbonden zijn (-)

b = een blokkeringsfactor omdat een deel van de poriën geheel van de andere poriën is afgesloten (-)

Voor de wegverlengingsfactor λ wordt vaak een waarde van $\sqrt{3}$ genomen en voor de blokkeringsfactor wordt veelal de waarde van 0,1 genomen (Keizer, 1987). Beide waarden zijn ook in de hier beschreven berekeningen aangenomen.

Voor DCP is in de referentiesituatie een verdelingscoëfficiënt lucht/water K_{lW} van $2,5 \times 10^{-2}$ (dimensieloos) aangenomen en een organische stof/water verdelingscoëfficiënt K_{Om} van $1,5 \times 10^{-2}$ m³/kg. Beide waarden zijn overgenomen uit Leistra (1972) en zijn geldig bij 10°C.

Voor MITC is voor K_{Iw} een waarde van $3,6 \times 10^{-3}$ genomen en voor K_{Om} een waarde van $3,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$. Beide waarden zijn gemiddelden van de gemeten waarden in Van den Berg en Leistra (1989a).

In tabel 1 zijn de bodemeigenschappen en in tabel 2 de stofspecifieke waarden van de referentiesituatie nog eens weergegeven.

Tabel 1 Bodemeigenschappen van de referentiesituatie.

Porositeit	50	vol.%
Organisch stofgehalte	8	gew.%
Bulkdichtheid	1282	kg/m ³
Vochtgehalte	30	vol.%
Bodemtemperatuur	10	°C

Tabel 2 Waarden van stofspecifieke eigenschappen van DCP en MITC in de referentiesituatie.

	DCP	MITC	
D_I	0,65	0,72	m ² /dag
DT ₅₀ (afbraak)	25	25	dagen
K_{Iw}	0,025	0,0036	(-)
K_{Om}	0,015	0,0037	m ³ /kg
Dosering	171	86,6	kg/ha

Uit de berekeningen met het bodemmodel blijkt dat DCP onder de referentieomstandigheden eerst 2 dagen na de ontsmetting uit de bodem ontwijkt. Vanaf dit moment stijgt de daggemiddelde emissiesterkte tot een maximum van 0,165 g/(m².dag) op dag 10 en 11 (zie tabel A1 in bijlage A en figuur C1 in bijlage C).

Uit de berekeningen blijkt ook dat de emissie van MITC langzamer op gang komt en dat het maximum aanzienlijk lager ligt dan dat van DCP. Pas op de vijfde dag na de ontsmetting begint de emissie en het maximum van 0,027 g/(m².dag) wordt pas op de twintigste dag bereikt (tabel A1 en figuur C2).

Het verschil in gedrag tussen DCP en MITC onder dezelfde omstandigheden is goed te verklaren uit het verschil in initiële concentratie (dosering), de sterkere neiging tot adsorptie van MITC en de kleinere waarde van K_{Iw} waardoor MITC meer dan DCP in de opgeloste fase aanwezig is.

3.3 Dosering

Het effect van de dosering op het emissiegedrag is bekeken door voor zowel DCP als voor metam-natrium de aanbevolen dosering voor de bollenteelt te gebruiken in plaats van de aanbevolen hoeveelheid voor de aardappelteelt die in de referentiesituatie is gebruikt. In het geval van DCP is deze voor de bollenteelt aanbevolen dosering 240 l/ha (95%) wat overeenkomt met 274 kg/ha. Voor metam-natrium is de hoogste aanbevolen dosering 750 l/ha (510 g/l). Dit komt neer op een dosering MITC van 216 kg/ha.

Uit de modelberekeningen (tabel A2 in bijlage A en figuren C1 (DCP) en C2 (MITC) in bijlage C) blijkt dat de dosering lineair doorwerkt in de berekende emissiesterkte. Dit is zichtbaar aan het feit dat op elk tijdstip na de ontsmetting de verhouding in emissiesterktes dezelfde is als de verhouding in doseringen.

Deze lineaire afhankelijkheid is te verklaren uit het feit dat emissie (diffusie) een (concentratie)gradiënt-gedreven proces is (zie vergelijking 2) :

$$E = D_b \cdot \frac{\delta C}{\delta x} \quad (2)$$

waarin :

E = de emissiesterkte (g/(m².dag))

D_b = de diffusiecoëfficiënt in de bodem (m²/dag)

C = de concentratie in de bodem in de gasfase (g/m³)

x = de afstand in de bodem (m)

Bij een twee maal hogere dosering zal de initiële concentratiegradiënt en daarmee de emissiesterkte twee maal zo hoog zijn. Omdat de emissiesterkte twee maal groter is zal ook de nieuwe concentratiegradiënt weer twee maal zo groot zijn en hiermee blijft de emissiesterkte voortdurend lineair gekoppeld aan de dosering.

3.4 Organisch stofgehalte

Om het effect van het organische stofgehalte in de bodem op de emissiesterkte van DCP en MITC vast te stellen is zowel met een lager als met een hoger organisch stofgehalte dan de 8% van de referentiebodem gerekend. Het lage gehalte was 1% en komt onder andere voor in de bloembollengronden bij Hillegom (Verdam, Loch en van Maaren, 1988), het hoge

gehalte was 15% en komt voor in de gronden voor aardappelteelt in Drenthe (van den Berg en Leistra, 1989a).

Omdat organische stof een lager soortelijk gewicht heeft dan de minerale bestanddelen van de bodem moest de bulkdichtheid van de bodem aangepast worden aan het gewijzigde percentage organische stof. In het geval van 1% organische stof werd de bulkdichtheid 1324 kg/m³, in het geval van 15% organische stof werd dat 1240 kg/m³.

Uit tabel A3 (bijlage A) blijkt dat de emissiesterkte sterk toeneemt bij een lager organisch stofgehalte dan in de referentiebodem en uit tabel A4 dat hij sterk afneemt bij een hoger organisch stofgehalte. Het maximum in een bodem met 1% organische stof wordt voor DCP op de derde dag bereikt en bedraagt 0,741 g/(m².dag) en wordt voor MITC op de twaalfde dag bereikt en bedraagt 0,069 g/(m².dag). In een bodem met 15% organische stof is dit respectievelijk 0,082 op de zestiende dag en 0,014 op dag 21. In het geval van MITC is het echte maximum dan echter nog niet bereikt.

Het effect van het organische stofgehalte is te verklaren met het feit dat de adsorptie van DCP en MITC verondersteld wordt plaats te vinden aan de organische stof in de bodem. Naarmate er meer organische stof is zal er meer geadsorbeerd worden en kan de stof minder snel via diffusie ontwijken. In dezelfde tijd gaat de afbraak van de stof door waardoor de totale emissie dus uiteindelijk ook lager zal zijn. Dit gedrag is goed te zien in figuren C3 (DCP) en C4 (MITC) (bijlage C).

3.5 Vochtgehalte

Door het vochtgehalte in de bodem een lagere respectievelijk hogere waarde te geven dan die in de referentiebodem is het effect van dit vochtgehalte op de emissiesterkte onderzocht. Net als de tamelijk arbitraire keuze van 30% in de referentiebodem is de keuze van de vochtgehaltes van een iets drogere en iets nattere bodem niet echt te onderbouwen, behalve dat het vochtgehaltes zijn die kunnen voorkomen in de praktijk. Voor een iets drogere bodem is uitgegaan van 25 % en voor een iets nattere bodem van 35%.

Uit tabel A5 (bijlage A) blijkt dat een verlaging van het vochtgehalte met 5% ten opzichte van de referentiebodem ervoor zorgt dat de maximale emissiesterkte zowel eerder komt als een hogere waarde bereikt. Dit geldt voor zowel DCP als MITC. Een 5% hoger vochtgehalte heeft zelfs nog een iets groter effect : waar een verlaging van het vochtgehalte met 5% zorgt voor een ongeveer 1,5 tot 2 maal zo hoge maximale emissiesterkte, levert verhoging met 5% een emissiesterkte op die ongeveer een factor 2,5 lager ligt (tabel A6). In figuren C5 (DCP) en C6 (MITC) (bijlage C) is het verschil in het verloop van de emissiesterkte in een drogere en nattere bodem duidelijk zichtbaar.

Het effect van het vochtgehalte op het emissiegedrag is tweeledig : enerzijds betekent een lager vochtgehalte automatisch een grotere fractie luchtgevulde poriën waardoor het transport (via gasdiffusie) plaatsvindt, anderzijds betekent een lager vochtgehalte dat de opslagcapaciteit in de opgeloste (en in het model als niet bewegend veronderstelde) fase kleiner is. Beide factoren hebben als effect dat de emissie sneller en sterker zal zijn.

Het effect van versterking van de adsorptie door uitdroging (Harper et al. (1976), Glotfelty en Schomburg (1989), Spencer en Cliath (1975)) is in de berekeningen niet meegenomen. Dit effect kan vooral optreden in het dunne bovenste laagje van de bodem, dat in de zomer door verdamping van water sterk kan uitdrogen. Bij de in de gevoeligheidsanalyses aangenomen vochtgehalten zal deze versterkte adsorptie echter nog niet optreden.

3.6 Bodemtemperatuur

Om het effect van de bodemtemperatuur op het emissiegedrag van DCP en MITC te bepalen zijn ter vergelijking met de referentiesituatie een situatie met een relatief lage en een situatie met een relatief hoge bodemtemperatuur doorgerekend.

Voor de lage temperatuur is 5°C genomen en voor de hoge temperatuur 15°C.

Bij de berekeningen is er van uitgegaan dat de bodemtemperatuur van invloed is op de verdelingscoëfficiënt lucht/water K_{lw} , de adsorptiecoëfficiënt K_{om} en de diffusiecoëfficiënt in lucht D_l . Om de interpretatie van de uitkomsten niet te zeer te bemoeilijken is er voor gekozen de afbraaksnelheid niet te variëren met de temperatuur, hoewel dit in principe niet juist is (Siebering en Leistra, 1979). Een afhankelijkheid van de temperatuur voor de adsorptiecoëfficiënt is in de literatuur alleen gevonden voor DCP.

De waarden van de verschillende parameters bij de verschillende temperaturen zijn voor DCP afkomstig uit Leistra (1972) en voor MITC uit Van den Berg en Leistra (1989a). In tabel 3 zijn de gebruikte waarden weergegeven.

Uit tabellen A7 en A8 blijkt dat de maximale emissiesterkte bij zowel DCP als MITC ongeveer een factor 1,5 lager is bij een 5 graden lagere en ongeveer een factor 1,5 hoger is bij een 5 graden hogere temperatuur dan in de referentiesituatie.

In figuren C7 (DCP) en C8 (MITC) is duidelijk te zien dat ook het tijdstip waarop het maximum bereikt wordt afhankelijk is van de temperatuur. Bij een hogere temperatuur komt het maximum eerder dan bij een lagere temperatuur.

Tabel 3 Bij de berekeningen gebruikte waarden van K_{lw} (-), K_{om} (m^3/kg) en D_l (m^2/dag) bij verschillende temperaturen.

	5°C	10°C (referentiesituatie)	15°C
<i>DCP</i>			
K_{lw}	0,0167	0,025	0,0333
K_{om}	0,0133	0,015	0,0167
D_l	0,63	0,65	0,67
<i>MITC</i>			
K_{lw}	0,00286	0,0036	0,005
K_{om}	0,0037	0,0037	0,0037
D_l	0,70	0,72	0,74

Het gedrag van beide stoffen is goed te verklaren met het feit dat de diffusiecoëfficiënt groter wordt bij toenemende temperatuur, waardoor het transport in de bodem sneller verloopt. Daarnaast zijn beide stoffen bij een hogere temperatuur sterker in de gasfase aanwezig omdat K_{lw} groter is bij hogere temperatuur. Het feit dat in de berekeningen voor DCP ook de adsorptiecoëfficiënt iets groter wordt genomen bij toenemende temperatuur blijkt niet op te wegen tegen de invloed van een hogere K_{lw} .

3.7 Afbraaksnelheid

Omdat uit de verschillende onderzoeken is gebleken dat de afbraaksnelheid van DCP en MITC nogal varieert met het bodemtype, de bodemtemperatuur en het al dan niet eerder ontsmet zijn van een perceel, is ook het effect van de afbraaksnelheid op de emissiesterkte bekeken.

In de referentiesituatie is voor zowel DCP als MITC een halfwaardetijd door afbraak gebruikt van 25 dagen. Omdat de halfwaardetijd van beide stoffen zich bevindt in het traject van 0,5 tot 50 dagen, is om een hoge afbraaksnelheid te simuleren gewerkt met een halfwaardetijd van 5 dagen en om een lage afbraaksnelheid te simuleren met een halfwaardetijd van 45 dagen.

Uit tabellen A9 en A10 (bijlage A) en figuren C9 (DCP) en C10 (MITC) blijkt dat het verschil tussen de referentiesituatie en de hoge afbraaksnelheid voor beide stoffen aanzienlijk groter is dan het verschil tussen de referentiesituatie en de lage afbraaksnelheid. In het eerste geval ligt de emissiesterkte een factor 2,5 (DCP) tot 5 (MITC) lager, in het tweede geval zijn de emissiesterktes slechts 15 (DCP) tot 30% (MITC) hoger.

Dit verschil is te verklaren met het feit dat de afbraaksnelheid in de referentiesituatie kennelijk al zo laag is dat de emissiesterkte vooral bepaald wordt door de diffusieve transportsnelheid in de bodem. Verdere verlaging van de afbraaksnelheid (grotere halfwaardetijd) heeft dan weinig effect.

Verhoging van de afbraaksnelheid (kleinere halfwaardetijd) zal wel duidelijk effect sorteren op het moment dat de afbraaksnelheid de diffusieve emissiesnelheid qua grootte gaat benaderen. Bij een halfwaardetijd van 5 dagen is dit dus duidelijk het geval.

3.8 Berekeningswijze effectieve diffusiecoëfficiënt in de bodem

De omrekening van een diffusiecoëfficiënt in de lucht naar een effectieve diffusiecoëfficiënt in de bodem is uitgevoerd met vergelijking 1 (§ 3.2). Omdat er in de literatuur ook andere relaties tussen beide diffusiecoëfficiënten zijn beschreven, is ook een emissieberekening uitgevoerd met een dergelijke andere relatie. Een veel gebruikte relatie is die van Millington-Quirk (vergelijking 3) :

$$D_b = \frac{V_1^{3.3}}{p^2} D_1 \quad (3)$$

waarin :

D_b = de diffusiecoëfficiënt in de bodem (m²/dag)

D_1 = de diffusiecoëfficiënt in de lucht (m²/dag)

V_1 = de fractie luchtgevulde poriën (porositeit minus vochtgehalte) (-)

p = de totale porositeit (-)

In tabel A11 staan de resultaten van de berekeningen met de Millington-Quirk diffusiecoëfficiënt. Duidelijk zichtbaar is dat de hiermee berekende emissiesterktes sterk lager zijn dan die in de referentiesituatie, waarin vergelijking 1 gebruikt is. Voor DCP, waarvan de maximale emissiesterkte na 21 dagen nog net is niet bereikt, ligt de maximale emissiesterkte een factor 5 lager en dit maximum wordt aanzienlijk later bereikt. Hoewel het emissiemaximum van MITC na 21 dagen nog niet bereikt is, lijkt hier de (geëxtrapoleerde) emissiesterkte zelfs een factor 10 lager uit te komen.

In figuren C11 (DCP) en C12 (MITC) staan de emissiesterktes grafisch uitgezet tegen de verstreken tijd na de ontsmetting.

Bij invulling van de gebruikte waarden van D_1 , V_1 , p , b en λ in vergelijkingen 1 en 3 blijkt de met vergelijking 1 berekende effectieve diffusiecoëfficiënt D_b echter slechts een factor

3 groter te zijn. Dat de maximale emissiesterktes sterker verschillen is te verklaren met het feit dat emissie (diffusie) een gradiënt-gedreven proces is. Initieel is de concentratiegradiënt in beide situaties gelijk en verschilt alleen de waarde van D_b en zullen de emissiesterktes dezelfde verhouding vertonen als de diffusiecoëfficiënten maar na de eerste tijdstap zal de concentratiegradiënt in beide situaties niet meer dezelfde zijn en zullen de emissiesterktes niet meer alleen verschillen door verschil in D_b -waarde. Daarnaast is het zo dat een stof er bij een lagere waarde van D_b langer over doet om het bodemoppervlak te bereiken en zodoende langer onderhevig is aan afbraak. Dit gecombineerde effect zorgt voor een verschil in emissiesterkte dat groter is dan aan de hand van alleen de effectieve diffusiecoëfficiënt verwacht mag worden. Omdat de verhouding tussen transportsnelheid en afbraaksnelheid voor DCP en MITC verschillend is en omdat de initiële concentraties niet dezelfde zijn, is ook het effect van een andere berekeningswijze van D_b voor beide stoffen verschillend.

Aangezien de keuze voor de methode van omrekening van de diffusiecoëfficiënt in feite alleen verantwoord kan worden gedaan met behulp van meetgegevens (die dan weer alleen karakteristiek zijn voor het bodemtype waaraan gemeten wordt), moeten de hier, met een in feite willekeurig gekozen omrekeningsmethode, berekende emissiesterktes met de nodige voorzichtigheid beschouwd worden.

3.9 "Reasonable worst case" situaties

3.9.1 Algemeen

Om na te gaan welke emissiesterktes van DCP en MITC in een praktijk situatie maximaal kunnen voorkomen zijn "reasonable worst case" situaties gedefinieerd die karakteristiek worden verondersteld voor de aardappelteelt en voor de bloembollenteelt. Als basis voor deze situaties heeft de referentiesituatie gediend, waarin vervolgens (waar nodig) parameters van waarde zijn veranderd.

Voor zowel de aardappelteelt als de bloembollenteelt is uitgegaan van een bodem met een porositeit van 50% en een relatief laag vochtgehalte van 25%. Voor beide situaties is uitgegaan van een relatief hoge bodemtemperatuur van 15°C en de daarbij horende waarden van K_{1w} , K_{om} (alleen DCP) en D_1 (zie tabel 3).

Hoewel een zeer lage afbraaksnelheid zou bijdragen aan een "worst case" is het niet redelijk te veronderstellen dat de afbraaksnelheid zijn laagste waarde heeft bij een relatief hoge temperatuur. Daarom is voor zowel DCP als MITC de "gemiddelde" waarde van 25 dagen voor de halfwaardetijd door afbraak genomen. Omdat met vergelijking 1 (§ 3.2) de hoogste

emissies worden berekend is voor de "reasonable worst case" situaties ook met deze omrekening gewerkt.

3.9.2 Aardappelteelt

Voor de aardappelteelt is aangenomen dat het organische stofgehalte in de praktijk vaak niet veel lager zal zijn dan 5%, hoewel waarden tussen 2 en 3% genoemd worden in Verdam, Loch en van Maaren (1988). De waarde van 5% is gebruikt in de "reasonable worst case" berekeningen. De hierbij behorende bulkdichtheid van de bodem bedraagt 1300 kg/m^3 . De doseringen van DCP en MITC die bij de berekeningen gebruikt zijn, zijn die van de referentiesituatie (171 kg DCP/ha en 153 kg metam-natrium = 86,6 kg MITC/ha) omdat dit ongeveer de maximale aanbevolen hoeveelheden zijn (Gewasbescherming in de akkerbouw, 1989).

In tabel B1 (bijlage B) staan de resultaten van deze berekeningen. De maximale berekende daggemiddelde emissiesterkte van DCP blijkt $0,571 \text{ g/(m}^2\text{.dag)}$ te zijn. De emissie van DCP blijkt op de eerste dag nog niet veel voor te stellen maar stijgt vervolgens snel om rond de vierde en vijfde dag zijn maximum te bereiken. Na 3 weken is er $5,97 \text{ g/m}^2$ via emissie uit de bodem verdwenen, wat neerkomt op 35% van de dosering. In figuur C13 is al deze informatie grafisch weergegeven.

De emissie van MITC is onder de veronderstelde "reasonable worst case" condities lager dan die van DCP en bedraagt daggemiddeld maximaal $0,117 \text{ g/(m}^2\text{.dag)}$ op de achtste en negende dag na de ontsmetting (figuur C14). De cumulatieve emissie van 3 weken bedraagt $1,63 \text{ g/m}^2$, dit is 19% van de geïnjecteerde hoeveelheid.

3.9.3 Bloembollenteelt

Aangezien bloembollenteelt veelal op humusarme zandgronden plaatsvindt zoals bij Hillegom, is in de "reasonable worst case" berekeningen uitgegaan van een percentage organische stof van slechts 1%. Deze waarde staat genoemd in Verdam, Loch en van Maaren (1988).

Hoewel de in "Gewasbescherming in de akkerbouw" (1989) aanbevolen dosering van dichloorpropeen in de bloembollenteelt 240 l/ha is (274 kg/ha) komen in de praktijk ook hogere doseringen voor. Zo staat in Verdam, Loch en van Maaren (1988) vermeld dat ook doseringen van 500 l/ha (570 kg/ha) gebruikt zijn.

Voor beide doseringen is een "reasonable worst case" berekening uitgevoerd.

Voor MITC is een maximale dosering van 750 l metam-natrium/ha (510 g/l) aangehouden. Dit komt neer op 216 kg MITC/ha. Hogere doseringen dan deze zijn in de literatuurstudie niet aangetroffen.

Uit tabel B2 en figuur C13 blijkt dat de berekende daggemiddelde emissiesterkte van DCP bij de aanbevolen dosering een maximum bereikt van 2,74 g/(m².dag) op de tweede dag na de ontsmetting. Uit een hier niet gepresenteerde berekening blijkt dat de emissie ongeveer 8 uur na de ontsmetting op gang komt. De totale emissie na 3 weken bedraagt 15,9 g/m², wat neerkomt op 58% van de ingebrachte hoeveelheid.

De daggemiddelde emissie van MITC bij de aanbevolen dosering (tabel B2 en figuur C14) bereikt zijn hoogste punt op de zesde dag met een waarde van 0,523 g/(m².dag). In dit geval komt de emissie na ongeveer 18 uur op gang en is de cumulatieve emissie na 3 weken 6,24 g/m² (29% van de dosering).

In tabel B3 en figuur C13 zijn de resultaten weergegeven van de berekening voor DCP bij een zeer hoge dosering (570 kg/ha). Hier is de maximale emissiesterkte 5,7 g/(m².dag) op de tweede dag. Net als bij de aanbevolen dosering komt de emissie hier na 8 uur op gang. Omdat de dosering lineair doorwerkt in de emissiesterkte, is de verhouding tussen de emissiesterktes van 5,7 en 2,74 dezelfde als tussen de doseringen van 570 en 274 kg/ha en bedraagt de cumulatieve emissie na 3 weken ook weer 58 % van de dosering (33,1 g/m²).

3.10 Conclusies

Uit de in §3.2 t/m §3.8 beschreven gevoeligheidsanalyses blijkt dat de met het bodemmodel berekende emissies afhankelijk zijn van 3 soorten variabelen, namelijk stuurbare veldvariabelen (dosering), niet stuurbare veldvariabelen (organisch stofgehalte, vochtgehalte, temperatuur en afbraaksnelheid) en modelvariabelen (berekeningswijze effectieve diffusiecoëfficiënt). Onder stuurbaar wordt hier verstaan: direct door de mens te beïnvloeden. In principe kan de mens het vochtgehalte natuurlijk ook direct beïnvloeden door middel van bijvoorbeeld beregening.

Daarnaast kan de mens indirect invloed uitoefenen op het vochtgehalte, de temperatuur en hiermee op de afbraaksnelheid door het kiezen van het tijdstip van ontsmetting en kan de mens indirect invloed uitoefenen op de afbraaksnelheid door wisselend gebruik van de verschillende ontsmettingsmiddelen, waardoor de organismen die verantwoordelijk zijn voor de afbraak minder kans op aanpassing hebben.

Dosering

- De dosering werkt lineair door in de emissiesterkte.

Niet stuurbare veldvariabelen

- Een organisch stofgehalte van 1% geeft een 5 (MITC) tot 9 (DCP) maal hogere maximale daggemiddelde emissiesterkte dan een organisch stofgehalte van 15%.
- Verandering in vochtgehalte van 35 tot 25% resulteert in een 5 (DCP) tot 10 (MITC) maal hogere maximale daggemiddelde emissiesterkte. Omdat het effect van het vochtgehalte voor een deel zit in de effectieve diffusiecoëfficiënt (zie vergelijking 1) is het echter waarschijnlijk dat verandering van het vochtgehalte van 35 tot 25% bij gebruik van vergelijking 3 tot een ander effect leidt.
- Verandering van de bodemtemperatuur van 5 naar 15°C geeft door zijn effect op K_{lw} , K_{om} en D_1 voor zowel DCP als MITC een 2 maal hogere maximale daggemiddelde emissiesterkte. Hierin zit dan niet het effect van de temperatuur op de afbraaksnelheid verwerkt.
- Verandering van de halfwaardetijd voor afbraak van 5 naar 45 dagen geeft een 3 (DCP) tot 7 (MITC) maal hogere maximale daggemiddelde emissiesterkte.

Modelvariabelen

- Gebruik van vergelijking 1 voor de berekening van de effectieve diffusiecoëfficiënt geeft 5 (DCP) tot 10 (MITC) maal hogere maximale daggemiddelde emissiesterktes dan gebruik van vergelijking 3. Aangezien de keuze van omrekeningsmethode in feite alleen met behulp van metingen verantwoord kan gebeuren, moet gebruik van alle hier berekende emissies met de nodige voorzichtigheid geschieden.

Uit de in § 3.9 beschreven "reasonable worst case" berekeningen kunnen de volgende conclusies getrokken worden :

- In de aardappelteelt zijn de te verwachten maximale daggemiddelde emissies van DCP (dosering 171 kg/ha) en MITC (86,6 kg/ha) respectievelijk 0,6 en 0,1 g/(m².dag). In deze "reasonable worst case" zijn de emissies de eerste 24 uur na de ontsmetting te verwaarlozen.

- In de bloembollenteelt zijn deze maximaal te verwachten daggemiddelde emissiestertes 5,7 g/(m².dag) (DCP, dosering 570 kg/ha) en 0,5 g/(m².dag) (MITC, dosering 216 kg/ha). In het geval van DCP begint de emissie 8 uur na injectie van de vloeistof en in het geval van MITC 18 uur na injectie.

Bij alle "reasonable worst case" berekeningen moet in het oog gehouden worden dat het begrip "reasonable" rekbaar is. In veel gevallen zal een "reasonable worst case" zoals bij de hier gepresenteerde berekeningen gedefinieerd is nooit voorkomen, omdat bijvoorbeeld de bodemtextuur anders is of omdat het vochtgehalte (door bijvoorbeeld een hoge grondwaterstand) hoger is. Dit betekent dat de in de praktijk voorkomende emissiesterke in veel gevallen lager zal zijn dan de hier berekende en (bijna) nooit hoger. Een teken dat de berekende emissies echter niet irreëel hoeven te zijn, is het feit dat de cumulatieve emissies variëren van 19% (MITC in de aardappelteelt) tot 58% (DCP in de bloembollenteelt) terwijl in de Rapportage van de Werkgroep Beperking Emissie (1990) gesproken wordt van een percentage van 5 tot 50% (afhankelijk van middel en toepassingssituatie) dat door emissie naar de lucht verdwijnt.

4. MODELBEREKENINGEN VAN CONCENTRATIES DCP EN MITC IN DE LUCHT

4.1 Algemeen

Om een indruk te krijgen van de mogelijk concentraties in de lucht nabij met DCP en metam-natrium ontsmette velden, zijn enkele oriënterende berekeningen uitgevoerd met een model voor de verspreiding van luchtverontreiniging.

Het gebruikte model is het zogenaamd bigaussische pluimmodel PAL, afkomstig van de EPA in de Verenigde Staten en aangepast aan hetgeen in het Nationaal Model wordt aangenomen.

De berekeningen werden uitgevoerd voor een groot (500 x 500 m) en een middelgroot (250 x 250 m) veld en voor een dag met middelmatige (tabel D1, bijlage D) en een dag met ongunstige (tabel D2, bijlage D) meteorologische omstandigheden (ongunstig wil zeggen dat de verwachte concentraties hoog zijn). Als invoer zijn de in §3.9 gepresenteerde berekende daggemiddelde emissiesterktes gebruikt van de "reasonable worst cases" voor de aardappelteelt (171 kg DCP/ha en 86,6 kg MITC/ha) en voor de bloembollenteelt met de hoogste dosering (570 kg DCP/ha en 216 kg MITC/ha). De gebruikte emissiesterktes staan in tabel 4. Hoewel de maximale emissiesterkte in de "reasonable worst case" berekeningen niet constant was gedurende 24 uur is in de verspreidingsberekeningen toch gerekend met een daggemiddelde emissiesterkte omdat de fout die hiermee gemaakt wordt klein is ten opzichte van de onzekerheden in de emissieberekeningen.

Tabel 4 Gebruikte daggemiddelde emissiesterktes voor DCP en MITC in de aardappelteelt en de bloembollenteelt ($g/(m^2 \cdot dag)$).

	DCP	MITC
Aardappelteelt	0,571	0,117
Bloembollenteelt	5,70	0,523

De uitvoer van de verspreidingsberekeningen bestaat uit zowel daggemiddelde als uurgemiddelde (ongunstigste uur) concentraties in de lucht op 1 meter hoogte en op afstanden van 1 tot 2000 m benedenwinds van de veldrand. De gepresenteerde concentratie op een bepaalde afstand is die van het receptorpunt met de hoogste concentratie van alle receptorpunten op diezelfde afstand. In de berekeningen zijn de velden zodanig gesitueerd ten opzichte van de gemiddelde windrichting dat de lucht het veld bij benadering langs de diagonaal passeert. Hiermee is de slechtst denkbare situatie beschouwd.

Bij de verspreidingsberekeningen is er verder van uitgegaan dat er geen noemenswaardige depositie optreedt binnen de beschouwde 2000 m en is een ruwheidslengte van 0,1 m aangehouden (braakliggende akker). Verder is (in analogie met het Nationaal Model) aangenomen dat de windsnelheid, welke is opgegeven voor een hoogte van 10 m, niet afneemt tussen deze hoogte en het aardoppervlak.

4.2 Middelmatige meteorologische omstandigheden

Uit tabel D3 blijkt dat de daggemiddelde DCP-concentratie aan de benedenwindse rand van een aardappelveld van 250 x 250 m, onder aanname van een "reasonable worst case"-emissiesterkte en middelmatige meteorologische omstandigheden, $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bedraagt en dat deze concentratie afneemt tot $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ op een benedenwindse afstand van 2 km van de rand van het veld.

Aangezien de in de verspreidingsberekeningen berekende concentraties rechtevenredig zijn met de bronsterkte en er geen verschil is in het verspreidingsgedrag van DCP en MITC, verhouden de daggemiddelde concentraties van MITC nabij een aardappelveld van 250 x 250 m en de daggemiddelde concentraties van DCP en MITC nabij een bloembollenveld van dezelfde afmetingen zich tot de bovengenoemde concentraties zoals hun respectievelijk aangenomen emissiesterktes zich verhouden tot de emissiesterkte van DCP in een aardappelveld.

Dit betekent dat de berekende concentraties van DCP nabij een bloembollenveld 10 maal hoger zijn dan die nabij een aardappelveld van dezelfde afmetingen ($868 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (zie voor de verhoudingen ook tabel 4, §4.1). Deze verhouding is natuurlijk alleen geldig voor de gekozen "reasonable worst case" omstandigheden voor respectievelijk de aardappelteelt en de bloembollenteelt.

De daggemiddelde concentratie van MITC nabij een aardappelveld van 250 x 250 m daalt van $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aan de rand van het veld tot $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ op 2000 m afstand. Nabij een bloembollenveld van dezelfde afmetingen ligt dit een factor 4,5 hoger ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Omdat naast de daggemiddelde concentratie ook piekconcentraties van belang zijn, is uit dezelfde verspreidingsberekening ook het uur met de hoogste uurgemiddelde concentraties gelicht. Dit betreft het uur met de meest ongunstige meteorologie binnen de als middelmatig gekenmerkte dag (04.00 uur, zie tabel D1).

Uit tabel D4 blijkt dat de concentraties aan de rand van het veld in dit ongunstige uur een factor 2,4 hoger zijn dan de daggemiddelde concentraties uit tabel D3, maar dat ze op 2 km afstand een factor 8,9 hoger zijn.

Uit de berekeningen met een veldgrootte van 500 x 500 m (tabel D5) wordt duidelijk dat dit aan de veldrand 1,4 maal hogere en op 2 km benedenwinds van het veld 3,4 maal hogere daggemiddelde concentraties geeft dan bij een veldgrootte van 250 x 250 m.

In het ongunstige uur zijn de concentraties bij deze veldafmetingen aan de veldrand 2,5 maal hoger dan de daggemiddelde waarde en op 2 km afstand 7,6 maal (tabel D6).

In figuren E1 t/m E8 zijn de concentraties grafisch uitgezet tegen de benedenwindse afstand van de veldrand.

4.3 Ongunstige meteorologische omstandigheden

Onder de als ongunstig gekenmerkte meteorologische omstandigheden (tabel D2) blijkt de daggemiddelde concentratie van DCP op de benedenwindse rand van een aardappelveld van 250 x 250 m $166 \mu\text{g}/\text{m}^3$ te bedragen en neemt hij af tot $3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ op 2 km afstand van de veldrand (tabel D7). Deze concentraties liggen ongeveer een factor 2 hoger dan die onder de als middelmatig gekenmerkte meteorologische omstandigheden. Omdat ook hier geldt dat de berekende concentratie rechtevenredig is met de emissiesterkte en omdat het verschil tussen DCP en MITC enerzijds en tussen de aardappelteelt en de bloembollenteelt anderzijds hier tot een verschil in emissiesterkte is gereduceerd, zijn de berekende daggemiddelde concentraties van zowel DCP als MITC in zowel de aardappelteelt als de bloembollenteelt een factor 2 hoger dan onder de als middelmatig gekenmerkte meteorologische omstandigheden.

De in tabel D8 gepresenteerde uurgemiddelde concentraties zijn berekend met het uur met de meest ongunstige meteorologie (04.00 uur, tabel D2). Onder deze condities zijn de berekende concentraties aan de rand van het veld een factor 3,1 hoger dan de daggemiddelde concentraties en op 2 km afstand een factor 10,8.

Bij een veldgrootte van 500 x 500 m blijken de daggemiddelde concentraties aan de rand van het veld een factor 1,4 hoger te zijn dan bij een veld van 250 x 250 m en op 2 km benedenwinds een factor 3,3 (tabel D9).

In het ongunstige uur zijn de concentraties bij deze veldafmetingen aan de veldrand 3,3 maal hoger dan de daggemiddelde waarde en op 2 km afstand 9,4 maal (tabel D10).

In figuren E9 t/m E16 zijn de berekende concentraties grafisch uitgezet tegen de benedenwindse afstand tot de veldrand.

4.4 Conclusies

- Aangezien de concentratie in de buitenlucht rechtevenredig is met de bronsterkte verhouden de concentraties van DCP en MITC in zowel de aardappelteelt als de bloembollenteelt zich als hun respectievelijke emissiesterktes. Dit betekent dat de DCP-concentraties onder de gekozen "reasonable worst case"-emissiescenario's in de bloembollenteelt een factor 10 hoger liggen dan die in de aardappelteelt. Voor MITC bedraagt deze verhouding 4,5.
- Verandering in veldgrootte van 250 x 250 m tot 500 x 500 m geeft een verhoging van de daggemiddelde concentratie met een factor 1,4 aan de veldrand tot een factor 3,4-3,5 op 2 km benedenwindse afstand.
- Verandering in meteorologie van middelmatige naar ongunstige omstandigheden geeft een verhoging van de daggemiddelde concentratie met ongeveer een factor 2.
- De uurgemiddelde concentratie van het ongunstigste uur is aan de rand van het veld een factor 2,4-3,3 hoger dan de daggemiddelde concentratie en op 2 km afstand een factor 7,6-10,8, afhankelijk van de grootte van het veld en de meteorologie van de gehele dag.
- De hoogst berekende daggemiddelde concentraties zijn 2,3 mg DCP/m³ en 0,2 mg MITC/m³, beide voor de "reasonable worst case" aan de rand van een bollenveld van 500 x 500 m, onder ongunstige meteorologische omstandigheden. De onder deze omstandigheden berekende maximale uurgemiddelde concentraties zijn 7,4 mg DCP/m³ en 0,7 mg MITC/m³.

Bij al deze (hoge) concentraties moet echter nogmaals benadrukt worden dat het begrip "reasonable" rekbaar is, zeker gezien het feit dat de keuze voor een andere omrekeningswijze van de diffusiecoëfficiënt in de lucht naar die in de bodem verantwoordelijk kan zijn voor een 5 (DCP) tot 10 (MITC) maal lagere emissiesterkte en dus voor een 5 tot 10 maal lagere concentratie.

Ook moet bedacht worden dat de verspreidingsberekeningen zijn uitgevoerd met de hoogste waarden van het berekende emissieverloop. Aangezien deze hoogste waarden slechts gedurende korte tijd optreden zullen de hier berekende daggemiddelde concentraties zich slecht gedurende maximaal enkele dagen kunnen voordoen.

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusies

- Uit de gevoeligheidsanalyses met het bodemmodel CHEMTRIS blijkt dat dit model zeer geschikt is voor het analyseren van de (gecombineerde) effecten van de verschillende parameters die het gedrag van pesticiden in het complexe bodemsysteem bepalen.

Uit deze gevoeligheidsanalyses, uitgevoerd voor de grondontsmettingsmiddelen dichloorpropeen (DCP) en metam-natrium (waarvan het na omzetting gevormde methylisothiocyanaat (MITC) de werkzame stof is) blijkt ten aanzien van de emissies:

- Dat de dosering van DCP en metam-natrium lineair doorwerkt in de emissiesterkte van DCP en MITC (een 2 maal hogere dosering geeft een 2 maal hogere emissiesterkte op dezelfde tijd na de ontsmetting)
- Dat de emissiesterkte door bodemeigenschappen op de volgende wijze wordt beïnvloed:
 - Een organisch stofgehalte van 1% geeft een 5 (MITC) tot 9 (DCP) maal hogere maximale daggemiddelde emissiesterkte dan een organisch stofgehalte van 15 %.
 - Verandering in vochtgehalte van 35% tot 25% resulteert in een 5 (DCP) tot 10 (MITC) maal hogere maximale daggemiddelde emissiesterkte. Omdat het effect van het vochtgehalte voor een deel zit in de berekening van de effectieve diffusiecoëfficiënt, kunnen deze factoren ook andere waarden hebben.
 - Verhoging van de bodemtemperatuur van 5 tot 15°C geeft door zijn effect op de verdeling over de gasfase en de opgeloste fase, op de adsorptiecoëfficiënt en op de diffusiecoëfficiënt voor zowel DCP als MITC een 2 maal hogere maximale daggemiddelde emissiesterkte. Hierin zit dan niet het effect van de temperatuur op de afbraaksnelheid verwerkt.
 - Verandering van de halfwaardetijd voor afbraak van 5 naar 45 dagen geeft een 3 (DCP) tot 7 (MITC) maal hogere maximale daggemiddelde emissiesterkte.

- Dat de door het model berekende emissiesterkte afhankelijk is van de keuze van berekeningsmethode voor effectieve diffusiecoëfficiënt. Dit kan een verschil in de maximale daggemiddelde emissiesterkte geven van een factor 5 (DCP) tot 10 (MITC). Deze onzekerheid staat los van de de onzekerheden die door de veldvariabiliteit bepaald worden.

Met inachtneming van bovengenoemde onzekerheden blijkt uit verspreidingsberekeningen in de lucht ten aanzien van de cocentraties:

- Dat de concentraties van DCP en MITC in de buitenlucht rechtevenredig zijn met hun respectievelijke bronsterkte. Dit betekent dat de DCP-concentraties onder de gekozen "reasonable worst case"-emissiescenario's in de bloembollenteelt een factor 10 hoger liggen dan die in de aardappelteelt. Voor MITC bedraagt deze verhouding bijna 5.
- Dat de daggemiddelde concentraties van DCP en MITC aan de benedenwindse zijde van een veld met afmetingen van 500 x 500 m ongeveer 1,5 (veldrand) tot 3,5 maal (op 2 km afstand) zo hoog zijn als aan de benedenwindse zijde van een veld van 250 x 250 m.
- Dat variatie in meteorologische omstandigheden tussen middelmatige en ongunstige meteorologie kan leiden tot verandering in de daggemiddelde concentratie met ongeveer een factor 2.
- Dat de uurgemiddelde concentratie van het ongunstigste uur aan de rand van het veld gemiddeld een factor 3 en op 2 km afstand gemiddeld een factor 9 hoger is dan de daggemiddelde concentratie op dezelfde plaats.
- Dat de hoogst berekende daggemiddelde concentraties ruim 2 mg DCP/m³ en ongeveer 0,2 mg MITC/m³ zijn, beide voor de "reasonable worst case" aan de rand van een bollenveld van 500 x 500 m, onder ongunstige meteorologische omstandigheden. De onder deze omstandigheden berekende maximale uurgemiddelde concentraties zijn ruim 7 mg DCP/m³ en ongeveer 0,7 mg MITC/m³. Deze concentraties kunnen gezien de onzekerheid in de effectieve diffusiecoëfficiënt echter ook een factor 5 (DCP) tot 10 (MITC) lager uitvallen.

Bij de in de verspreidingsberekeningen berekende concentraties moet echter wel bedacht worden dat deze zijn uitgevoerd met de piekwaarden van de met het model CHEMTRIS berekende emissieverloop. Aangezien deze piek in de "reasonable worst case" voor bollenvelden met zeer hoge dosering slechts 1 (DCP) tot 2 (MITC) dagen duurde zullen de hier berekende daggemiddelde concentraties ook slechts gedurende deze tijd kunnen voorkomen. Daarnaast blijft natuurlijk de vraag hoeveel en hoe vaak bollenvelden in Nederland qua eigenschappen overeenkomen met de in de "reasonable worst case" aangenomen condities. Omdat de, voor de emissie relevante, parameters in deze "reasonable worst case"-berekeningen allemaal gelijktijdig een ongunstige waarde hebben gekregen, mag worden aangenomen dat de berekende (zeer) hoge concentraties uitzonderingen zijn. Ook het feit dat de gebruikte ongunstige meteorologie niet een dagelijks voorkomende is, mag niet uit het oog worden verloren.

5.2 Aanbevelingen

- Omdat uit de berekeningen met CHEMTRIS het belang van het vochtgehalte op de emissie blijkt, verdient het aanbeveling te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn van een lichte kunstmatige berekening of van het uitrijden van drijfmest op het ontsmette perceel om emissies te beperken. Voor dit soort onderzoek lenen zich computersimulaties met CHEMTRIS bij uitstek.
- Om dosering van grondontsmettingsmiddelen te optimaliseren lijkt het nuttig om, uitgaande van een voor een goede ontsmetting benodigd produkt van concentratie en tijd, met CHEMTRIS te berekenen welke dosering onder welke omstandigheden nodig is. Hiermee kan worden voorkomen dat in bepaalde situaties onnodig hoge doseringen worden toegepast en in andere situaties een te lage dosering wordt toegepast, waardoor een tweede ontsmetting noodzakelijk is.
- Omdat veldvariabiliteit in de vorm van bijvoorbeeld het organische stofgehalte, het vochtgehalte en de porositeit niet alleen voor grondontsmettingsmiddelen als DCP en MITC een rol speelt maar ook bepalend is voor het gedrag van andere pesticiden in de bodem en het ondoenlijk is om aan elke combinatie van pesticide, bodemtype en bodemeigenschappen metingen te doen, kunnen modelberekeningen bijdragen aan het verkrijgen van inzicht in de pesticidenbalans in de bodem (welk deel vervluchtigt, welk deel breekt af? en welk deel spoelt uit?). Omdat CHEMTRIS stoftransport in zowel de gasfase als in de waterfase kan berekenen, is het zeer geschikt voor dergelijke

balansberekeningen. Naast modelberekeningen zouden fluxmetingen boven behandelde percelen kunnen bijdragen aan het opstellen van een pesticidenbalans.

- Omdat er gebleken is dat er ook in modelvariabelen zoals de effectieve diffusiecoëfficiënt onzekerheden aanwezig zijn, verdient het aanbeveling hiernaar nader onderzoek te doen. Hierbij valt te denken aan laboratoriumproeven aan ongestoorde bodemonsters uit verschillende voor de akkerbouw karakteristieke bodemtypen. Ook specifiek literatuuronderzoek naar deze effectieve diffusiecoëfficiënt kan bijdragen aan het verkleinen van de onzekerheid over emissies van pesticiden.
- Het zou zinvol zijn om veldexperimenten, zoals die van het IOB, uit te voeren op kleinere ruimtelijk schaal en onder beter gecontroleerde condities (kassen?). Onder de praktijkomstandigheden (met zijn grote ruimtelijke schaal) waaronder de veldexperimenten van het IOB zijn uitgevoerd is het door variërende meteorologische omstandigheden zeer moeilijk om voldoende data te verzamelen om eenduidige relaties te leggen tussen de concentraties in de lucht enerzijds en de tijd na injectie en de benedenwindse afstand van het veld anderzijds. Ook het feit dat in een praktijksituatie ontsmetting van naburige percelen kan plaatsvinden met alle op de metingen storende invloeden van dien, is een argument om de experimenten op kleinere schaal en onder beter gecontroleerde omstandigheden uit te voeren.

6. LITERATUUR

Appels, G en D.J. Bakker, 1991

Depositie op en transport in de bodem van vluchtige organische stoffen. Simulatie van het effect van een vochtgehalte-afhankelijke adsorptiecoëfficiënt in een droge bovengrond op de depositie en verspreiding van een vluchtige organische stof.

TNO-rapport, in voorbereiding.

Been, T.H. en C.H. Schomaker, 1987

Fumigation of marine-clay soils infested with potato cyst nematodes.

In: Abstracts of the 10th triennial conference off the european association for potato research, eds. N.E. Foldø, Sv.E. Hansen en N.K. Nielsen, Aalborg, Denmark.

Berg, F. van den, A.H. Roos, L.G.M.Th. Tuinstra en M.Leistra, 1988a

Sampling and analysis of the soil fumigant methyl isothiocyanate in air.

IOB rapport.

Berg, F. van den, A.H. Roos, L.G.M.Th. Tuinstra en M.Leistra, 1988b

Sampling and analysis of the soil fumigant 1,3-dichloropropene in air.

IOB rapport .

Berg, F. van den, A.H. Roos, L.G.M.Th. Tuinstra en M.Leistra, 1988c

Concentrations of methyl isothiocyanate in the air near villages in the northeast of the Netherlands.

IOB rapport.

Berg, F. van den, A.H. Roos, L.G.M.Th. Tuinstra en M.Leistra, 1988d

Concentrations of 1,3-dichloropropene in the air near villages in the northeast of the Netherlands.

IOB rapport.

Berg, F. van den, A.H. Roos, L.G.M.Th. Tuinstra en M.Leistra, 1988e

Concentrations of methyl isothiocyanate in the air above and around fields during and after fumigation.

IOB rapport.

- Berg, F. van den, A.H. Roos, L.G.M.Th. Tuinstra en M.Leistra, 1988f
Concentrations of 1,3-dichloropropene in the air above and around fields during and after fumigation.
IOB rapport.
- Berg, F. van den en M.Leistra, 1989a
Behaviour of methyl isothiocyanate in soil and emission into the air after injection of metham sodium.
IOB rapport.
- Berg, F. van den en M.Leistra, 1989b
Behaviour of the fumigant 1,3-dichloropropene in soil and its emission into the air.
IOB rapport.
- Buurveld, H.A., H. Dost en R. van der Hoorn, 1988
Grondontsmettingsmiddelen en hun verspreiding door de lucht.
IVEM-rapport, Groningen.
- Chiou, C.T. en T.D. Shoup, 1985
Soil sorption of organic vapors and effects of humidity on sorptive mechanism and capacity.
Environmental Science and Technology, vol. 19, nr. 12, pp. 1196-1200.
- Dijk, H. van, 1974
Degradation of 1,3-dichloropropenes in the soil.
Agro-ecosystems 1, pp. 193-204.
- Farmer, W.J., K. Igue en W.F. Spencer, 1973
Effect of bulk density on the diffusion and volatilization of dieldrin from soil.
Journal of Environmental Quality, Vol.2, nr.1, pp.107-109.
- Gewasbeschermingsgids, 1989
Handboek voor de bestrijding van ziekten, plagen en onkruiden en de toepassing van groeiregulatoren in de akkerbouw, veehouderij, tuinbouw en het openbaar groen.
CAD Gewasbescherming/Planteziektkundige Dienst, Wageningen.

Gewasbescherming in de akkerbouw, 1989
CAD Gewasbescherming, Wageningen.

Gewasbescherming in bloembollen en bolbloemen, 1990
CAD Gewasbescherming, Wageningen.

Glotfelty, D.E. en C.J. Schomburg, 1989
Volatilization of pesticides from soil.
In : Reactions and movement of organic chemicals in soils, SSSA Special publication number 22, eds. B.L. Sawhney and K. Brown. Madison, USA. pp. 181-207.

Graaf, M. de, 1990
Grondontsmetting : het doek is nog niet gevallen.
Boerderij/Akkerbouw 75 nr. 12, pp 6-7.

Groen K.P., 1990
Movement and transformation in the soil and leaching tot surface water of pesticides applied tot flower-bulb fields.
In : Hydrological research basins and the environment, eds. J.C. Hooghart, C.W.S. Posthumus en P.M.M. Warmerdam.
Proceedings of the International Conference on Hydrological Research Basins and the Environment, 24-28 september 1990, Wageningen, The Netherlands.

Groen, K.P. en H.J. Winkels, 1990
De uitspoeling, afbraak en vervluchtiging van dichloorpropeen op het proefbedrijf "De Waag".
Intern rapport Rijkswaterstaat, directie Flevoland.

Grondontsmetting in de landbouw, 1983
Vlugschrift voor de landbouw nr. 380.
Consulentschap voor landbouwwerktuigen en arbeid in samenwerking met het Consulentschap voor gewasbescherming en de Planteziektekundige dienst, Wageningen.

Harper, L.A., A.W. White Jr., R.R. Bruce, A.W. Thomas en R.A. Leonard, 1976
Soil and microclimate effects on trifluralin volatilization.
Journal of Environmental Quality, Vol. 5, no. 3, pp. 236-242.

Huygen, C. en J.A. Duiser, 1989

Concentraties van grondontsmettingsmiddelen nabij behandelde velden.
TNO-MT rapport R89/055.

Jury, W.A., A.M. Arthur, W.F. Spencer en D.D. Focht, 1987

Transport and transformation of organic chemicals in the soil-air-water ecosystem.
Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 99, pp. 120-164.

Keizer, M.G., 1987

Vluchtige organische chemicaliën.

In : Handboek voor milieubeheer, deel IV Bodembescherming, eds. C. van den Berg,
F.A.M. de Haan en D.A. Zeilmaker.
Samsom uitgeverij, Alphen a/d Rijn.

Kimball, B.A. en E.R. Lemon, 1971

Air turbulence effects upon soil gas exchange.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 35, pp 16-21.

Leistra, M., 1972

Diffusion and adsorption of the nematicide 1,3-dichloropropene in soil.
Doctoral thesis, Wageningen.

Leistra, M. en M.J.Frissel, 1974

Computations on the material balance of pesticides in soil.
In : Environmental quality and safety, supplement volume III, pp. 817-828, eds.
Coulston, F. en F. Korte. Georg Thieme Publishers Stuttgart, Germany.

Leistra, M. en J.H. Smelt, 1974

Optimum soil conditions for fumigation with metham-sodium.
Agro-Ecosystems 1, pp. 169-176.

Liem, K.O. en W.T. de Groot, 1984

Theoretische bevolkingsrisco's van het gebruik van bestrijdingsmiddelen voor de
bloembollenteelt in de bloembollenstreek.
CML-Bloembollenrapport nr. 2.

Mayer, R., J. Letey en W.J. Farmer, 1974

Models for predicting volatilization of soil-incorporated pesticides.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 38, pp. 563-568.

Pas, L.J.T. van der en M. Leistra, 1987

Movement and transformation of 1,3-dichloropropene in the soil of flower-bulb fields.
Archives of Environmental Contamination and Toxicology 16, pp. 417-422.

Rapportage Werkgroep Beperking Emissie, 1990

Achtergronddocument Meerjarenplan Gewasbescherming.
Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.

Siebering, H. en M. Leistra, 1979

Computer simulation of fumigant behaviour in soil. In : Soil desinfestation, ed. D. Mulder.
Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands.

Smelt, J.H., 1988

Optimalisering van de toepassing van bodembehandelingsmiddelen.
In : Samenvattingen van het symposium 'Lotgevallen en effecten van bestrijdingsmiddelen in het milieu' : Symposium ter gelegenheid van het afscheid van Dr A.M. van Doorn als directeur van het IOB.
Gewasbescherming 20 nr.2, pp. 43-49.

Smelt, J.H., S.J.H. Crum en W. Teunissen, 1989

Accelerated transformation of the fumigant methyl isothiocyanate in soil after repeated application of metham-sodium.
Journal of Environmental Science and Health, part B, 24 nr. 5, pp. 437-455.

Smelt, J.H., M. Leistra, M.C. Sprong en H.M. Nollen, 1974

Soil fumigation with dichloropropene and metham-sodium : Effect of soil cultivations on dose pattern.
Pesticide Science 5, pp. 419-428.

Smelt, J.H., W. Teunissen, S.J.H. Crum en M. Leistra, 1989a

Accelerated transformation of 1,3-dichloropropene in loamy soils.
Netherlands Journal of Agricultural Science 37, pp. 173-183.

Smelt, J.H., M. Leistra, S.J.H. Crum en W. Teunissen, 1989b

Distribution and dissipation of 1,3-dichloropropene after injection in structured loamy soils.

Acta Horticultura 255, pp. 37-48.

Spencer, W.F. en M.M. Cliath, 1973

Pesticide volatilization as related tot water loss from soil.

Journal of Environmental Quality, Vol. 2, no. 2, pp. 284-289.

Spencer, W.F. en M.M. Cliath, 1975

Vaporization of chemicals.

Environment Science Research 6, pp. 61-78.

Verdam, B., J.P.G. Loch en H.L.J. van Maaren, 1988

Bestrijdingsmiddelen in grondwater onder kwetsbare bodemtypen.

RIVM-rapport nr. 728473001.

Wheatly, G.A., 1973

Pesticides in the atmosphere.

In : Environmental pollution by pesticides, ed. C.A. Edwards. Plenum press, London.

BIJLAGE A Resultaten van de gevoeligheidsanalyses (tabellen A1 t/m A11)**Tabel A1**

Berekende daggemiddelde emissiesterkte ($g/(m^2 \cdot dag)$) van DCP en MITC in de referentiesituatie.

Dag	DCP	MITC	Dag	DCP	MITC
1	0,000	0,000	1	0,000	0,000
2	0,002	0,000	2	0,003	0,000
3	0,014	0,000	3	0,023	0,000
4	0,042	0,000	4	0,068	0,001
5	0,077	0,001	5	0,123	0,003
6	0,109	0,003	6	0,175	0,007
7	0,134	0,005	7	0,215	0,012
8	0,151	0,008	8	0,241	0,019
9	0,161	0,010	9	0,257	0,026
10	0,165	0,013	10	0,264	0,033
11	0,165	0,016	11	0,264	0,040
12	0,162	0,019	12	0,260	0,046
13	0,158	0,021	13	0,252	0,052
14	0,152	0,023	14	0,243	0,056
15	0,145	0,024	15	0,232	0,060
16	0,138	0,025	16	0,221	0,063
17	0,131	0,026	17	0,210	0,065
18	0,124	0,027	18	0,199	0,067
19	0,118	0,027	19	0,188	0,067
20	0,111	0,027	20	0,178	0,068
21	0,105	0,027	21	0,168	0,067

Tabel A2

Berekende daggemiddelde emissiesterkte ($g/(m^2 \cdot dag)$) van DCP en MITC bij de aanbevolen dosering voor de bollenteelt

Dag	DCP	MITC	Dag	DCP	MITC
1	0,000	0,000	1	0,000	0,000
2	0,002	0,000	2	0,003	0,000
3	0,014	0,000	3	0,023	0,000
4	0,042	0,000	4	0,068	0,001
5	0,077	0,001	5	0,123	0,003
6	0,109	0,003	6	0,175	0,007
7	0,134	0,005	7	0,215	0,012
8	0,151	0,008	8	0,241	0,019
9	0,161	0,010	9	0,257	0,026
10	0,165	0,013	10	0,264	0,033
11	0,165	0,016	11	0,264	0,040
12	0,162	0,019	12	0,260	0,046
13	0,158	0,021	13	0,252	0,052
14	0,152	0,023	14	0,243	0,056
15	0,145	0,024	15	0,232	0,060
16	0,138	0,025	16	0,221	0,063
17	0,131	0,026	17	0,210	0,065
18	0,124	0,027	18	0,199	0,067
19	0,118	0,027	19	0,188	0,067
20	0,111	0,027	20	0,178	0,068
21	0,105	0,027	21	0,168	0,067

Tabel A3

Berekende daggemiddelde emissiesterkte ($g/(m^2 \cdot dag)$) van DCP en MITC bij een organisch stofgehalte van 1%.

Dag	DCP	MITC	Dag	DCP	MITC
1	0,035	0,000	1	0,000	0,000
2	0,433	0,000	2	0,000	0,000
3	0,719	0,004	3	0,001	0,000
4	0,741	0,012	4	0,004	0,000
5	0,673	0,024	5	0,011	0,000
6	0,589	0,037	6	0,020	0,000
7	0,510	0,048	7	0,031	0,001
8	0,442	0,057	8	0,042	0,001
9	0,384	0,063	9	0,052	0,002
10	0,336	0,067	10	0,061	0,003
11	0,295	0,069	11	0,068	0,004
12	0,261	0,069	12	0,074	0,005
13	0,232	0,069	13	0,078	0,007
14	0,207	0,067	14	0,080	0,008
15	0,186	0,065	15	0,082	0,009
16	0,168	0,063	16	0,082	0,010
17	0,153	0,061	17	0,082	0,011
18	0,140	0,058	18	0,081	0,012
19	0,128	0,055	19	0,079	0,014
20	0,118	0,053	20	0,077	0,013
21	0,109	0,050	21	0,075	0,014

Tabel A5

Berekende daggemiddelde emissiesterkte
(g/(m².dag)) van DCP en MITC bij een
vochtgehalte van 25%.

Dag	DCP	MITC	Dag	DCP	MITC
1	0,000	0,000	1	0,000	0,000
2	0,018	0,000	2	0,000	0,000
3	0,086	0,001	3	0,000	0,000
4	0,172	0,005	4	0,001	0,000
5	0,234	0,012	5	0,004	0,000
6	0,269	0,021	6	0,008	0,000
7	0,281	0,029	7	0,014	0,000
8	0,280	0,037	8	0,021	0,000
9	0,270	0,043	9	0,028	0,000
10	0,257	0,048	10	0,035	0,000
11	0,241	0,051	11	0,041	0,001
12	0,225	0,053	12	0,047	0,001
13	0,209	0,054	13	0,051	0,001
14	0,194	0,054	14	0,055	0,002
15	0,180	0,054	15	0,057	0,002
16	0,167	0,053	16	0,059	0,003
17	0,154	0,052	17	0,060	0,003
18	0,143	0,050	18	0,061	0,003
19	0,133	0,048	19	0,061	0,004
20	0,123	0,047	20	0,061	0,004
21	0,114	0,045	21	0,060	0,005

Tabel A6

Berekende daggemiddelde emissiesterkte
(g/(m².dag)) van DCP en MITC bij een
vochtgehalte van 35%.

Dag	DCP	MITC	Dag	DCP	MITC
1	0,000	0,000	1	0,000	0,000
2	0,018	0,000	2	0,000	0,000
3	0,086	0,001	3	0,000	0,000
4	0,172	0,005	4	0,001	0,000
5	0,234	0,012	5	0,004	0,000
6	0,269	0,021	6	0,008	0,000
7	0,281	0,029	7	0,014	0,000
8	0,280	0,037	8	0,021	0,000
9	0,270	0,043	9	0,028	0,000
10	0,257	0,048	10	0,035	0,000
11	0,241	0,051	11	0,041	0,001
12	0,225	0,053	12	0,047	0,001
13	0,209	0,054	13	0,051	0,001
14	0,194	0,054	14	0,055	0,002
15	0,180	0,054	15	0,057	0,002
16	0,167	0,053	16	0,059	0,003
17	0,154	0,052	17	0,060	0,003
18	0,143	0,050	18	0,061	0,003
19	0,133	0,048	19	0,061	0,004
20	0,123	0,047	20	0,061	0,004
21	0,114	0,045	21	0,060	0,005

Tabel A7

Berekende daggemiddelde emissiesterkte
(g/(m².dag)) van DCP en MITC bij een
bodemtemperatuur van 5°C.

Dag	DCP	MITC	Dag	DCP	MITC
1	0,000	0,000	1	0,000	0,000
2	0,000	0,000	2	0,007	0,000
3	0,003	0,000	3	0,042	0,001
4	0,012	0,000	4	0,099	0,003
5	0,027	0,000	5	0,153	0,007
6	0,045	0,001	6	0,191	0,013
7	0,063	0,002	7	0,213	0,019
8	0,078	0,003	8	0,223	0,026
9	0,091	0,004	9	0,224	0,031
10	0,100	0,005	10	0,219	0,036
11	0,106	0,007	11	0,211	0,040
12	0,110	0,009	12	0,201	0,042
13	0,111	0,010	13	0,190	0,044
14	0,111	0,012	14	0,179	0,045
15	0,110	0,013	15	0,168	0,045
16	0,108	0,014	16	0,157	0,045
17	0,105	0,015	17	0,147	0,045
18	0,101	0,016	18	0,137	0,044
19	0,098	0,017	19	0,128	0,043
20	0,094	0,017	20	0,120	0,042
21	0,090	0,018	21	0,112	0,040

Tabel A8

Berekende daggemiddelde emissiesterkte
(g/(m².dag)) van DCP en MITC bij een
bodemtemperatuur van 15°C.

Dag	DCP	MITC	Dag	DCP	MITC
1	0,000	0,000	1	0,000	0,000
2	0,000	0,000	2	0,007	0,000
3	0,003	0,000	3	0,042	0,001
4	0,012	0,000	4	0,099	0,003
5	0,027	0,000	5	0,153	0,007
6	0,045	0,001	6	0,191	0,013
7	0,063	0,002	7	0,213	0,019
8	0,078	0,003	8	0,223	0,026
9	0,091	0,004	9	0,224	0,031
10	0,100	0,005	10	0,219	0,036
11	0,106	0,007	11	0,211	0,040
12	0,110	0,009	12	0,201	0,042
13	0,111	0,010	13	0,190	0,044
14	0,111	0,012	14	0,179	0,045
15	0,110	0,013	15	0,168	0,045
16	0,108	0,014	16	0,157	0,045
17	0,105	0,015	17	0,147	0,045
18	0,101	0,016	18	0,137	0,044
19	0,098	0,017	19	0,128	0,043
20	0,094	0,017	20	0,120	0,042
21	0,090	0,018	21	0,112	0,040

Tabel A9

Berekende daggemiddelde emissiesterkte
(g/(m².dag)) van DCP en MITC bij een
halfwaardetijd van 5 dagen.

Dag	DCP	MITC
1	0,000	0,000
2	0,002	0,000
3	0,011	0,000
4	0,029	0,000
5	0,047	0,001
6	0,060	0,002
7	0,066	0,002
8	0,066	0,003
9	0,063	0,004
10	0,058	0,005
11	0,052	0,005
12	0,045	0,005
13	0,040	0,005
14	0,034	0,005
15	0,029	0,005
16	0,025	0,005
17	0,021	0,004
18	0,018	0,004
19	0,015	0,003
20	0,013	0,003
21	0,011	0,003

Tabel A10

Berekende daggemiddelde emissiesterkte
(g/(m².dag)) van DCP en MITC bij een
halfwaardetijd van 45 dagen.

Dag	DCP	MITC
1	0,000	0,000
2	0,002	0,000
3	0,015	0,000
4	0,044	0,000
5	0,082	0,001
6	0,117	0,003
7	0,145	0,005
8	0,165	0,008
9	0,178	0,012
10	0,185	0,015
11	0,188	0,018
12	0,187	0,021
13	0,184	0,024
14	0,179	0,027
15	0,174	0,029
16	0,168	0,030
17	0,161	0,032
18	0,154	0,033
19	0,148	0,034
20	0,141	0,034
21	0,135	0,035

Tabel A11

Berekende daggemiddelde emissiesterkte
(g/(m².dag)) van DCP en MITC bij een
andere berekeningswijze van de effectieve D_b .

Dag	DCP	MITC
1	0,000	0,0000
2	0,000	0,0000
3	0,000	0,0000
4	0,000	0,0000
5	0,000	0,0000
6	0,001	0,0000
7	0,002	0,0000
8	0,004	0,0000
9	0,006	0,0000
10	0,008	0,0001
11	0,011	0,0001
12	0,014	0,0002
13	0,016	0,0002
14	0,019	0,0003
15	0,021	0,0004
16	0,023	0,0005
17	0,025	0,0006
18	0,027	0,0008
19	0,029	0,0009
20	0,030	0,0011
21	0,031	0,0012

BIJLAGE B Resultaten van de "reasonable worst case" berekeningen, tabellen B1 t/m B3

Tabel B1

Berekende daggemiddelde emissiesterkte ($g/(m^2.dag)$) van DCP en MITC voor een "reasonable worst case" in de aardappelteelt.

Dag	DCP	MITC	Dag	DCP	MITC
1	0,011	0,000	1	0,965	0,003
2	0,215	0,004	2	2,74	0,096
3	0,476	0,024	3	2,26	0,309
4	0,571	0,055	4	1,70	0,460
5	0,565	0,083	5	1,30	0,520
6	0,523	0,103	6	1,03	0,523
7	0,470	0,113	7	0,831	0,500
8	0,418	0,117	8	0,691	0,464
9	0,371	0,117	9	0,588	0,426
10	0,330	0,114	10	0,510	0,388
11	0,293	0,109	11	0,450	0,353
12	0,262	0,104	12	0,402	0,321
13	0,235	0,098	13	0,364	0,291
14	0,211	0,092	14	0,332	0,265
15	0,190	0,086	15	0,305	0,241
16	0,172	0,080	16	0,281	0,220
17	0,157	0,075	17	0,260	0,201
18	0,143	0,070	18	0,241	0,185
19	0,131	0,065	19	0,224	0,169
20	0,120	0,061	20	0,209	0,156
21	0,110	0,057	21	0,194	0,144

Tabel B2

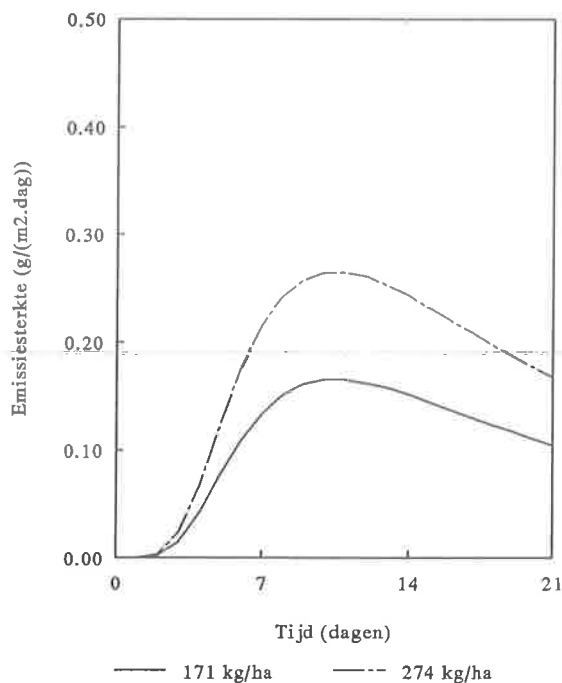
Berekende daggemiddelde emissiesterkte ($g/(m^2.dag)$) van DCP en MITC voor een "reasonable worst case" in de bollenteelt bij de aanbevolen dosering.

Tabel B3

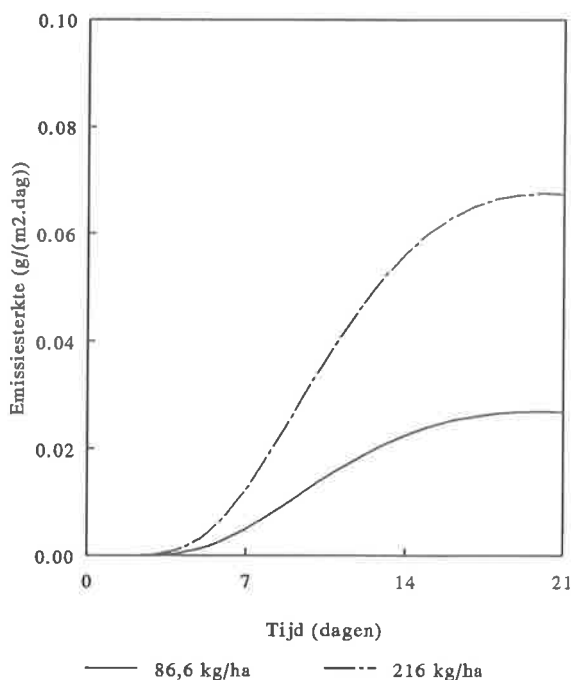
Berekende daggemiddelde emissiesterkte ($g/(m^2.dag)$) van DCP voor een "reasonable worst case" in de bollenteelt bij zeer hoge dosering

Dag	DCP
1	2,01
2	5,70
3	4,71
4	3,55
5	2,72
6	2,14
7	1,73
8	1,44
9	1,22
10	1,06
11	0,938
12	0,839
13	0,758
14	0,692
15	0,635
16	0,585
17	0,541
18	0,502
19	0,467
20	0,435
21	0,405

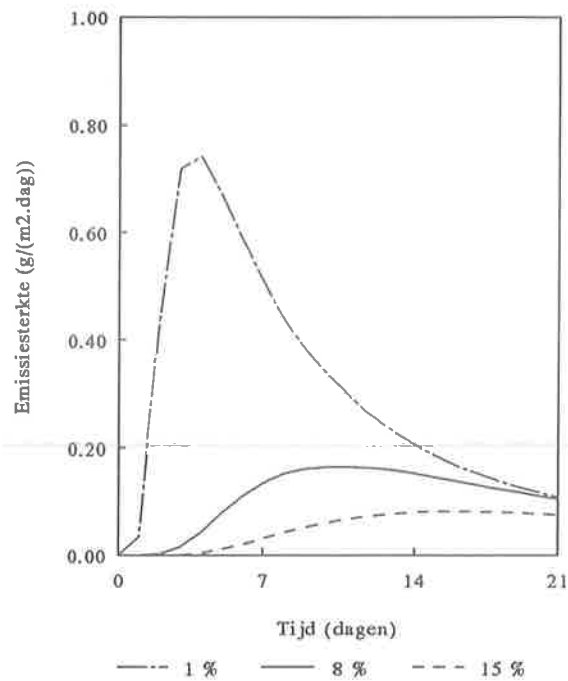
BIJLAGE C Figuren met het emissieverloop in de tijd figuren C1 t/m C14



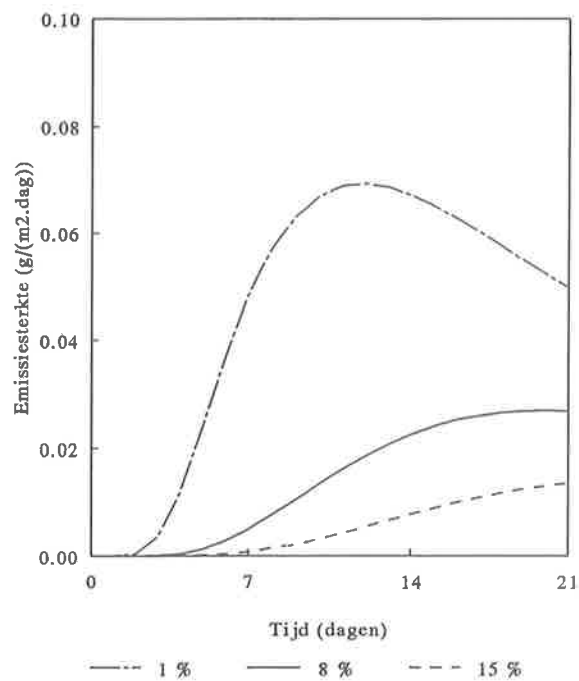
Figuur C1 Daggemiddelde emissiesterkte van DCP uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (dosering 171 kg/ha) en voor een situatie met de aanbevolen dosering voor de bloembollenteelt (274 kg/ha).



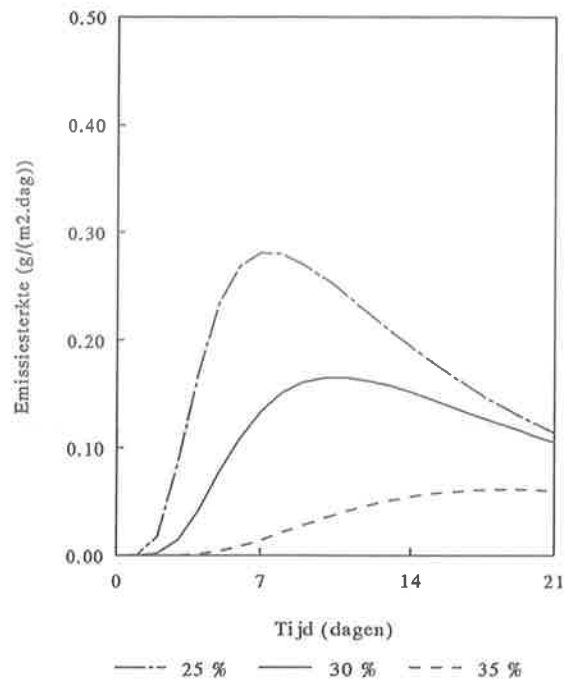
Figuur C2 Daggemiddelde emissiesterkte van MITC uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (dosering 86,6 kg/ha) en voor een situatie met de aanbevolen dosering voor de bloembollenteelt (216 kg/ha).



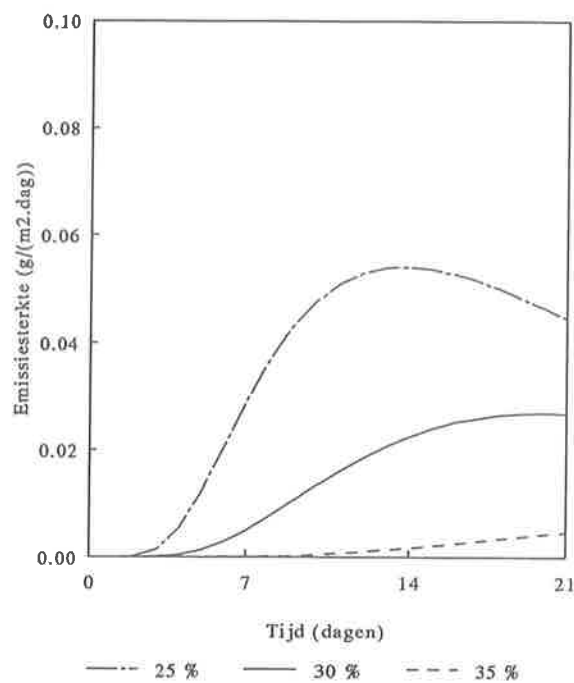
Figuur C3 Daggemiddelde emissiesterkte van DCP uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (organisch stofgehalte 8%) en voor een situatie met een lager (1%) en een hoger (15%) organisch stofgehalte.



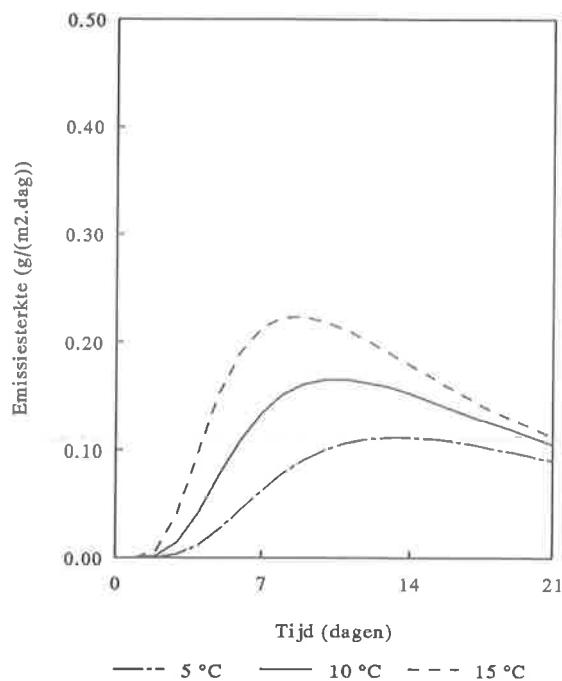
Figuur C4 Daggemiddelde emissiesterkte van MITC uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (organisch stofgehalte 8%) en voor een situatie met een lager (1%) en een hoger (15%) organisch stofgehalte.



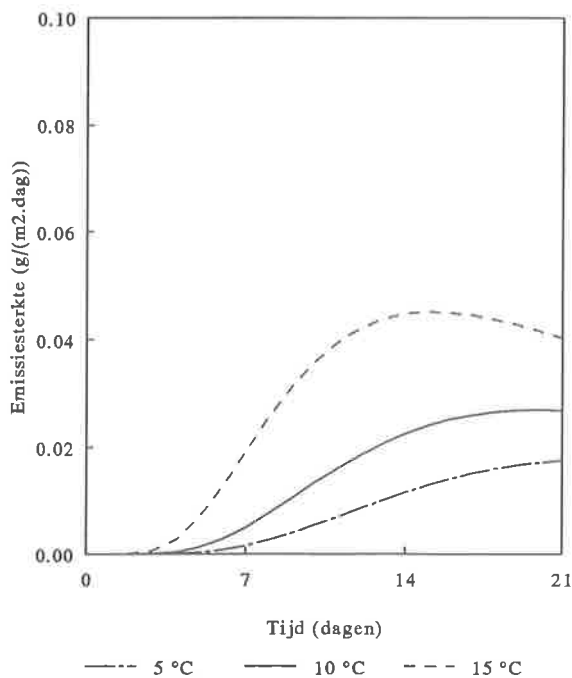
Figuur C5 Daggemiddelde emissiesterkte van DCP uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (vochtgehalte 30%) en voor een situatie met een lager (25%) en een hoger (35%) vochtgehalte.



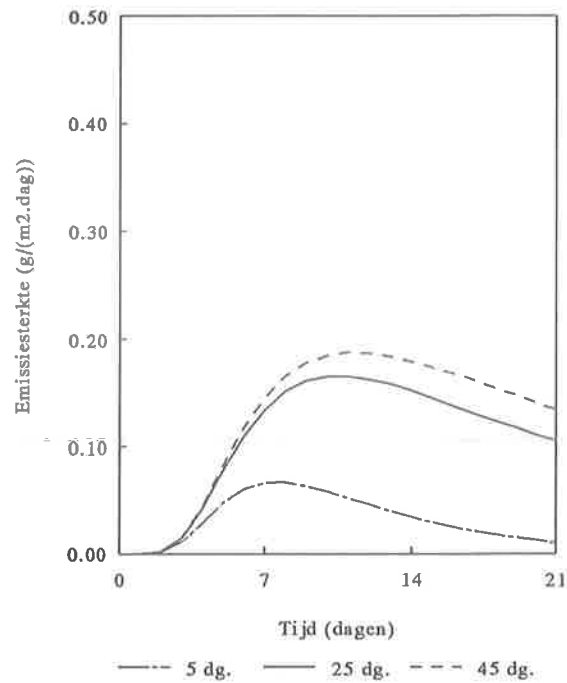
Figuur C6 Daggemiddelde emissiesterkte van MITC uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (vochtgehalte 30%) en voor een situatie met een lager (25%) en een hoger (35%) vochtgehalte.



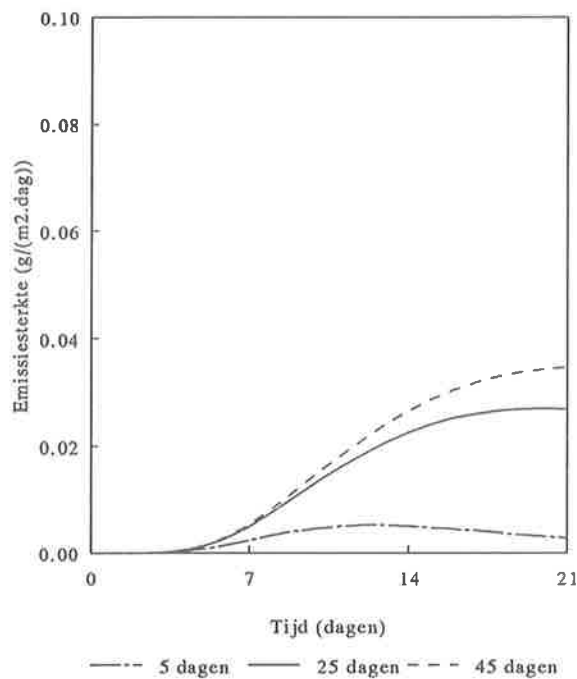
Figuur C7 Daggemiddelde emissiesterkte van DCP uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (bodemtemperatuur 10°C) en voor een situatie met een lagere (5°C) en een hogere (15°C) bodemtemperatuur.



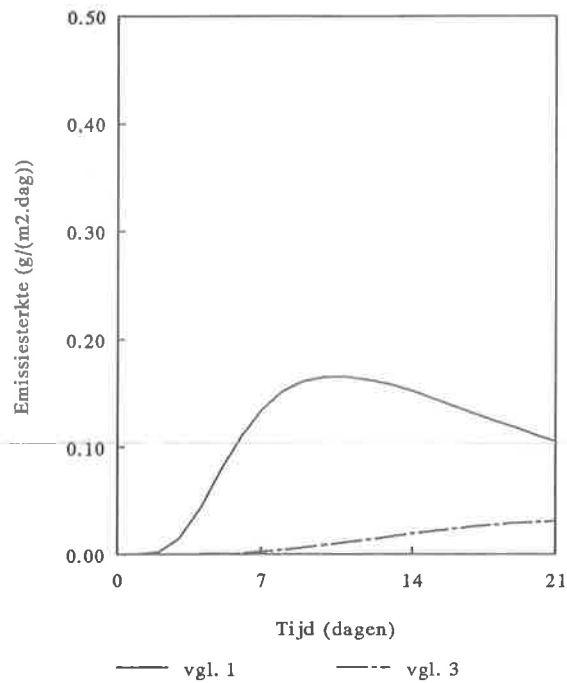
Figuur C8 Daggemiddelde emissiesterkte van MITC uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (bodemtemperatuur 10°C) en voor een situatie met een lagere (5°C) en een hogere (15°C) bodemtemperatuur.



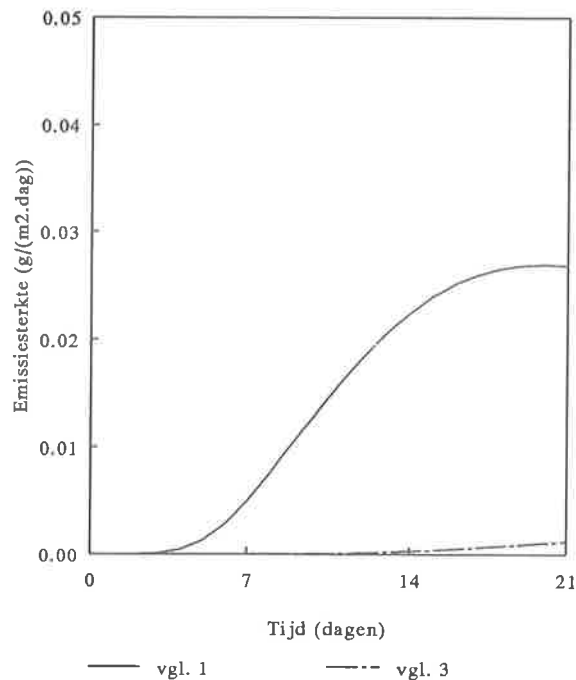
Figuur C9 Daggemiddelde emissiesterkte van DCP uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (halfwaardetijd door afbraak 25 dagen) en voor een situatie met een lagere (5 dagen) en een hogere (45 dagen) halfwaardetijd door afbraak.



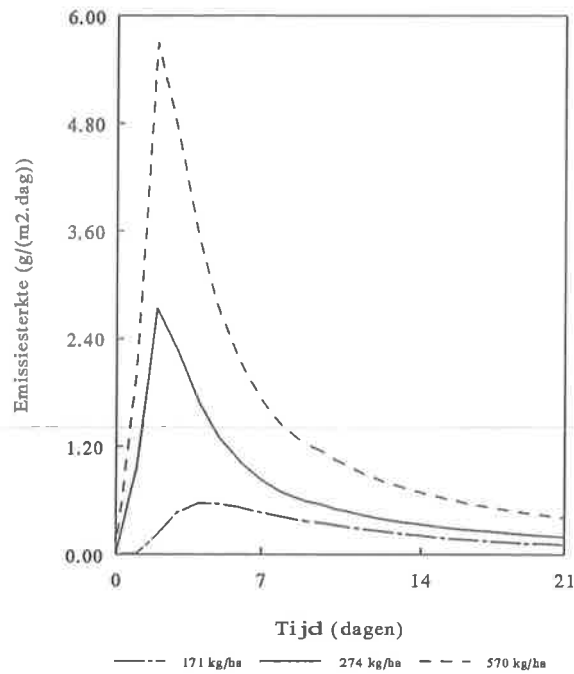
Figuur C10 Daggemiddelde emissiesterkte van MITC uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (halfwaardetijd door afbraak 25 dagen) en voor een situatie met een lagere (5 dagen) en een hogere (45 dagen) halfwaardetijd door afbraak.



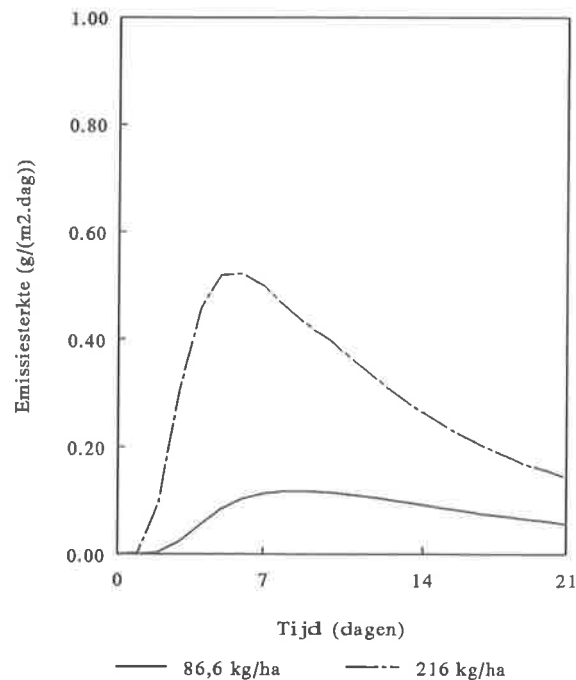
Figuur C11 Daggemiddelde emissiesterkte van DCP uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (berekening effectieve diffusiecoëfficiënt met vgl. 1 (§3.2)) en voor een situatie waarbij de effectieve diffusiecoëfficiënt met vgl. 3 (§3.8) is berekend.



Figuur C12 Daggemiddelde emissiesterkte van MITC uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor de referentiesituatie (berekening effectieve diffusiecoëfficiënt met vgl. 1 (§3.2)) en voor een situatie waarbij de effectieve diffusiecoëfficiënt met vgl. 3 (§3.8) is berekend.



Figuur C13 Daggemiddelde emissiesterkte van DCP uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor "reasonable worst cases" in de aardappelteelt (dosering 171 kg/ha) en de bloembollenteelt (doseringen 274 kg/ha en 570 kg/ha).



Figuur C14 Daggemiddelde emissiesterkte van MITC uitgezet tegen de tijd na ontsmetting voor "reasonable worst cases" in de aardappelteelt (dosering 86,6 kg/ha) en de bloembollenteelt (dosering 216 kg/ha).

BIJLAGE D Tabellen met de invoer en uitvoer van de verspreidingsberekeningen tabellen D1 t/m D10

Tabel D1 Meteorologie representatief verondersteld voor een middelmatige dag (23/24 februari 1981).

Tijd (uur)	Windrichting (graden)	Windsnelheid (m/s)	Stabiliteit -	Menghoogte (m)	Temperatuur (K)
14.00	85	4.5	2	1000	288
15.00	88	4.5	2	1000	288
16.00	88	4.3	2	1000	288
17.00	85	4.0	2	1000	288
18.00	80	3.8	5	1000	288
19.00	75	3.5	5	1000	288
20.00	70	3.3	5	1000	288
21.00	70	3.0	6	1000	288
22.00	65	2.8	6	1000	288
23.00	60	2.5	6	1000	288
24.00	60	2.5	5	1000	288
01.00	50	3.0	5	1000	288
02.00	50	2.5	5	1000	288
03.00	50	3.0	5	1000	288
04.00	40	2.5	6	1000	288
05.00	50	3.5	4	1000	288
06.00	50	4.0	4	1000	288
07.00	50	4.0	4	1000	288
08.00	50	4.5	4	1000	288
09.00	40	5.0	4	1000	288
10.00	40	5.0	4	1000	288
11.00	40	5.5	4	1000	288
12.00	50	5.5	4	1000	288
13.00	40	6.0	4	1000	288

Tabel D2 Meteorologie representatief verondersteld voor een ongunstige dag (26/27 september 1989).

Tijd (uur)	Windrichting (graden)	Windsnelheid (m/s)	Stabiliteit -	Menghoogte (m)	Temperatuur (K)
14.00	85	3.0	3	1000	288
15.00	88	4.0	2	1000	288
16.00	88	4.0	2	1000	288
17.00	85	4.0	3	1000	288
18.00	80	4.0	2	1000	288
19.00	75	3.5	2	1000	288
20.00	70	3.0	2	1000	288
21.00	70	1.5	6	1000	288
22.00	65	1.5	6	1000	288
23.00	60	1.5	5	1000	288
24.00	60	2.0	4	1000	288
01.00	50	2.0	5	1000	288
02.00	50	1.5	4	1000	288
03.00	50	1.0	6	1000	288
04.00	40	1.0	6	1000	288
05.00	50	1.0	4	1000	288
06.00	50	1.0	4	1000	288
07.00	50	1.5	4	1000	288
08.00	50	2.0	4	1000	288
09.00	40	1.0	4	1000	288
10.00	40	2.0	3	1000	288
11.00	40	2.0	3	1000	288
12.00	50	3.5	4	1000	288
13.00	40	3.0	4	1000	288

Tabel D3 *Berekende daggemiddelde concentratie in de lucht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op 1 m hoogte bij een veldgrootte van 250 x 250 m onder middelmatige meteorologische omstandigheden.*

Afstand (km)	Concentratie			
	DCP		MITC	
	aardappelen	bloembollen	aardappelen	bloembollen
0.0	86.96	868.11	17.82	79.65
0.1	42.76	426.82	8.76	39.16
0.2	27.41	273.66	5.62	25.11
0.3	19.08	190.49	3.91	17.48
0.4	14.10	140.79	2.89	12.92
0.5	10.97	109.55	2.25	10.05
0.6	8.84	88.29	1.81	8.10
0.7	7.32	73.07	1.50	6.70
0.8	6.18	61.67	1.27	5.66
0.9	5.29	52.84	1.08	4.85
1.0	4.59	45.83	0.94	4.20
1.1	4.03	40.19	0.82	3.69
1.2	3.56	35.57	0.73	3.26
1.3	3.17	31.69	0.65	2.91
1.4	2.82	28.16	0.58	2.58
1.5	2.58	25.71	0.53	2.36
1.6	2.34	23.37	0.48	2.14
1.7	2.14	21.32	0.44	1.96
1.8	1.96	19.55	0.40	1.79
1.9	1.80	18.01	0.37	1.65
2.0	1.67	16.70	0.34	1.53

Tabel D4 *Berekende uurgemiddelde concentratie (ongunstigste uur) in de lucht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op 1 m hoogte bij een veldgrootte van 250 x 250 m onder middelmatige meteorologische omstandigheden.*

Afstand (km)	Concentratie			
	DCP		MITC	
	aardappelen	bloembollen	aardappelen	bloembollen
0.0	205.33	2049.72	42.07	188.07
0.1	136.81	1365.72	28.03	125.31
0.2	103.35	1031.70	21.18	94.66
0.3	83.42	832.77	17.09	76.41
0.4	70.06	699.39	14.36	64.17
0.5	60.13	600.21	12.32	55.07
0.6	52.34	522.52	10.73	47.94
0.7	46.05	459.65	9.43	42.17
0.8	40.84	407.66	8.37	37.40
0.9	36.56	364.97	7.49	33.49
1.0	32.98	329.18	6.76	30.20
1.1	29.91	298.57	6.13	27.39
1.2	27.26	272.12	5.59	24.97
1.3	24.96	249.15	5.11	22.86
1.4	22.94	229.03	4.70	21.01
1.5	21.17	211.36	4.34	19.39
1.6	19.60	195.68	4.02	17.95
1.7	18.21	181.77	3.73	16.68
1.8	16.96	169.35	3.48	15.54
1.9	15.85	158.23	3.25	14.52
2.0	14.85	148.20	3.04	13.60

Tabel D5 Berekende daggemiddelde concentratie in de lucht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op 1 m hoogte bij een veldgrootte van 500 x 500 m onder middelmatige meteorologische omstandigheden.

Afstand (km)	Concentratie			
	DCP		MITC	
	aardappelen	bloembollen	aardappelen	bloembollen
0.0	120.31	1200.99	24.65	110.20
0.1	71.60	714.78	14.67	65.58
0.2	52.98	528.90	10.86	48.53
0.3	41.78	417.07	8.56	38.27
0.4	33.92	338.64	6.95	31.07
0.5	28.08	280.27	5.75	25.72
0.6	23.58	235.41	4.83	21.60
0.7	20.12	200.81	4.12	18.43
0.8	17.42	173.85	3.57	15.95
0.9	15.29	152.59	3.13	14.00
1.0	13.57	135.43	2.78	12.43
1.1	12.15	121.24	2.49	11.12
1.2	10.95	109.33	2.24	10.03
1.3	9.94	99.18	2.04	9.10
1.4	9.06	90.40	1.86	8.29
1.5	8.30	82.88	1.70	7.60
1.6	7.65	76.32	1.57	7.00
1.7	7.07	70.57	1.45	6.47
1.8	6.56	65.44	1.34	6.00
1.9	6.10	60.88	1.25	5.59
2.0	5.69	56.83	1.17	5.21

Tabel D6 Berekende uurgemiddelde concentratie (ongunstigste uur) in de lucht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op 1 m hoogte bij een veldgrootte van 500 x 500 m onder middelmatige meteorologische omstandigheden.

Afstand (km)	Concentratie			
	DCP		MITC	
	aardappelen	bloembollen	aardappelen	bloembollen
0.0	296.75	2962.29	60.80	271.80
0.1	217.67	2172.84	44.60	199.37
0.2	175.93	1756.17	36.05	161.14
0.3	150.52	1502.52	30.84	137.86
0.4	132.30	1320.69	27.11	121.18
0.5	117.91	1177.05	24.16	108.00
0.6	106.83	1066.47	21.89	97.85
0.7	97.70	975.27	20.02	89.49
0.8	89.93	897.75	18.43	82.37
0.9	83.19	830.49	17.05	76.20
1.0	77.37	772.35	15.85	70.87
1.1	72.17	720.48	14.79	66.11
1.2	67.55	674.31	13.84	61.87
1.3	63.38	632.70	12.99	58.05
1.4	59.61	595.08	12.21	54.60
1.5	56.15	560.48	11.50	51.43
1.6	53.01	529.13	10.86	48.55
1.7	50.17	500.80	10.28	45.95
1.8	47.60	475.21	9.75	43.60
1.9	45.24	451.61	9.27	41.44
2.0	43.06	429.84	8.82	39.44

Tabel D7 Berekende daggemiddelde concentratie in de lucht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op 1 m hoogte bij een veldgrootte van 250 x 250 m onder ongunstige meteorologische omstandigheden.

Afstand (km)	Concentratie			
	DCP		MITC	
	aardappelen	bloembollen	aardappelen	bloembollen
0.0	165.82	1655.28	33.98	151.88
0.1	80.40	802.56	16.47	73.64
0.2	51.88	517.85	10.63	47.51
0.3	36.48	364.12	7.47	33.41
0.4	27.32	272.69	5.60	25.02
0.5	21.52	214.78	4.41	19.71
0.6	17.51	174.76	3.59	16.04
0.7	14.57	145.46	2.99	13.35
0.8	12.34	123.18	2.53	11.30
0.9	10.59	105.74	2.17	9.70
1.0	9.20	91.88	1.89	8.43
1.1	8.08	80.66	1.66	7.40
1.2	7.15	71.42	1.47	6.55
1.3	6.39	63.78	1.31	5.85
1.4	5.74	57.34	1.18	5.26
1.5	5.20	51.93	1.07	4.76
1.6	4.75	47.37	0.97	4.35
1.7	4.35	43.38	0.89	3.98
1.8	4.00	39.96	0.82	3.67
1.9	3.69	36.88	0.76	3.38
2.0	3.43	34.20	0.70	3.14

Tabel D8 Berekende uurgemiddelde concentratie (ongunstigste uur) in de lucht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op 1 m hoogte bij een veldgrootte van 250 x 250 m onder ongunstige meteorologische omstandigheden.

Afstand (km)	Concentratie			
	DCP		MITC	
	aardappelen	bloembollen	aardappelen	bloembollen
0.0	513.27	5123.73	105.17	470.12
0.1	342.09	3414.87	70.09	313.33
0.2	258.43	2579.82	52.95	236.71
0.3	208.64	2082.78	42.75	191.10
0.4	175.24	1749.33	35.91	160.51
0.5	150.34	1500.81	30.81	137.71
0.6	130.87	1306.44	26.82	119.87
0.7	115.11	1149.12	23.59	105.44
0.8	102.09	1019.16	20.92	93.51
0.9	91.42	912.57	18.73	83.73
1.0	82.45	823.08	16.89	75.52
1.1	74.74	746.13	15.32	68.46
1.2	68.18	680.58	13.97	62.45
1.3	62.41	623.01	12.79	57.16
1.4	57.33	572.28	11.75	52.51
1.5	52.93	528.33	10.84	48.48
1.6	49.01	489.23	10.04	44.89
1.7	45.53	454.46	9.33	41.70
1.8	42.41	423.40	8.69	38.85
1.9	39.63	395.64	8.12	36.30
2.0	37.11	370.50	7.61	34.00

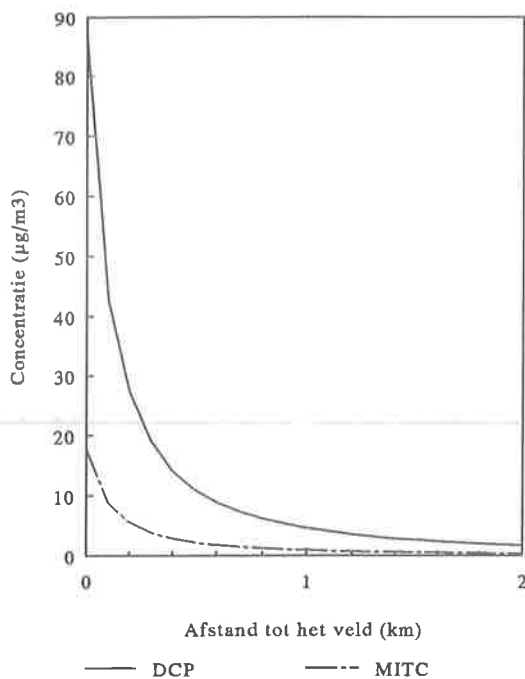
Tabel D9 Berekende daggemiddelde concentratie in de lucht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op 1 m hoogte bij een veldgrootte van 500 x 500 m onder ongunstige meteorologische omstandigheden.

Afstand (km)	Concentratie			
	DCP		MITC	
	aardappelen	bloembollen	aardappelen	bloembollen
0.0	228.00	2276.01	46.72	208.83
0.1	134.13	1338.93	27.48	122.85
0.2	99.64	994.65	20.42	91.26
0.3	78.80	786.60	16.15	72.17
0.4	64.18	640.68	13.15	58.79
0.5	53.37	532.72	10.93	48.88
0.6	45.13	450.53	9.25	41.34
0.7	38.81	387.37	7.95	35.54
0.8	33.85	337.95	6.94	31.01
0.9	29.95	298.97	6.14	27.43
1.0	26.72	266.70	5.47	24.47
1.1	24.04	240.03	4.93	22.02
1.2	21.80	217.57	4.47	19.96
1.3	19.85	198.19	4.07	18.18
1.4	18.16	181.32	3.72	16.64
1.5	16.68	166.55	3.42	15.28
1.6	15.39	153.62	3.15	14.09
1.7	14.24	142.10	2.92	13.04
1.8	13.21	131.90	2.71	12.10
1.9	12.30	122.78	2.52	11.27
2.0	11.48	114.63	2.35	10.52

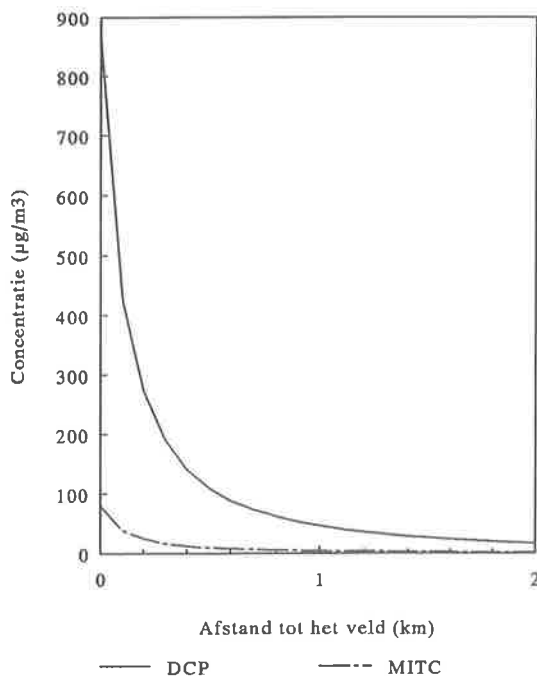
Tabel D10 Berekende uurgemiddelde concentratie (ongunstigste uur) in de lucht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op 1 m hoogte bij een veldgrootte van 500 x 500 m onder ongunstige meteorologische omstandigheden.

Afstand (km)	Concentratie			
	DCP		MITC	
	aardappelen	bloembollen	aardappelen	bloembollen
0.0	741.73	7404.30	151.98	679.38
0.1	544.11	5431.53	111.49	498.37
0.2	439.84	4390.71	90.13	402.87
0.3	376.23	3755.73	77.09	344.60
0.4	330.78	3302.01	67.78	302.97
0.5	294.75	2942.34	60.40	269.97
0.6	267.11	2666.46	54.73	244.66
0.7	244.22	2437.89	50.04	223.69
0.8	224.80	2244.09	46.06	205.91
0.9	208.07	2077.08	42.63	190.58
1.0	193.40	1930.59	39.63	177.14
1.1	180.44	1801.20	36.97	165.27
1.2	168.84	1685.49	34.60	154.65
1.3	158.40	1581.18	32.46	145.08
1.4	148.97	1487.13	30.53	136.45
1.5	140.35	1401.06	28.76	128.55
1.6	132.53	1322.97	27.16	121.39
1.7	125.39	1251.72	25.69	114.85
1.8	119.00	1187.88	24.38	108.99
1.9	113.12	1129.17	23.18	103.61
2.0	107.63	1074.45	22.05	98.59

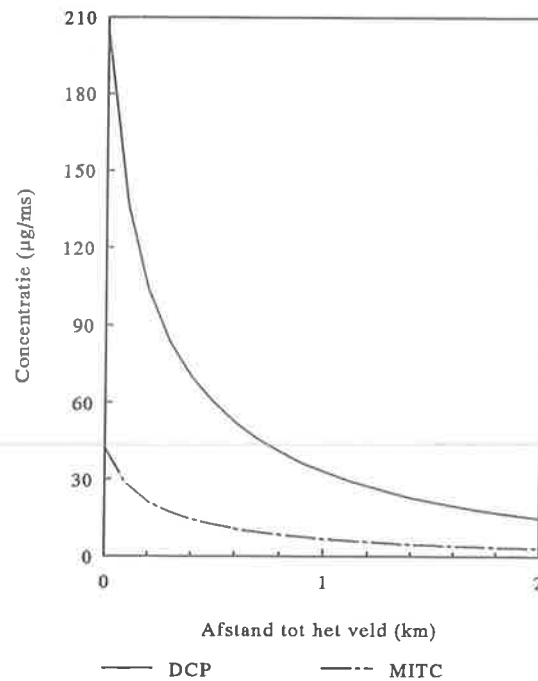
BIJLAGE E Figuren met de concentratie-afstand relaties



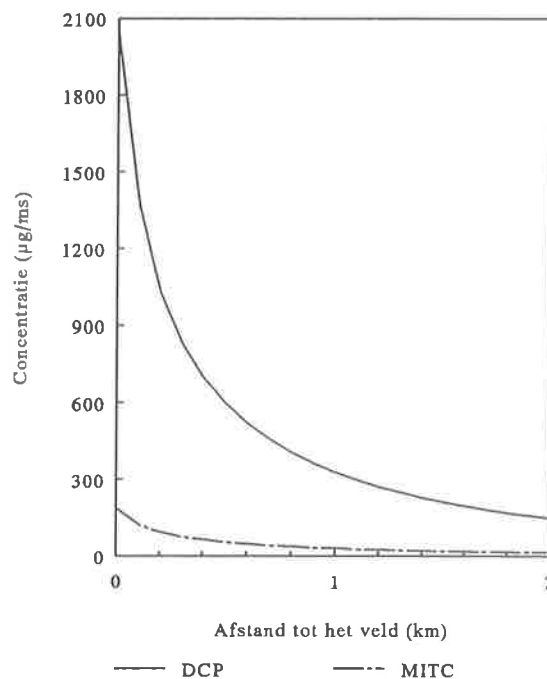
Figuur E1 Daggemiddelde concentratie van DCP en MITC in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de aardappelteelt (doseringen 171 kg DCP/ha en 86,6 kg MITC/ha), een veld van 250x250 m en onder middelmatige meteorologische omstandigheden.



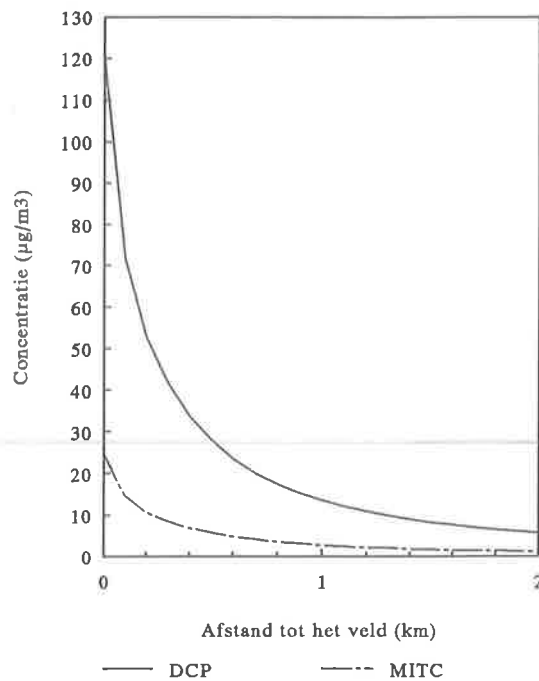
Figuur E2 Daggemiddelde concentratie van DCP en MITC in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de bloembollenteelt (doseringen 570 kg DCP/ha en 216 kg MITC/ha), een veld van 250x250 m en onder middelmatige meteorologische omstandigheden.



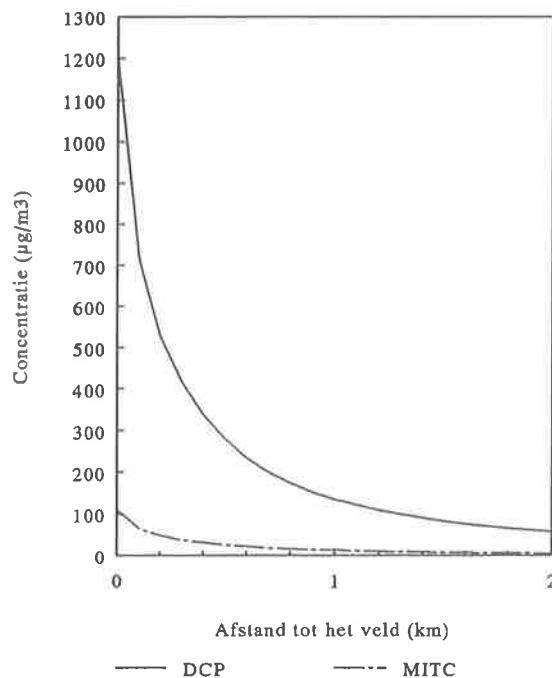
Figuur E3 1-uurgemiddelde concentratie van DCP en MITC (ongunstigste uur) in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de aardappelteelt (doseringen 171 kg DCP/ha en 86,6 MITC/ha), een veld van 250x250 en onder middelmatige meteorologische omstandigheden.



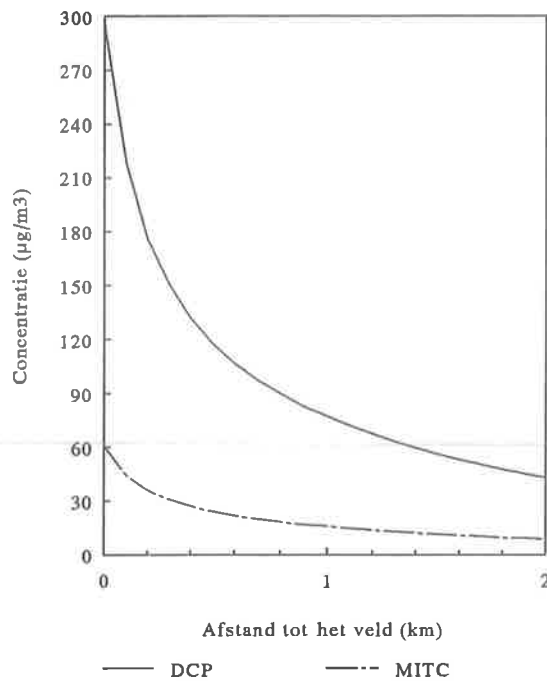
Figuur E4 1-uurgemiddelde concentratie van DCP en MITC (ongunstigste uur) in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de bloembollenteelt (doseringen 570 kg DCP/ha en 216 MITC/ha), een veld van 250x250 en onder middelmatige meteorologische omstandigheden.



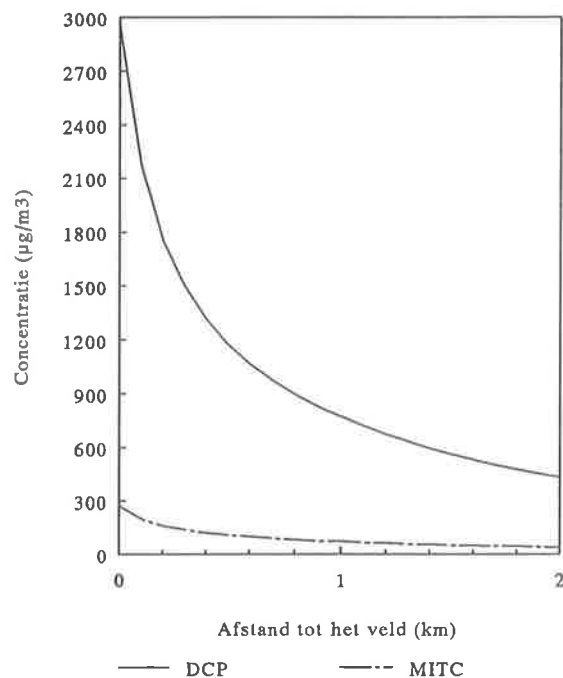
Figuur E5 Daggemiddelde concentratie van DCP en MITC in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de aardappelteelt (doseringen 171 kg DCP/ha en 86,6 MITC/ha), een veld van 500x500 en onder middelmatige meteorologische omstandigheden.



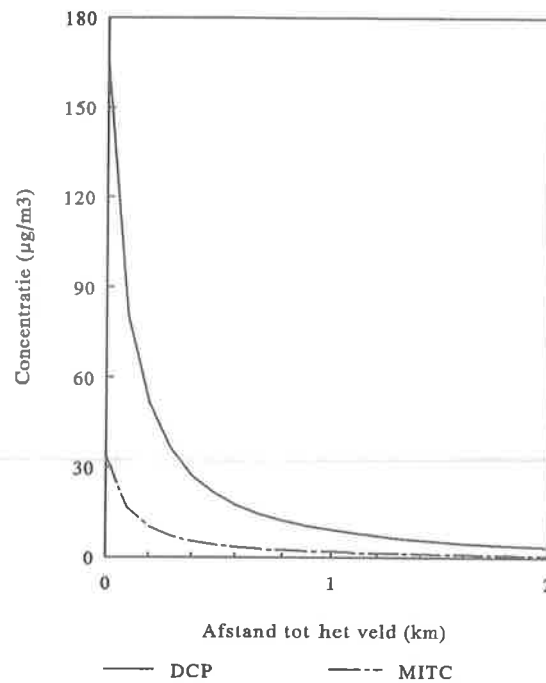
Figuur E6 Daggemiddelde concentratie van DCP en MITC in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de bloembollenteelt (doseringen 570 kg DCP/ha en 216 MITC/ha), een veld van 500x500 en onder middelmatige meteorologische omstandigheden.



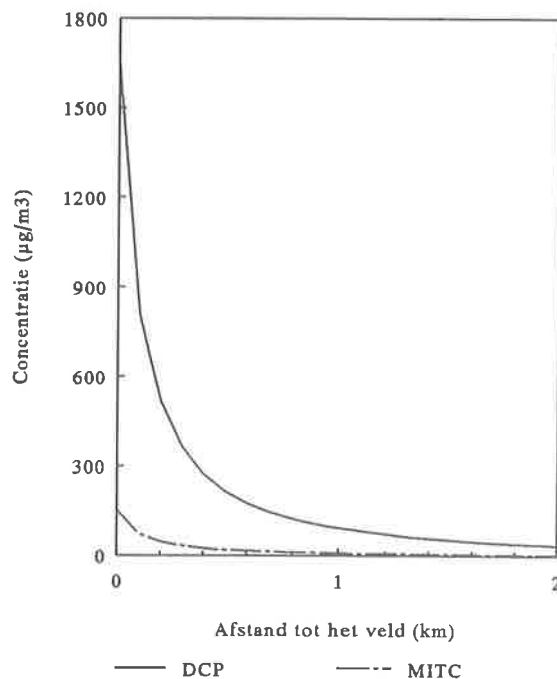
Figuur E7 1-uurgemiddelde concentratie van DCP en MITC (ongunstigste uur) in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de aardappelteelt (doseringen 171 kg DCP/ha en 86,6 MITC/ha), een veld van 500x500 en onder middelmatige meteorologische omstandigheden.



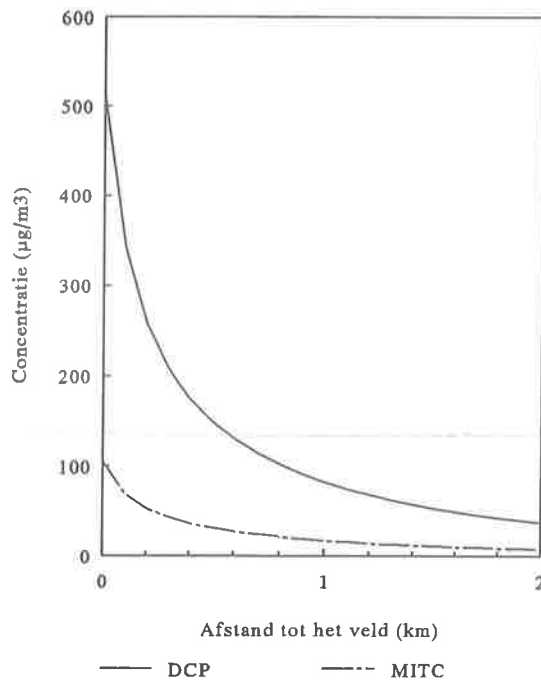
Figuur E8 1-uurgemiddelde concentratie van DCP en MITC (ongunstigste uur) in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de bloembollenteelt (doseringen 570 kg DCP/ha en 216 MITC/ha), een veld van 500x500 en onder middelmatige meteorologische omstandigheden.



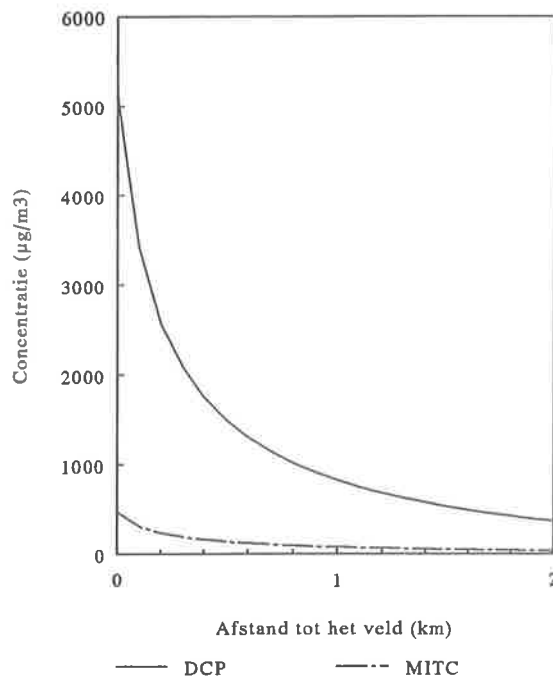
Figuur E9 Daggemiddelde concentratie van DCP en MITC in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de aardappelteelt (doseringen 171 kg DCP/ha en 86,6 MITC/ha), een veld van 250x250 en onder ongunstige meteorologische omstandigheden.



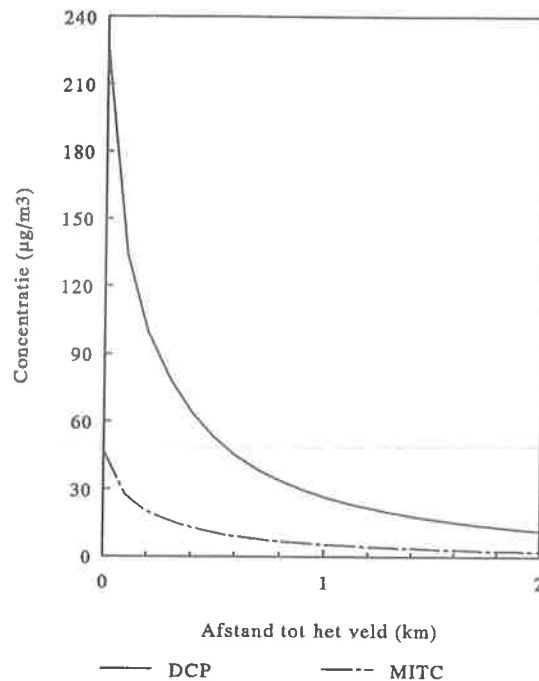
Figuur E10 Daggemiddelde concentratie van DCP en MITC (ongunstigste uur) in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de bloembollenteelt (doseringen 570 kg DCP/ha en 216 MITC/ha), een veld van 250x250 en onder ongunstige meteorologische omstandigheden.



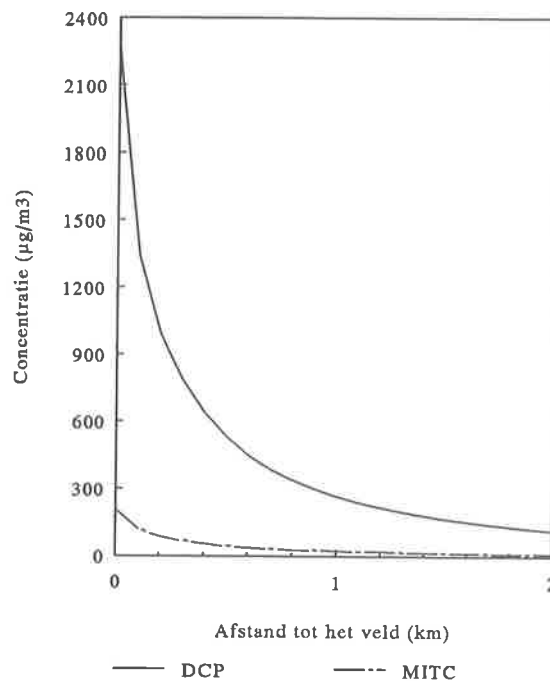
Figuur E11 1-uurgemiddelde concentratie van DCP en MITC (ongunstigste uur) in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de aardappelteelt (doseringen 171 kg DCP/ha en 86,6 MITC/ha), een veld van 250x250 en onder ongunstige meteorologische omstandigheden.



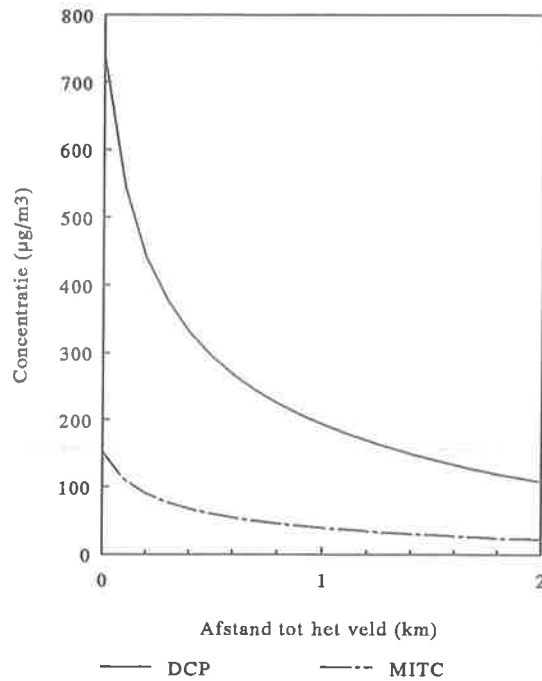
Figuur E12 1-uurgemiddelde concentratie van DCP en MITC (ongunstigste uur) in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de bloembollenteelt (doseringen 570 kg DCP/ha en 216 MITC/ha), een veld van 250x250 en onder ongunstige meteorologische omstandigheden.



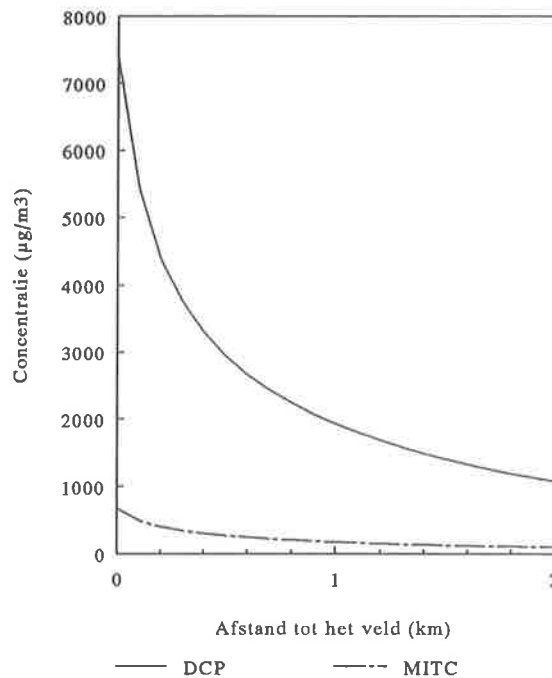
Figuur E13 Daggemiddelde concentratie van DCP en MITC in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de aardappelteelt (doseringen 171 kg DCP/ha en 86,6 MITC/ha), een veld van 500x500 en onder ongunstige meteorologische omstandigheden.



Figuur E14 Daggemiddelde concentratie van DCP en MITC in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de bloembollenteelt (doseringen 570 kg DCP/ha en 216 MITC/ha), een veld van 500x500 en onder ongunstige meteorologische omstandigheden.



Figuur E15 1-uurgemiddelde concentratie van DCP en MITC (ongunstigste uur) in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de aardappelteelt (doseringen 171 kg DCP/ha en 86,6 MITC/ha), een veld van 500x500 en onder ongunstige meteorologische omstandigheden.



Figuur E16 1-uurgemiddelde concentratie van DCP en MITC (ongunstigste uur) in de lucht uitgezet tegen de afstand tot de rand van het veld voor een "reasonable worst case"-emissie in de bloembollenteelt (doseringen 570 kg DCP/ha en 216 MITC/ha), een veld van 500x500 en onder ongunstige meteorologische omstandigheden.