

TNO-rapport
TNO-MEP – R 96/313

**TNO Milieu, Energie en
Procesinnovatie**

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon 055 - 549 34 931
Fax 055 - 541 98 37

Blootstelling aan pesticiden

Concentraties in lucht, bodem, water en vegetatie door emissie uit de glastuinbouw

auteurs:
J. Baas
D.J. Bakker

met medewerking van:
J.H. Duyzer
R.F. van Os

datum:
juni 1996

projectnummer:
53412

trefwoorden:
- **pesticiden**
- **glastuinbouw**

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeksopdrachten aan TNO', dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

bestemd voor:
**Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer**

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en internationaal erkend kennis- en contract-research Instituut voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame ontwikkeling en milieugerichte procesinnovatie.

Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage

Samenvatting

In verband met de herziening AMvB bedekte teelten is een project opgestart met als doel het vergroten van de kennis over de effecten van bestrijdingsmiddelen op mens en milieu. Het gaat hierbij om middelen, die vanuit de glastuinbouw naar de lucht worden geëmitteerd en via de lucht in de bodem of het oppervlaktewater terecht komen. Het onderzoek is in twee delen gesplitst; een blootstellingsgedeelte en een effectengedeelte. Het blootstellingsgedeelte is in dit rapport uitgewerkt. Het effectengedeelte wordt aansluitend aan deze studie uitgevoerd door het Centrum voor Milieukunde te Leiden (CML) op basis van de blootstellingsgegevens uit deze studie.

Er is voor gekozen om de blootstelling in kaart te brengen op basis van bestaande kennis en gegevens. Daarbij is een opzet gekozen, waarin de keten verbruik, gevolgd door emissie en verspreiding wordt beschreven. Er is begonnen met het definiëren van verschillende kassengebieden met daarin een aantal standaardkassen. Vervolgens is een drietal stoffen gekozen waarvoor verbruiksschattingen zijn gemaakt en emissies zijn vastgesteld, waaruit concentraties in lucht zijn berekend. Vanuit de concentratie in de lucht is de depositieflux berekend, welke vervolgens is gebruikt om de concentraties in bodem, oppervlaktewater en gewas te berekenen. Bij de berekeningen is telkens uitgegaan van “realistic worst case” condities. Dat wil zeggen, dat de berekeningen zijn uitgevoerd voor omstandigheden die in de praktijk regelmatig voorkomen en die leiden tot relatief hoge concentraties.

Concentraties in de lucht binnen een kassengebied

De maximale uurgemiddelde concentratie van een bestrijdingsmiddel direct benedenwinds van een kas bedraagt circa $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Op 100 meter afstand is dit afgenomen tot circa $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De bijdrage van eventuele omringende kassen aan de concentraties in de lucht is beperkt en ligt maximaal in de grootte orde van zo'n 10 - 20 %. Dit betekent, dat bij de blootstelling aan bestrijdingsmiddelen binnen een kassengebied alleen rekening hoeft te worden gehouden met de omliggende kassen en niet met het gehele gebied.

Concentraties in de lucht buiten een kassengebied

De jaargemiddelde concentraties in de lucht buiten een kassengebied van de drie stoffen, waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd (dichloorvos, bupirimaat en methomyl) liggen ongeveer op gelijk niveau (circa $10 \text{ ng}/\text{m}^3$ aan de rand van een kassengebied bij een gemiddelde grootte van het kassengebied). Aan de rand van het kassengebied neemt de concentratie bestrijdingsmiddel in de lucht met ruwweg een factor 2 toe bij een vertienvoudiging van de oppervlakte van het kassengebied. Op grotere afstanden ($> 16 \text{ km}$) wordt de concentratie evenredig met het (emitterende) oppervlak van een kassengebied. Daar er voor dichloorvos een piek in het gebruik is gedurende enkele weken per jaar is de concentratie in de lucht in deze periode ook hoger dan voor de andere stoffen. De concentratie kan dan onder ongunstige omstandigheden oplopen tot ca. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aan de rand van het gebied, om

af te nemen tot circa 20 ng/m³ op 32 km afstand van het kassengebied (bij een kassengebied met afmetingen van 3 * 3 km). De berekeningen voor dichloorvos zijn gebaseerd op de korte periode waarin het gebruik hoog is, gecombineerd met ongunstige meteorologische omstandigheden.

Concentraties in bodem buiten het kassengebied:

Bij de concentratieopbouw van middelen in de bodem speelt naast de depositie, afbraak, uitspoeling en de verdeling van een stof over de bodemfasen een rol. Dichloorvos levert de laagste concentraties op in de bodem, gevolg door methomyl en bupirimaat. De relatief lage concentraties van dichloorvos worden veroorzaakt door de hoge afbraaksnelheid van deze stof. De twee andere stoffen zijn veel stabiel, waardoor de concentratieopbouw langer doorgaat en er uiteindelijk een hoger plafond wordt bereikt. Aan de rand van een kassengebied in zandbodem ligt de concentratie afhankelijk van de stof en de bodemeigenschappen tussen ca. 1 en ca. 30 µg/kg.

Concentraties in oppervlaktewater buiten het kassengebied:

De concentratie in oppervlaktewater is enerzijds sterk afhankelijk van de stoffeigenschappen en anderzijds van de verversingsgraad van het water. De invloed van de verversingsgraad op de concentratie in het oppervlaktewater is voor dichloorvos veel kleiner dan voor bupirimaat en methomyl. Dit wordt veroorzaakt door de snelle afbraak van dichloorvos. Afbraak en verversing (verdunding) zijn in competitie met elkaar bij de afname van de concentratie van een stof. Voor stoffen, waarvan de afbraaksnelheid hoog is, is de verversingssnelheid van het water van minder invloed op de uiteindelijke concentratie dan voor stoffen, waarvoor de afbraaksnelheid laag is.

Voor water met een lage verversingsgraad is voor de drie stoffen ongeveer dezelfde concentratie berekend; circa 500 ng/l (op korte afstand van het kassengebied). Voor water met een hoge verversingsgraad zijn de concentraties van bupirimaat en methomyl aanzienlijk lager; ca. 20 ng/l. Voor dichloorvos liggen de concentraties in dezelfde grootte orde als voor water met een lage verversingsgraad (ca. 300 ng/l) door de hoge afbraaksnelheid van dichloorvos.

Concentraties in gewas

De concentraties in vegetatie zijn berekend voor twee soorten gewas; sla en gras. De berekende concentraties liggen voor de twee verschillende typen vegetatie niet ver uiteen. De stoffeigenschappen van de pesticiden zijn veel belangrijker voor de te bereiken concentraties dan het type gewas.

De concentraties liggen afhankelijk van de stoffeigenschappen tussen ca. 5 en 350 µg/kg gewas aan de rand van een kassengebied. Deze concentraties nemen af tot minder dan 1 µg/kg op grotere afstanden vanaf het kassengebied (bij een gebied van 3 * 3 km).

Onzekerheden

Onzekerheden in resultaten van studies als deze zijn relatief groot. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat er op het gebied van de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht nog weinig bekend is en er dus weinig meetgegevens beschikbaar zijn om (tussen)resultaten aan te toetsen. Een algemene toetsing van het modelinstrumentarium is met de zeer beperkt beschikbare meetgegevens niet mogelijk.

Het meten van (achtergrond)concentraties van bestrijdingsmiddelen in lucht zou de onzekerheden belangrijk terug kunnen dringen. Enerzijds kan daarmee direct de link worden gelegd naar concentraties in regenwater (via de wash-out ratio) en de depositiefluxen (via de depositiesnelheid). Anderzijds kan vanaf de concentratie in lucht terug worden gerekend naar een emissie en een verbruik. Daarnaast zou het experimenteel vaststellen van depositiesnelheden belangrijk bij kunnen dragen aan ons begrip van het gehele verspreidingsproces.

Inhoud

Samenvatting	2
1. Inleiding	7
2. Methode	9
2.1 Gemaakte keuzen.....	10
2.1.1 Gekozen middelen	10
2.1.2 Standaardkas	11
2.1.3 Kassengebied	11
2.1.4 Emissiescenario's.....	11
2.2 Berekening van de concentratie in lucht.....	12
2.2.1 Berekeningswijze van de bronsterkte	13
2.2.2 Berekeningswijze van de verspreiding	14
2.3 Berekeningswijze van de depositiefluxen	15
2.3.1 Depositiesnelheid naar oppervlaktewater	16
2.3.2 Depositiesnelheid naar de bodem	16
2.3.3 Depositiesnelheid naar gewas	17
2.4 Berekening van de concentratie in oppervlaktewater, bodem en vegetatie	18
2.4.1 Concentratie in oppervlaktewater	18
2.4.2 Concentratie in bodem	19
2.4.3 Concentratie in vegetatie.....	20
3. Resultaten.....	21
3.1 Concentraties in de lucht binnen een kassengebied	21
3.2 Concentratieverloop in de lucht buiten kassengebieden.....	22
3.3 Depositiefluxen.....	23
3.4 Concentratie in oppervlaktewater en bodem	26
4. Discussie	28
4.1 Concentraties in de lucht binnen een kassengebied	28
4.2 Concentraties in de lucht buiten een kassengebied.....	28
4.3 Depositiefluxen.....	29
4.4 Concentratie in oppervlaktewater, bodem en gewas	30
4.4.1 Concentratie in oppervlaktewater	30
4.4.2 Concentratie in bodem	30
4.4.3 Concentratie in gewas.....	31
4.5 Onzekerheden	32

5.	Conclusies.....	34
6.	Aanbevelingen	36
7.	Verantwoording	37
8.	Referenties	38

Bijlage A	Concentraties voor dichloorvos (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) op verschillende afstanden tot het brongebied.....	41
-----------	---	----

1. Inleiding

In verband met de herziening AMvB bedekte teelten bestaat er behoefte aan vergroting van de kennis over de blootstelling van mens en milieu aan bestrijdingsmiddelen. Het gaat hierbij om middelen, die vanuit de glastuinbouw naar de lucht worden geëmitteerd en via de lucht in de bodem of het oppervlaktewater terechtkomen. Deze behoefte betreft met name:

- Kennis omtrent concentraties bestrijdingsmiddelen in lucht, binnen een gebied met een hoge kasdichtheid;
- Kennis omtrent concentraties bestrijdingsmiddelen in lucht, bodem en oppervlaktewater in de omgeving van een gebied met een hoge kasdichtheid;
- Kennis omtrent de risico's van deze concentraties voor aquatische organismen, terrestrische organismen en de mens.

Het totale onderzoek is in twee delen gesplitst; een blootstellingsgedeelte en een effectengedeelte. Het blootstellingsgedeelte is in dit rapport uitgewerkt. Het effectengedeelte wordt aansluitend aan deze studie uitgevoerd door het Centrum voor Milieukunde te Leiden (CML) op basis van de blootstellingsgegevens uit deze studie.

Blootstelling aan bestrijdingsmiddelen

Er is voor gekozen om de blootstelling in kaart te brengen op basis van bestaande kennis en gegevens. Daarbij is een opzet gekozen, waarin de keten verbruik, gevolgd door emissie en verspreiding wordt beschreven:

Bron → Pad → Receptor

De Bron wordt gekarakteriseerd door het gebruik van bestrijdingsmiddelen, gevolgd door emissie naar de lucht buiten de kas. Bij het Pad staat de verspreiding van bestrijdingsmiddelen in de atmosfeer centraal. De Receptoren zijn de systemen, die worden blootgesteld aan bestrijdingsmiddelen.

In dit onderzoek is gekeken naar:

- De concentraties bestrijdingsmiddel in lucht binnen en buiten een kassengebied;
- De concentraties bestrijdingsmiddel in bodem, oppervlaktewater en gewas ten gevolge van atmosferische depositie buiten een kassengebied.

Met betrekking tot het eerste punt kan worden aangesloten bij eerder uitgevoerd onderzoek naar emissies van bestrijdingsmiddelen uit kassen en de blootstellingsniveau's van omwonenden ten gevolge van die emissie bij een individuele kas (Baas et. al. 1992). Het tweede deel is uitgebreider van aard en heeft betrekking op grotere kassengebieden, waaruit emissie optreedt. Bij de beschrijving van de emissie van bestrijdingsmiddelen uit kassengebieden is zoveel mogelijk aangesloten bij de huidige praktijkomstandigheden.

Doelstellingen

- Inzicht in de piek- en gemiddelde concentraties bestrijdingsmiddelen in de lucht binnen en in de omgeving van een kassengebied.
- Inzicht in de depositie van bestrijdingsmiddelen naar bodem en oppervlaktewater in de omgeving van een kassengebied.
- Inzicht in de concentraties bestrijdingsmiddel in bodem en oppervlaktewater ten gevolge van atmosferische depositie.

Relatie van dit onderzoek met overig onderzoek

Het huidige onderzoek is een op zich staand onderzoek, dat echter een aantal overeenkomsten heeft met het UBS (Uniform Beoordelingssysteem Stoffen). Beide studies hebben gemeen dat er risico's van stoffen worden beoordeeld, waarbij de keten Bron (emissie) -> Pad (verspreiding) -> Receptor (concentratie in lucht, bodem; water en of gewas) wordt beschreven. De doelstellingen van het UBS wijken echter sterk af van de doelstellingen van het huidige onderzoek. De doelstelling van het UBS is om op eenvoudige wijze grote aantallen verschillende stoffen in standaard scenario's te beoordelen. Het doel van deze studie is het voor verschillende scenario's inzichtelijk maken van de milieubelasting die kan optreden door emissies van bestrijdingsmiddelen naar de lucht vanuit de glastuinbouw. Dit ter onderbouwing van mogelijke maatregelen om deze emissies verder te beperken (zoals in het kader van de voorgenomen herziening van het "Besluit tuinbouwbedrijven met bedekte teelt milieubeheer").

Voor een goede onderbouwing van maatregelen is het noodzakelijk om een modelinstrumentarium te kiezen dat zo goed mogelijk is toegesneden op de problematiek van de glastuinbouw. Daartoe zijn in het huidige onderzoek enkele stoffen gekozen, die met "state of the art" kennis omtrent het gebruik en de specifieke stofeigenschappen worden beoordeeld op hun mogelijke effecten. Daarmee gaat het huidige onderzoek veel verder dan het UBS.

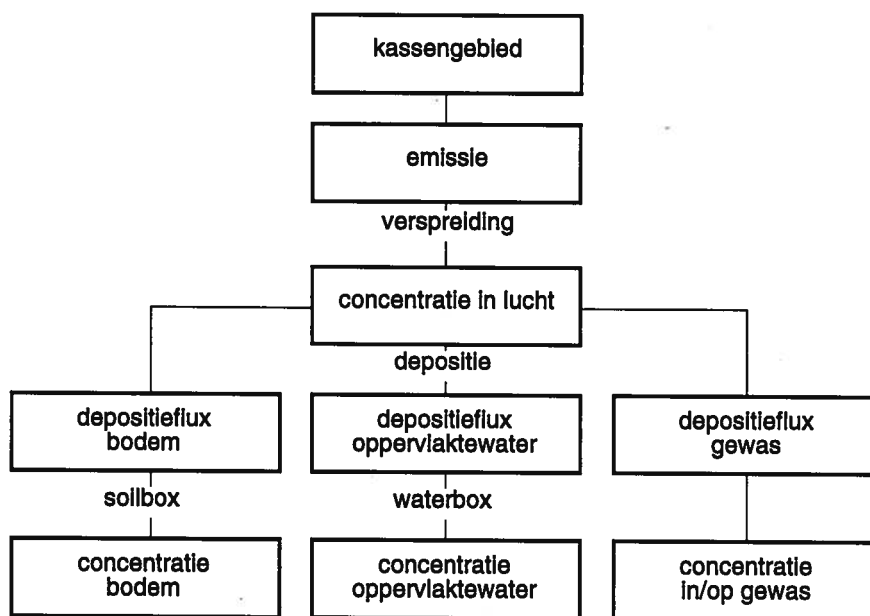
Een en ander impliceert, dat het modelinstrumentarium in een dergelijk onderzoek voldoende flexibel en toegankelijk moet zijn om stofspecifieke berekeningen en bijvoorbeeld gevoeligheidsanalyses uit te kunnen voeren. Dit betekent, dat het modelinstrumentarium van het UBS, waarover weliswaar een relatief brede consensus bestaat, maar dat ontwikkeld is met een heel ander doel niet direct bruikbaar is voor deze studie.

In het algemeen kan worden gesteld, dat de binnen het UBS geparametriseerde modellen (eigenlijk rekenregels) en gebruikte scenario's, geschikt voor een algemene beoordeling van stoffen, voor het huidige onderzoek niet of onvoldoende bruikbaar zijn doordat er in het huidige onderzoek veel dieper wordt ingegaan op specifieke stoffen in een specifieke toepassing.

2. Methode

In dit hoofdstuk is beschreven hoe het onderzoek is opgezet en welke uitgangspunten zijn gehanteerd.

In onderstaand overzicht is schematisch weergegeven welke route is gevolgd om de concentratie bestrijdingsmiddel in lucht, bodem en oppervlaktewater te berekenen:



Er is begonnen met het definiëren van een kassengebied met daarin een aantal standaardkassen. Vervolgens is een drietal stoffen gekozen waarvoor op basis van het verbruik emissies zijn vastgesteld en concentraties in lucht zijn berekend. Vanuit de concentratie in de lucht is de depositieflux (de depositie, uitgedrukt in grammen actieve stof per hectare per seconde) berekend op basis van de depositiesnelheid van de gekozen stoffen. Met behulp van de modellen SOILBOX en WATERBOX (Bakker et. al. 1993) zijn de depositiefluxen omgezet in concentraties in bodem en oppervlaktewater. Tevens zijn de depositiefluxen op gewas omgezet in concentraties in en op gewas (Deinum 1995).

Het onderzoek is gericht op de effecten van bestrijdingsmiddelen uit de tuinbouw onder glas. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de regio rond kassengebieden, tot een afstand van 32 km vanaf de grens van het kassengebied. Nog grotere afstanden is niet zinvol omdat:

- De mate van effect steeds verder afneemt
- In de praktijk de achtergrondconcentraties in dezelfde grootte orde komen te liggen als de concentraties ten gevolge van de activiteiten in het kassengebied

Bij de berekeningen is telkens uitgegaan van “realistic worst case” condities. Dat wil zeggen, dat de berekeningen zijn uitgevoerd voor omstandigheden die in de praktijk regelmatig voorkomen en die leiden tot relatief hoge concentraties.

In paragraaf 2.1 is ingegaan op de overwegingen, die een rol hebben gespeeld bij de keuze van de middelen, de standaardkas, het kassengebied en de emissiescenario's. In paragraaf 2.2 is toegelicht hoe de concentratie in lucht is berekend. In paragraaf 2.3 is uiteengezet hoe de depositie is berekend en in paragraaf 2.4 is uiteengezet hoe uit de depositie de concentratie in de bodem, oppervlaktewater en vegetatie is berekend.

2.1 Gemaakte keuzen

In deze paragraaf zijn de uitgangspunten uiteengezet die ten grondslag lagen aan de keuze van de middelen, de standaardkas, het kasgebied en de emissiescenario's.

2.1.1 Gekozen middelen

De belangrijkste overweging bij de keuze van de middelen was het verkrijgen van een representatieve indruk van mogelijke effecten van bestrijdingsmiddelen. De uiteindelijke keuze van een bepaalde stof is dan ook van minder belang dan de overwegingen, die een rol hebben gespeeld bij het tot stand komen van de keuze van de stoffen:

- Er zijn middelen gekozen met een verschillend toxicologisch werkingsmechanisme;
- De middelen worden gebruikt in de bedekte teelt en zijn voor de tuinder herkenbaar;
- De dampdruk (en daarmee de emissie naar de lucht) is voldoende hoog en de middelen worden gewoon verspoten;
- Er is voldoende variatie in de frequentie van toepassen;
- Er is voldoende spreiding in de overige stoffeigenschappen om een representatief beeld te krijgen van de effecten van verschillende soorten bestrijdingsmiddelen.

Om het aantal berekeningen hanteerbaar te houden zijn er drie middelen gekozen, zodanig dat aan bovenstaande criteria wordt voldaan. De gekozen middelen zijn Dichloorvos, Bupirimaat en Methomyl. De belangrijkste kenmerken van deze stoffen voor dit onderzoek zijn weergegeven in onderstaande tabel (The pesticide manual 1991, Linders et. al., Esch en Steekelenburg). Het verbruik van de middelen is gebaseerd op gegevens uit de gewasbeschermingsgids (Gewasbeschermingsgids 1993).

Tabel 1 *Overzicht van enkele belangrijke kenmerken van de gekozen stoffen*

	dichloorvos	bupirimaat	methomyl
type middel	insecticide	fungicide	insecticide
dampdruk (mPa)	290	0,067	6,6
oplosbaarheid (g/l)	10	0.023	58
halfwaardetijd (dag)	2	79	8
verbruik (g/ha/toep)	850	500	250
frequentie toepassen	paar keer/jaar	1 maal/2weken	1 maal/3-4 weken

2.1.2 Standaardkas

De standaardkas, waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd heeft een oppervlakte van 1 hectare (100 * 100 meter) en een hoogte van 3,5 meter. Het ventilatievoud van deze kas bedraagt bij gesloten luchtramen 0,3 per uur bij een windsnelheid van 2 m/s (Esch, Steekelenburg). Dit betekent, dat 30 % van de lucht in de kas per uur wordt verversd. Voor een moderne goed onderhouden kas is dit een realistische waarde (de Jong 1990, Baas et. al. 1992). Oudere kassen hebben veelal een iets hoger ventilatievoud. Overigens is het ventilatievoud recht evenredig met de windsnelheid.

Het ventilatievoud speelt een belangrijke rol bij de emissie uit een kas. Voor veel middelen en toepassingen is de emissie in het eerste uur na toedienen (als de kas nog gesloten is) het hoogst (Baas et. al. 1992). De emissie in deze periode is recht evenredig met het ventilatievoud van de gesloten kas.

2.1.3 Kassengebied

De invloed van een kassengebied op de omgeving hangt enerzijds af van de kasdichtheid in het gebied en anderzijds van de grootte van het kassengebied. Er zijn concentratieberekeningen uitgevoerd voor verschillende kassengebieden, die alleen verschillen in grootte.

Er is telkens uitgegaan van een gebied met een kasdichtheid van 50 %. Met andere woorden 50 % van het totale oppervlak in een gebied bestaat uit kassen. Er is dan duidelijk sprake van een kassengebied met een relatief hoge kasdichtheid, die in Nederland in bijvoorbeeld het Westland, voorkomt.

Er is uitgegaan van een drietal kassengebieden; een gebied van 1 * 1 km; een gebied van 3 * 3 km en een gebied van 10 * 10 km. Op iedere vierkante kilometer kassengebied staan (bij 50 % kasdichtheid) 50 standaardkassen. Het totale kasoppervlak beslaat dus telkens de helft van het totale gebied.

2.1.4 Emissiescenario's

Uitgangspunt bij de vaststelling van de emissiescenario's was het maken van een realistische schatting van de bronsterkte voor de verschillende stoffen gedurende de periode, dat de middelen worden toegepast. Voor de verschillende stoffen zijn ver-

schillende emissiescenario's gehanteerd. Dit is gedaan om zo goed mogelijk bij de werkelijkheid aan te sluiten. Het verbruik van de stoffen is te divers om met een enkel scenario te dekken. Hieronder zijn de emissiescenario's voor de verschillende stoffen beschreven.

Dichloorvos

Dichloorvos is een middel, dat (afhankelijk van de teelt) in de meeste kassen enkele malen per jaar wordt toegepast. De toepassing vindt echter vooral plaats tijdens de teeltwisseling en het begin van de teelt bij vruchtgroenten ter voorbereiding van de biologisch geïntegreerde bestrijding. In de sierteelt vinden het gehele jaar door toepassingen plaats als er problemen zijn met insecten. Eén en ander leidt tot een relatief hoog verbruik gedurende een periode van enkele weken per jaar en een lager verbruik in de rest van het jaar (Esch en Steekelenburg). De berekeningen zijn gericht op de weken waarin het gebruik het hoogst is.

Uit regenwatermetingen, uitgevoerd door de provincie Zuid Holland in Naaldwijk komt een soortgelijk beeld naar voren; een hoge concentratie gedurende ruwweg één maand in het jaar en een relatief lage concentratie in de rest van het jaar. Echter de piekconcentratie is gemeten in juni (Provincie Zuid-Holland 1994). Voor de belasting maakt het echter geen verschil wanneer het gebruik het hoogst is.

Gedurende de teeltwisseling wordt ervan uitgegaan, dat er per vierkante kilometer per dag gemiddeld 3 kassen met dichloorvos worden behandeld. Als maximum is het mogelijk, dat er binnen een vierkante kilometer tegelijkertijd 5 kassen met dichloorvos worden behandeld. Voor deze worst case situatie zijn de uurgemiddelde concentraties, die kunnen optreden binnen een kassengebied berekend.

Bupirimaat

Bupirimaat is een middel, dat afhankelijk van de teelt gemiddeld eenmaal in enkele weken tijd in een kas wordt toegepast. Voor een kassengebied van 50 kassen per vierkante kilometer is het voorstelbaar, dat er per dag per vierkante kilometer, gemiddeld in ca. drie kassen een toepassing plaatsvindt.

Methomyl

Methomyl is een middel, dat afhankelijk van de teelt gemiddeld eenmaal per 3 à 4 weken wordt toegepast in kassen. Voor een kassengebied van 50 kassen per vierkante kilometer is het voorstelbaar, dat er per dag per vierkante kilometer, gemiddeld in ca. twee kassen een toepassing plaatsvindt.

2.2 Berekening van de concentratie in lucht

Voor de berekening van de concentratie in de lucht is gebruik gemaakt van verschillende verspreidingsmodellen. Bij al de modellen staat de bronsterkte (ofwel de hoeveelheid bestrijdingsmiddel, die per tijdseenheid uit de kas komt) centraal. In deze paragraaf is eerst besproken hoe de bronsterkte is berekend, vervolgens is de relatie tussen de bronsterkte en de concentraties in de lucht besproken.

2.2.1 Berekeningswijze van de bronsterkte

De bronsterkte is afhankelijk van de dampdruk van het toegepaste middel in combinatie met de toedieningstechniek. De emissie is relatief hoog voor middelen die of een hoge dampdruk hebben, of in zeer fijne druppels in de kas worden gebracht. Daarnaast is de bronsterkte afhankelijk van het ventilatievoud van de kas (Baas et. al. 1992). Het ventilatievoud van een gesloten kas is gelijk gesteld aan 0,3 per uur (zie paragraaf 2.1.2).

Voor veel middelen geldt, dat de bronsterkte in de eerste uren na de toediening relatief hoog is om vervolgens af te nemen tot een min of meer constant niveau, dat gedurende enkele dagen of zelfs enkele weken (afhankelijk van de stabiliteit van het middel) aan kan houden. In dit onderzoek is echter alleen de gemiddelde bronsterkte van belang voor de concentratieberekeningen. Alleen voor dichloorvos is gerekend met de maximale bronsterkte voor de berekening van concentraties in de lucht binnen het kassengebied.

Bronsterkte van dichloorvos

Circa 40 % van de toegepaste dosering dichloorvos emitteert naar de lucht buiten de kas (Baas et.al. 1992). Bij een dosering van 850 g/ha betekent dit dat er in totaal ca. 340 gram dichloorvos emitteert per toepassing in de standaardkas.

De emissie is het hoogst in het eerste uur na toediening met een (over dat uur gemiddelde) emissie van 125 gram/uur.

Per dag emitteert gemiddeld 40 % van de dagelijkse dosering per vierkante kilometer, dit komt overeen met $3 \cdot 340 = 1020$ gram per dag (er worden 3 kassen per dag behandeld).

Emissie van bupirimaat

Bupirimaat is een middel met een lage dampdruk (zie tabel 1). De emissie van bupirimaat is op basis van de dampdruk geschat (MJP-G Emissie-evaluatie 1996) op 7 % van de toegepaste dosering, ofwel circa 35 gram.

De gemiddelde emissie per vierkante kilometer, waarbij gemiddeld drie kassen per dag worden behandeld bedraagt dan 105 g/dag per vierkante kilometer kasoppervlak.

Emissie van methomyl

Methomyl is een middel met een hoge dampdruk (zie tabel 1). De emissie van methomyl is op basis van de dampdruk geschat op 30 % van de toegepaste dosering (MJP-G Emissie-evaluatie 1996). De emissie per toediening bedraagt circa 75 gram.

De gemiddelde emissie per vierkante kilometer, waarbij gemiddeld twee kassen per dag worden behandeld bedraagt dan 150 g/dag per vierkante kilometer kasoppervlak.

In tabel 2 zijn de emissies voor de verschillende middelen weergegeven.

Tabel 2 Emissie (per toediening in de standaardkas) van de gekozen stoffen

Stof	maximale emissie per kas (g/uur)	totale emissie per kas (g)	gemiddelde emissie per vierkante kilometer (g/dag)
dichloorvos	125	340	1020
bupirimaat	3	35	105
methomyl	38	75	150

2.2.2 Berekeningswijze van de verspreiding

De concentratie van de middelen in de lucht is berekend met verschillende modellen; het lijwervel model (Vereniging Lucht 1986), de korte termijn versie van het Nationaal Model en het Nationaal Model (Kleine commissie modellen 1976, werkgroep verspreiding luchtverontreiniging 1981, 1984 en 1986).

Het lijwervel model is een simpel empirisch model, dat is gebaseerd op windtunnel experimenten. Dit model wordt gebruikt om concentraties op zeer korte afstanden tot de bron (0 - 25 meter) te berekenen.

Van het Nationaal Model zijn verschillende versies gebruikt; het korte termijn model, geschikt voor uurgemiddelde berekeningen en de gewone versie van het Nationaal Model, dat geschikt is voor de berekening van jaargemiddelde concentraties. Berekeningen met het Nationaal Model (en met Gaussische pluimmodellen in het algemeen) worden pas geldig bij afstanden vanaf ca. 100 meter tot de bron (KNMI 1979). De concentratie op afstanden tussen 25 en 100 meter wordt lineair geïnterpoleerd.

Het lijwervel model

Het lijwervelmodel is gebaseerd op de aanname, dat de emissie uit een bron (deels) wordt ingevangen in een "wervel" aan de zijzijde van een gebouw. De concentratie in die wervel hangt af van de afmetingen en de vorm van het gebouw, de windsnelheid, de windrichting en de bronsterkte.

Voor een kas met afmetingen van 100 * 100 * 3,5 m heeft de lijwervel een lengte van ca. 25 meter (Vereniging Lucht 1986). Dit betekent, dat de concentratie buiten de kas gedurende de eerste 25 meter constant is en daarna afneemt.

Bij een aanstroming van de wind op één van de hoekpunten van de gevel wordt de concentratie ruwweg een factor 5 groter dan bij aanstroming van de wind loodrecht op de gevel.

Het Nationaal model

Het Nationaal Model is een model van het zogenaamde Gaussisch pluimtype, dat binnen Nederland algemeen is geaccepteerd voor de berekening van concentraties uit emissies.

Dit model beschrijft de verspreiding van luchtverontreiniging met een Gaussische verdeling, zowel in de breedte als in de hoogte. Het model is bedoeld voor het berekenen van jaargemiddelde concentraties. Naast dit model is er voor uurgemiddelde berekeningen een korte termijn versie van dit model ontwikkeld, waarvoor uurgemiddelde meteorologische parameters en uurgemiddelde emissies als invoer dienen.

Voor zowel de korte- als de lange termijn versie van dit model gelden de bronsterkte en de ruwheidslengte van het terrein (een maat voor hoe snel een emissiepluim wordt verdund door de terreinomstandigheden) als invoer. Daarnaast dienen de meteorologische omstandigheden te worden gekozen. Voor de korte termijn versie van dit model zijn dit de windsnelheid en de stabiliteitsklasse van de atmosfeer (een maat voor de snelheid waarmee een emissiepluim wordt verdund ten gevolge van de heersende meteorologische omstandigheden). Voor de lange termijn versie is gerekend met de langjarig gemiddelde meteorologie in Nederland. Hierin is een frequentieverdeling opgenomen van windsnelheden en bijbehorende stabiliteitsklassen.

Bij deze berekeningen is de afname van de concentratie tijdens het transport ten gevolge van depositie of omzetting verwaarloosd. Typische omzettingssnelheden van bestrijdingsmiddelen in lucht liggen in de grootte orde van een procent per uur. Daar het hier om regionale belastingen gaat (de berekeningen zijn uitgevoerd tot 32 km vanaf het brongebied) ligt de afname door omzetting in de grootte orde van één of enkele procenten. De afname van de concentratie door depositie is voor de bestrijdingsmiddelen, die in het onderzoek zijn opgenomen, over deze afstanden kleiner dan 1 % en is ook verwaarloosd.

2.3 Berekeningswijze van de depositiefluxen

Voor alle depositieberekeningen geldt is als uitgangspunt genomen, dat oppervlaktewater, bodem en gewas alleen door atmosferische depositie worden belast. Er zijn dus geen andere belastingsroutes.

In de praktijk kan het voorkomen dat oppervlaktewater en bodem al (sterk) verontreinigd zijn via andere emissieroutes dan depositie. In dat geval zal de droge depositie worden geremd. In extreme gevallen kan het zelfs zo zijn, dat er geen depositie meer optreedt, maar juist emissie, zgn. re-emissie.

Daar de berekeningen zijn gericht op de concentraties, die optreden ten gevolge van emissies uit een kassengebied in, op zich niet direct met bestrijdingsmiddelen belaste gebieden, is het uitgangspunt van de 0-situatie realistisch.

De depositieflux (de depositie, uitgedrukt in grammen per eenheid grondoppervlak per tijdseenheid) is gedefinieerd als de concentratie in de lucht, vermenigvuldigd met de depositiesnelheid (Duyzer 1992).

In paragraaf 2.2 is beschreven hoe de emissie is omgerekend naar een concentratie in de lucht, zodat dan alleen de depositiesnelheid nog dient te worden vastgesteld.

2.3.1 Depositiesnelheid naar oppervlaktewater

De depositiesnelheid naar oppervlaktewater is berekend met het zogenaamde "Liss Slater model" (Liss et. al. 1974). Dit model beschrijft de opname van een (gasvormige) stof in water door te veronderstellen, dat er direct onder en boven het wateroppervlak een (zeer dunne) laag met stilstaande lucht resp. water is, waar een stof doorheen moet diffunderen om in het water te worden opgenomen. Op de scheiding van water en lucht stelt zich een evenwicht in (bepaald door de Henry coëfficiënt) tussen de concentratie in lucht en water. Naast de Henry coëfficiënt zijn de diffusiecoëfficiënten in water en lucht van belang voor de uiteindelijke concentratie in het oppervlaktewater.

De berekende depositiesnelheden zijn weergegeven in tabel 3. In de tabel is tevens het aandeel van de natte en droge depositie aan de totale depositie weergegeven.

Tabel 3 Droge depositiesnelheid en het aandeel van natte en droge depositie van dichloorvos, bupirimaat en methomyl naar oppervlaktewater

stof	droge depositie snelheid (m/s)	aandeel natte depositie (%)	aandeel droge depositie (%)
dichloorvos	6,7 E-3	32	68
bupirimaat	6,1 E-3	41	59
methomyl	7,8 E-3	35	65

2.3.2 Depositiesnelheid naar de bodem

De depositiesnelheid naar de bodem van de verschillende bestrijdingsmiddelen is berekend met het model CHEMTRIS (Bakker 1994). Dit model beschrijft het verloop van het depositieproces vanuit de lucht naar de bodem. Het model beschrijft hoe een stof, die aanwezig is in de lucht in de bodem wordt opgenomen en daar in de bodem over de volgende fasen wordt verdeeld:

- geadsorbeerd aan het organisch materiaal;
- in de met water gevulde poriën;
- in de met lucht gevulde poriën.

De depositiesnelheid, die op deze wijze is berekend, is derhalve niet alleen afhankelijk van de stoffeigenschappen, maar ook van de bodemeigenschappen.

De berekende depositiesnelheden voor zand- en veengrond voor dichloorvos, bupirimaat en methomyl zijn weergegeven in tabel 4.

Tabel 4 *Berekende depositiesnelheden voor zand- en veengrond voor dichloorvos, bupirimaat en methomyl*

stof	depositiesnelheid zandgrond (m/s)	depositiesnelheid veengrond (m/s)
dichloorvos	3,05 E-4	7,7 E-5
bupirimaat	6,27 E-4	5,7 E-5
methomyl	4,27 E-4	8,5 E-5

Naast de depositiesnelheid is ook het relatieve aandeel van natte en droge depositie berekend (bij een jaargemiddelde meteorologie). In tabel 5 is het relatieve aandeel van natte en droge depositie weergegeven.

Tabel 5 *Relatieve aandeel van natte en droge depositie bij een jaargemiddelde meteorologie*

stof	relatief aandeel zandgrond		relatief aandeel veengrond	
	natte dep.	droge dep.	natte dep.	droge dep.
dichloorvos	44,5	55,5	71,6	28,4
bupirimaat	98,3	1,7	99,9	0,1
methomyl	99,9	0,1	100,0	0,0

Voor dichloorvos zijn geen jaargemiddelde berekeningen uitgevoerd, zodat van deze relatieve verdeling geen gebruik is gemaakt.

2.3.3 Depositiesnelheid naar gewas

Het model voor de droge depositie op vegetatie berekent de depositiesnelheid als functie van de tijd met een initieel niet-verontreinigd blad. Het model is gebaseerd op fugaciteitsmodellen ontwikkeld door Tolls et. al., Paterson et al. en Riederer (Tolls & McLachlan 1994, Paterson et al. 1991 en Riederer 1990). De beschrijving van het floëemtransport is overgenomen uit Deinum et al. (Deinum et. al. 1995). Als een gewas wordt blootgesteld aan een pesticidenconcentratie in de lucht treedt depositie van pesticiden naar het gewas op. Hierdoor neemt de concentratie in het gewas toe. Vervolgens beginnen verwijderingsprocessen op gang te komen (floëemtransport en groei). Deze verwijderingsprocessen raken na verloop van tijd in evenwicht met de aanvoer door depositie. Dit is het moment, waarop een stationaire situatie is ontstaan, waarin de bladconcentratie niet meer toeneemt. De depositiesnelheid in deze situatie is de berekende depositiesnelheid. Ten slotte wordt de depositiesnelheid bepaald door het totale bladoppervlak per vierkante meter land. Met deze zogeheten 'Leaf Area Index' moet de depositiesnelheid per bladoppervlak worden vermenigvuldigd om de depositiesnelheid op het land te verkrijgen.

De berekende depositiesnelheden zijn weergegeven in tabel 6.

Tabel 6 *Berekende depositiesnelheden voor gras en sla voor dichloorvos, bupirimaat en methomyl*

stof	depositiesnelheid gras (m/s)	depositiesnelheid sla (m/s)
dichloorvos	1,3 E-4	3,5 E-5
bupirimaat	4,5 E-4	9,4 E-5
methomyl	1,2 E-4	2,3 E-5

Naast de depositiesnelheid is ook het relatieve aandeel van natte en droge depositie berekend (bij een jaargemiddelde meteorologie). In tabel 7 is het relatieve aandeel van natte en droge depositie weergegeven.

Tabel 7 *Relatieve aandeel van natte en droge depositie bij een jaargemiddelde meteorologie*

stof	relatief aandeel gras		relatief aandeel sla	
	natte dep.	droge dep.	natte dep.	droge dep.
dichloorvos	70	30	53	47
bupirimaat	8	92	4	96
methomyl	25	75	15	85

2.4 Berekening van de concentratie in oppervlaktewater, bodem en vegetatie

In deze paragraaf is uiteengezet hoe de depositieflux wordt omgerekend naar een concentratie in het oppervlaktewater, bodem en vegetatie.

Net als bij de berekening van de depositiefluxen is als uitgangspunt genomen, dat depositie de enige vorm van belasting is. Indien er ook andere emissieroutes van belang zijn kunnen de berekende concentraties sterk afwijken van de werkelijke concentraties. Daar de berekeningen echter zijn gericht op de belasting ten gevolge van de glastuinbouw in niet direct met bestrijdingsmiddelen belaste gebieden is het uitgangspunt realistisch.

2.4.1 Concentratie in oppervlaktewater

De concentratie bestrijdingsmiddel, die zal ontstaan in het oppervlaktewater is afhankelijk van de depositieflux, de stoffeigenschaften en de eigenschappen van het oppervlaktewater. Dit systeem is beschreven in het model WATERBOX (Bakker et. al. 1993). Met dit model is de depositieflux omgerekend naar een concentratie in het oppervlaktewater. Het model beschrijft hoe de concentratie van het middel in het water toeneemt, totdat de verliesprocessen in evenwicht zijn met de depositie en er een zogenaamde "steady state" concentratie ontstaat. Aan deze steady state

concentratie worden organismen blootgesteld, zodat deze concentratie voor de inschatting van de effecten van belang is.

De depositieflux is beschreven in paragraaf 2.3. De stoffeigenschappen bepalen of het middel in het sediment of juist in het water blijft, daarnaast is de afbraak van het middel een factor met een grote invloed op de concentratie-opbouw in het oppervlaktewater. Stoffen, die snel worden afgebroken in het oppervlaktewater zullen een lagere concentratie bereiken dan stoffen die stabiel zijn in het water.

Voorts is de verversingsgraad van het water van belang voor de concentraties, die kunnen worden bereikt. Om ook de invloed van de aard van het oppervlaktewater op de concentraties zichtbaar te maken is gekozen voor het berekenen van de concentratie in twee soorten oppervlaktewater:

- Een sloot
- Een kleine rivier

Deze oppervlaktewateren worden gekarakteriseerd door een verblijftijd van het water van resp. 60 dagen (een sloot) en enkele dagen (een kleine rivier) (Bakker et. al. 1993).

De karakteristiek van het oppervlaktewater (in de vorm van de verblijftijd) is belangrijker dan de exacte keus van het oppervlaktewater. Met deze aanpak wordt een range aangegeven van concentraties, die ontstaan ten gevolge van de eigenschappen van het oppervlaktewater bij een gelijkblijvende depositie.

2.4.2 Concentratie in bodem

De concentratie bestrijdingsmiddel, die zal ontstaan in de bodem is afhankelijk van de depositieflux, de stoffeigenschappen en de bodemeigenschappen. Dit systeem is beschreven in het model SOILBOX (Bakker et. al. 1993). Met dit model is de depositieflux omgerekend naar de concentratie in de bodem. Het model beschrijft hoe de concentratie van het middel in de bodem toeneemt, totdat de verliesprocessen (uitspoeling en omzetting) in evenwicht zijn met de depositie en er een zogenaamde "steady state" concentratie ontstaat, die gehandhaafd blijft zolang de depositie gelijk blijft. Aan deze steady state concentratie worden organismen blootgesteld, zodat deze concentratie voor de inschatting van effecten van belang is.

De depositieflux is beschreven in paragraaf 2.3. De stoffeigenschappen bepalen samen met de bodemeigenschappen de verdeling van het middel over de bodemfasen: het bodemvocht, de bodemlucht en de vaste fase (bodemdeeltjes). Daarnaast is de afbraak van het middel een factor met een grote invloed op de concentratie-opbouw in de bodem.

Om ook de invloed van de aard van de bodem op de concentraties zichtbaar te maken is gekozen voor het berekenen van de concentratie in:

- Zandgrond
- Veengrond

Zandgrond wordt gekarakteriseerd door een laag organisch stofgehalte en een hoge bulkdichtheid. Veengrond wordt gekarakteriseerd door een hoog organisch stofgehalte en een lage bulkdichtheid (Bakker et. al. 1994). Concentraties in kleigrond zullen tussen die in zandgrond en veengrond in komen te liggen en zijn niet meegenomen omdat daar aan de effectenkant geen onderscheid in kan worden gemaakt. Voorts is de laagdikte van de bodem waarover de stoffen verondersteld worden zich homogeen te mengen van belang voor de te bereiken concentraties. Voor de berekeningen waarbij wordt uitgegaan van bodem, die niet wordt bewerkt (niet direct belaste gebieden) wordt algemeen met een laagdikte van 10 cm gewerkt (Bakker 1993).

2.4.3 Concentratie in vegetatie

De opname van organische gassen vanuit de lucht door vegetatie kan op twee manieren geschieden:

- via de huidmondjes (de stomata)
- door de waslaag (de cuticula) van het bladoppervlak

Deze twee alternatieve mogelijkheden om het blad binnen te dringen hebben elk een specifieke transportweerstand die ondermeer afhangt van de stofeigenschappen. De grootte van deze weerstanden bepaalt, samen met de lucht- en de bladconcentratie, de transportsnelheid van de gassen via het betreffende kanaal. De opname vindt plaats via 'de weg van de minste weerstand' i.e. de stoffen worden voornamelijk via het pad met de kleinste weerstand getransporteerd. Stoffen die bijvoorbeeld sterk hechten aan organisch materiaal kunnen gemakkelijker via de cuticula door het blad worden opgenomen.

De opname via de stomata hangt ondermeer af van de molmassa van de gasmoleculen, maar wordt voornamelijk bepaald door de lichtsterkte en de vochtigheid (de lichtsterkte en de vochtigheid zijn bepalend of de stomata zijn geopend of gesloten).

Naast de transportweerstand, opgeworpen door het bladoppervlak, is verder van belang bij welke bladconcentratie verzadiging optreedt en de opname vanuit de lucht stopt. Organische stoffen hechten zich goed aan organisch materiaal en hierdoor treedt verzadiging pas op bij een veel hogere concentratie in het blad dan in de lucht.

Ten slotte is van belang de processen te onderscheiden die zorgen voor een vermindering van de bladconcentratie. In het model zijn floëemtransport en groei van het blad als de voornaamste 'lekprocessen' aangemerkt. Het floëemsap transporteert continue organisch materiaal uit het blad via de vaatbundels. De effectiviteit van dit transport hangt sterk af van de oplosbaarheid van de stof: een goed oplosbare stof kan in hoge concentratie door het floëemsap worden afgevoerd. De groei van het blad veroorzaakt een verdunning van de stof in het blad en vermindert dus ook de concentratie.

3. Resultaten

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven. In paragraaf 3.1 is de maximale concentratie bestrijdingsmiddel in de lucht binnen een kassen-gebied berekend. In paragraaf 3.2 zijn de berekende concentraties buiten een kas-sengebied weergegeven. In paragraaf 3.3 zijn de berekende depositiefluxen weer-gegeven en in paragraaf 3.4 tenslotte zijn de concentraties in bodem en oppervlak-tewater weergegeven.

3.1 Concentraties in de lucht binnen een kassengebied

De maximale concentraties bestrijdingsmiddelen, die kunnen optreden in de lucht binnen een kassengebied zijn berekend voor dichloorvos op basis van de maximale uurgemiddelde bronsterkte, zie tabel 2. De concentraties zijn berekend voor de volgende omstandigheden:

- 5 tegelijkertijd emitterende kassen binnen een gebied van 1 km²,
- Ruwheidslengte binnen het gebied 3 m; buiten het gebied 1 m
- Stabiliteitsklasse D
- Windsnelheid 2 m/s
- Bronsterkte 34 mg/s (bij toediening van dichloorvos)

De met het lijwervelmodel berekende concentraties direct benedenwinds van de kassen liggen in de grootte orde van 50 µg/m³. Op 100 meter afstand zijn deze concentraties afgenomen tot ca. 10 µg/m³. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de concentraties in de pluimas op verschillende afstanden tot de kas.

Tabel 8 *Concentratieverloop van dichloorvos benedenwinds van een kas in het eerste uur na de toediening*

afstand tot de kas (m)	concentratie (µg/m ³)
0	50
25	50
50	36
75	24
100	10
200	3,6
300	1,9
400	1,2
500	0,9
1000	0,3

De maximale concentratie direct benedenwinds van een kas wordt, bij de gekozen standaardkas, nauwelijks beïnvloed door de overige kassen. De bijdrage van de overige kassen is beperkt en ligt maximaal in de grootte orde van zo'n 10 - 20 %.

3.2 Concentratieverloop in de lucht buiten kassengebieden

In deze paragraaf is per middel de concentratie in de lucht op verschillende afstanden vanaf kassengebieden met een verschillende grootte berekend.

Daar de emissie niet telkens in dezelfde kas plaatsvindt, maar er iedere dag enkele andere kassen wordt behandeld is er gerekend met een gemiddelde emissie per vierkante kilometer kasoppervlak, waarbij de emissie vanuit een puntbron in het midden van het gebied plaatsvindt. Er bleek in de gemiddelde concentraties aan de rand van het gebied een variatie van enkele procenten te bestaan indien er met een aantal van twee of vier bronnen werd gerekend (met dezelfde totale bronsterkte in het gebied). De systematische fout, die door de benadering van de emissie uit een puntbron in het midden van het gebied wordt geïntroduceerd is te verwaarlozen.

Dichloorvos

De concentratie van dichloorvos is berekend benedenwinds van het kassengebied. Daarbij is gedurende de gehele periode (van ca. 3 weken) een windrichting verondersteld, waarbij de receptorpunten benedenwinds van het brongebied liggen. In bijlage 1 is het berekende concentratieverloop van dichloorvos bij verschillende stabiliteitsklassen en voor twee verschillende ruwheidslengten berekend. In tabel 9 zijn de resultaten van de berekeningen voor gemiddelde omstandigheden (stab. klasse C en ruwheidslengte 1 m) opgenomen. Voor gunstiger of ongunstiger meteorologische- en terreinomstandigheden kunnen de concentraties ruwweg een factor drie hoger of lager liggen dan in de tabel is aangegeven (bij gelijkblijvend brongebied).

Tabel 9 Concentratie van dichloorvos in de lucht op verschillende afstanden tot het kassengebied

dimensies brongebied (km)	concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op verschillende afstanden tot het brongebied						
	0	1	2	4	8	16	32 km
10 * 10	3,5	2,1	1,6	1,2	0,80	0,40	0,17
3 * 3	1,7	0,98	0,65	0,33	0,15	0,06	0,02
1 * 1	0,76	0,27	0,14	0,06	0,02	0,006	0,002

Bupirimaat en Methomyl

Voor deze stoffen zijn de berekeningen jaargemiddeld uitgevoerd. Dit op zich leidt al tot lagere concentraties dan bij dichloorvos omdat het gebied, waar de concentraties zijn berekend maar een beperkt deel van de tijd benedenwinds van het brongebied ligt. De berekende concentraties hebben betrekking op een receptorgebied,

dat ten noord-oosten van het brongebied ligt. Deze ligging leidt tot de hoogste concentraties. Bij de meest gunstige ligging van de receptorpunten ten opzichte van het brongebied zijn de concentraties ruwweg een factor 1.5 lager.

In de tabellen 10 en 11 zijn de resultaten van de concentratieberekeningen voor respectievelijk bupirimaat en methomyl weergegeven.

Tabel 10 Concentratie van bupirimaat in de lucht op verschillende afstanden tot het kassengebied

dimensies brongebied (km)	concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op verschillende afstanden tot het brongebied						
	0	1	2	4	8	16	32 km
10 * 10	18 E-3	9 E-3	7 E-3	4 E-3	2 E-3	9 E-4	5 E-4
3 * 3	9 E-3	3 E-3	2 E-3	1 E-3	3 E-4	1 E-4	4 E-5
1 * 1	4 E-3	7 E-4	3 E-4	1 E-4	4 E-5	1 E-5	5 E-6

Tabel 11 Concentratie van methomyl in de lucht op verschillende afstanden tot het kassengebied

dimensies brongebied (km)	concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op verschillende afstanden tot het brongebied						
	0	1	2	4	8	16	32 km
10 * 10	25 E-3	13 E-3	9 E-3	6 E-3	3 E-3	1 E-4	6 E-4
3 * 3	11 E-3	5 E-3	2 E-3	1 E-3	4 E-4	2 E-4	7 E-5
1 * 1	6 E-3	1 E-4	5 E-4	2 E-4	6 E-5	2 E-5	7 E-6

3.3 Depositiefluxen

De depositiefluxen voor bupirimaat en methomyl zijn gebaseerd op jaargemiddelde concentraties en een jaargemiddelde meteorologie met ca. 800 mm neerslag (Buishand et.al. 1980).

Dichloorvos wordt het gehele jaar toegepast, maar met een hoge frequentie gedurende enkele weken gedurende de teeltwisseling. De bijdrage van natte depositie hangt dan volledig af van het scenario, dat wordt gekozen voor de regenval. In de tabellen met depositiefluxen is voor dichloorvos alleen de droge depositie weergegeven. Voor bupirimaat en methomyl is de som van natte en droge depositie weergegeven. Overigens blijkt uit tabel 5, dat voor deze beide stoffen de totale depositie vrijwel geheel uit natte depositie bestaat.

Dichloorvos

De depositie van dichloorvos is berekend voor de concentraties, die zijn genoemd in tabel 9. In tabel 12 zijn de resultaten van de berekeningen opgenomen. Voor gunstiger of ongunstiger meteorologische- en terreinomstandigheden kunnen de depositiefluxen ruwweg een factor drie hoger of lager liggen dan in de tabel is aangegeven (bij gelijkblijvend brongebied).

Tabel 12 *Depositieflux, gedurende de teeltwisseling, voor dichloorvos op verschillende afstanden tot het kassengebied*

dimensies brongebied (km ²)	afstand tot brongebied (km)	depositie zandbodem (µg/ha/s)	depositie veenbodem (µg/ha/s)	depositie water (µg/ha/s)	depositie gras (µg/ha/s)	depositie sla (µg/ha/s)
10 * 10	0	10,5	2,7	234	15	23
10 * 10	1	6,3	1,6	140	9	14
10 * 10	2	4,8	1,2	107	7	11
10 * 10	4	3,6	0,92	80	5	8
10 * 10	8	2,4	0,62	54	4	5
10 * 10	16	1,2	0,31	27	2	3
10 * 10	32	0,51	0,13	11	1	1
3 * 3	0	5,1	1,3	114	7	11
3 * 3	1	2,9	0,75	67	4	6
3 * 3	2	2	0,5	44	3	4
3 * 3	4	0,99	0,25	22	1	2
3 * 3	8	0,45	0,12	10	0,7	1
3 * 3	16	0,18	0,05	4	0,3	0,4
3 * 3	32	0,06	0,02	1	0,1	0,1
1 * 1	0	2,3	0,6	51	3	5
1 * 1	1	0,81	0,21	18	1	2
1 * 1	2	0,42	0,11	9	0,6	1
1 * 1	4	0,18	0,05	4	0,3	0,4
1 * 1	8	0,06	0,02	1	0,1	0,1
1 * 1	16	0,02	0,005	0,4	0,03	0,04
1 * 1	32	0,006	0,002	0,1	0,01	0,01

Bupirimaat en Methomyl

Voor bupirimaat en methomyl zijn jaargemiddelde depositiefluxen berekend. De berekende depositiefluxen hebben betrekking op een receptorgebied, dat ten noord-oosten van het bronnengebied ligt. Bij de meest gunstige ligging van de receptorpunten ten opzichte van het brongebied zijn de depositiefluxen ruwweg een factor 1,5 lager dan in de tabel weergegeven.

In de tabellen 13 en 14 zijn de resultaten van de berekeningen van de depositiefluxen weergegeven.

Tabel 13 Jaargemiddelde depositiefluxen van bupirimaat op verschillende afstanden tot het kassengebied

dimensies brongebied (km ²)	afstand tot brongebied (km)	depositie zandbodem (µg/ha/s)	depositie veenbodem (µg/ha/s)	depositie water (µg/ha/s)	depositie gras (µg/ha/s)	depositie sla (µg/ha/s)
10 * 10	0	6,6	6,7	1,8	9	17
10 * 10	1	3,3	3,4	0,9	4	8
10 * 10	2	2,6	2,7	0,7	3	7
10 * 10	4	1,5	1,5	0,4	2	4
10 * 10	8	0,8	0,7	0,2	1	2
10 * 10	16	0,4	0,3	0,1	0,4	0,8
10 * 10	32	0,2	0,2	0,04	0,2	0,5
3 * 3	0	3,3	3,4	0,9	4	8
3 * 3	1	1,1	1,1	0,3	1	3
3 * 3	2	0,8	0,7	0,2	1	2
3 * 3	4	0,4	0,4	0,1	0,5	1
3 * 3	8	0,1	0,1	0,03	0,1	0,3
3 * 3	16	0,04	0,04	0,009	0,05	0,09
3 * 3	32	0,02	0,02	0,003	0,02	0,04
1 * 1	0	1,5	1,5	0,4	2	4
1 * 1	1	0,2	0,3	0,08	0,3	0,7
1 * 1	2	0,1	,1	0,03	0,1	0,3
1 * 1	4	0,04	0,04	0,009	0,05	0,09
1 * 1	8	0,02	0,01	0,003	0,02	0,04
1 * 1	16	0,006	0,007	0,001	0,005	0,01
1 * 1	32	0,002	0,002	0,0005	0,002	0,005

Tabel 14 Jaargemiddelde depositiefluxen van methomyl op verschillende afstanden tot het kassengebied

dimensies brongebied (km ²)	afstand tot brongebied (km)	depositie zandbodem (µg/ha/s)	depositie veenbodem (µg/ha/s)	depositie water (µg/ha/s)	depositie gras (µg/ha/s)	depositie sla (µg/ha/s)
10 * 10	0	1,2	1,1	3,0	4	7
10 * 10	1	0,6	0,6	1,6	2	4
10 * 10	2	0,4	0,4	1,0	1	2
10 * 10	4	0,3	0,3	0,7	1	1
10 * 10	8	0,1	0,1	0,4	0,5	0,8
10 * 10	16	0,05	0,04	0,1	0,2	0,3
10 * 10	32	0,03	0,03	0,07	0,1	0,2
3 * 3	0	0,5	0,5	1,3	2	3
3 * 3	1	0,2	0,2	0,6	0,8	1
3 * 3	2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5
3 * 3	4	0,05	0,04	0,1	0,2	0,3
3 * 3	8	0,02	0,02	0,05	0,06	0,1
3 * 3	16	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05
3 * 3	32	0,003	0,003	0,009	0,01	0,02
1 * 1	0	0,3	0,3	0,7	1	2
1 * 1	1	0,05	0,04	0,1	0,2	0,3
1 * 1	2	0,02	0,02	0,06	0,08	0,1
1 * 1	4	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05
1 * 1	8	0,003	0,003	0,006	0,01	0,02
1 * 1	16	0,001	0,001	0,003	0,003	0,005
1 * 1	32	0,003	0,0003	0,0009	0,001	0,002

3.4 Concentratie in oppervlaktewater en bodem

De depositiefluxen, die zijn genoemd in paragraaf 3.3 zijn omgerekend naar een concentratie in oppervlaktewater, bodem en vegetatie. De berekende concentraties van dichloorvos, bupirimaat en methomyl zijn weergegeven in de tabellen 15 t/m 17.

Tabel 15 Concentratie dichloorvos in bodem, oppervlaktewater en gewas op verschillende afstanden tot het kassengebied

dimensies brongebied (km ²)	afstand tot brongebied (km)	concentratie bodem		concentratie water		concentratie gewas	
		zandbodem (µg/kg)	veenbodem (µg/kg)	sloot (ng/l)	rivier (ng/l)	gras (µg/kg (nat))	sja (µg/kg (nat))
10 * 10	0	1,4	1,4	580	280	25	46
10 * 10	1	0,9	0,9	350	170	15	28
10 * 10	2	0,6	0,6	270	130	12	21
10 * 10	4	0,5	0,5	200	96	9	16
10 * 10	8	0,3	0,3	130	64	6	11
10 * 10	16	0,2	0,2	67	32	3	5
10 * 10	32	0,07	0,07	28	14	1	2
3 * 3	0	0,7	0,7	280	140	12	23
3 * 3	1	0,4	0,4	160	79	7	13
3 * 3	2	0,3	0,3	110	52	5	9
3 * 3	4	0,1	0,1	55	26	2	4
3 * 3	8	0,06	0,06	25	12	1	2
3 * 3	16	0,02	0,03	10	5	0,4	0,8
3 * 3	32	0,008	0,01	3	2	0,1	0,3
1 * 1	0	0,3	0,3	130	61	5	10
1 * 1	1	0,1	0,1	45	22	2	4
1 * 1	2	0,06	0,06	23	11	1	2
1 * 1	4	0,03	0,03	10	5	0,4	0,8
1 * 1	8	0,01	0,01	3	2	0,1	0,3
1 * 1	16	0,003	0,003	1	0,5	0,04	0,08
1 * 1	32	0,001	0,001	0,3	0,2	0,01	0,03

Tabel 16 Concentratie bupirimaat in bodem, oppervlaktewater en gewas op verschillende afstanden tot het kassengebied

dimensies brongebied (km ²)	afstand tot brongebied (km)	concentratie bodem		concentratie water		concentratie gewas	
		zandbodem (µg/kg)	veenbodem (µg/kg)	sloot (ng/l)	rivier (ng/l)	gras (µg/kg (nat))	sla (µg/kg (nat))
10 * 10	0	29	142	530	17	540	885
10 * 10	1	15	72	270	9	270	443
10 * 10	2	12	57	210	7	210	344
10 * 10	4	7	32	120	4	120	197
10 * 10	8	4	15	61	2	60	98
10 * 10	16	2	6	26	0,8	27	44
10 * 10	32	0,9	4	13	0,4	15	25
3 * 3	0	15	72	270	9	270	443
3 * 3	1	5	23	92	3	90	148
3 * 3	2	4	15	61	2	60	98
3 * 3	4	2	8	31	1	30	49
3 * 3	8	0,5	2	9	0,3	9	15
3 * 3	16	0,2	0,8	3	0,08	3	5
3 * 3	32	0,09	0,4	1	0,03	1	2
1 * 1	0	6,6	32	120	4	120	197
1 * 1	1	0,9	6	22	0,7	21	34
1 * 1	2	0,4	2	9	0,3	9	15
1 * 1	4	0,2	0,8	3	0,08	3	5
1 * 1	8	0,09	0,2	0,9	0,03	1	2
1 * 1	16	0,03	0,1	0,3	0,01	0,3	0,5
1 * 1	32	0,009	0,04	0,1	0,004	0,2	0,2

Tabel 17 Concentratie methomyl in bodem en oppervlaktewater op verschillende afstanden tot het kassengebied

dimensies brongebied (km ²)	afstand tot brongebied (km)	concentratie bodem		concentratie water		concentratie gewas	
		zandbodem (µg/kg)	veenbodem (µg/kg)	sloot (ng/l)	rivier (ng/l)	gras (µg/kg (nat))	sla (µg/kg (nat))
10 * 10	0	1,1	8	620	28	9	15
10 * 10	1	0,6	4	320	14	5	8
10 * 10	2	0,4	3	220	10	3	5
10 * 10	4	0,3	2	150	6	2	4
10 * 10	8	0,1	1	76	3	1	2
10 * 10	16	0,05	0,3	25	1	0,3	0,6
10 * 10	32	0,03	0,2	15	0,6	0,2	0,4
3 * 3	0	0,5	3	273	12	4	6
3 * 3	1	0,2	2	124	5	2	3
3 * 3	2	0,1	0,6	50	2	0,7	1
3 * 3	4	0,05	0,3	25	1	0,4	0,6
3 * 3	8	0,02	0,1	10	0,5	0,1	0,2
3 * 3	16	0,01	0,06	5	0,2	0,07	0,1
3 * 3	32	0,003	0,02	2	0,08	0,03	0,04
1 * 1	0	0,3	2	146	6	2	4
1 * 1	1	0,04	0,3	25	1	0,4	0,6
1 * 1	2	0,02	0,2	13	0,6	0,2	0,3
1 * 1	4	0,01	0,06	5	0,2	0,07	0,1
1 * 1	8	0,003	0,02	1	0,06	0,02	0,03
1 * 1	16	0,001	0,006	0,5	0,02	0,007	0,01
1 * 1	32	0,0003	0,002	0,2	0,008	0,003	0,004

4. Discussie

In dit hoofdstuk zijn de resultaten, die zijn weergegeven in hoofdstuk 3 verder uitgewerkt en besproken.

4.1 Concentraties in de lucht binnen een kassengebied

Het concentratieverloop van bestrijdingsmiddelen in de lucht binnen een kassengebied is berekend voor dichloorvos. Deze keuze is gemaakt omdat dichloorvos een hoge emissie heeft. De berekende concentraties mogen derhalve als een maximum worden beschouwd dat voor een (beperkt) aantal middelen kan optreden. De concentraties zijn berekend voor 5 tegelijkertijd emitterende kassen op een vierkante kilometer. Vijf tegelijkertijd emitterende kassen kan worden beschouwd als een maximum, dat af en toe eens voor zou kunnen komen (realistic worst case). Uit de berekeningen blijkt echter dat de piekconcentraties worden veroorzaakt door de emissie uit een enkele kas. De bijdrage aan de piekconcentraties van de overige kassen is beperkt en licht maximaal in de grootte-orde van 10-20%.

De berekende concentraties houden één uur stand, na de start van de toepassing. Daarna nemen de concentraties snel af. Dit wordt veroorzaakt doordat de emissie in het eerste uur na toedienen het hoogst is en daarna snel afneemt.

De concentraties zijn berekend met stabiliteitsklasse D, een windsnelheid van 2 m/s en een ruwheidslengte van 3 m. Overigens heeft de windsnelheid maar een beperkte invloed op de concentraties in de omgeving van een kas. Bij toenemende windsnelheid neemt niet alleen de verdunning toe, maar ook de bronsterkte. Hierdoor blijft de concentratie vrijwel constant.

De hoeveelheid dichloorvos, die uit de kas emitteert wordt direct achter de kas opgenomen in de zgn. lijwervel. Binnen de lijwervel is de concentratie constant. De lijwervel heeft een lengte van ca. 25 meter. Daarna treedt er snel verdunning op, waardoor de concentraties lager worden. Binnen de lijwervel bedraagt de concentratie dichloorvos ca. $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Op 100 meter afstand is dit afgenomen tot ca. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2 Concentraties in de lucht buiten een kassengebied

De berekende concentratie dichloorvos buiten de kassengebieden is circa 200 maal hoger dan de concentraties van methomyl en bupirimaat. Dit wordt voor een deel (ongeveer een factor 10) veroorzaakt door een hogere emissie van dichloorvos ten opzichte van methomyl en bupirimaat. Wat men zich hierbij echter dient te realiseren is, dat de concentratieniveau's van dichloorvos maar gedurende enkele weken

per jaar optreden en dat de concentratieniveau's van bupirimaat en methomyl jaargemiddeld zijn.

De jaargemiddelde concentratie van dichloorvos ligt ruwweg een factor 15 lager dan is berekend voor de periode waarin het gebruik het hoogst is (circa 3 weken). Daar komt nog bij, dat bij de berekening van de dichloorvosconcentratie is uitgegaan van een constante windrichting gedurende de periode, dat de stof wordt toegepast. Met andere woorden het gebied, waar de blootstelling is berekend ligt gedurende de gehele gebruikperiode benedenwinds van het kassengebied. Voor een periode van enkele weken kan deze situatie regelmatig optreden, maar bij jaargemiddelde berekeningen ligt het blootgestelde gebied maar in een beperkt gedeelte van het jaar benedenwinds van het brongebied.

De jaargemiddelde concentratie van dichloorvos zal dan ook niet sterk afwijken van de concentraties van methomyl en bupirimaat, die onderling ook niet sterk verschillen (bij het veronderstelde lage verbruik van dichloorvos buiten de teeltwisselingen).

Wat verder opvalt aan de resultaten is, dat aan de rand van het kassengebied bij een vertienvoudiging van de oppervlakte van het kassengebied de concentratie met slechts ongeveer een factor twee toeneemt. Op grotere afstanden (> 16 km) wordt de concentratie evenredig met de grootte van het kassengebied.

Dit kan eenvoudig worden verklaard; zeer dichtbij het kassengebied wordt de concentratie in de lucht vooral bepaald door de kassen, die het dichtst bij liggen. De kassen, die op grotere afstand liggen dragen maar beperkt bij. Op grotere afstand is de bijdrage van de verschillende kassen ongeveer even groot en is het totale emitterende gebied van belang.

4.3 Depositiefluxen

De depositiefluxen zijn afhankelijk van de stofeigenschappen van de verschillende middelen en het soort oppervlak, waar depositie op plaatsvindt.

De depositiefluxen voor bupirimaat en methomyl zijn jaargemiddeld berekend, met een jaargemiddelde meteorologie, inclusief natte depositie. Voor beide stoffen geldt, dat de totale depositie voor bodem eigenlijk alleen uit natte depositie, bestaat (zie tabel 5). Hierdoor zijn de totale depositiefluxen (natte + droge depositie) voor verschillende bodemsoorten gelijk, ondanks een hogere droge depositiesnelheid op zandbodem.

Voor oppervlaktewater ligt de natte depositie en de droge depositie op een vergelijkbaar niveau voor bupirimaat en methomyl. De totale depositie voor oppervlaktewater is dan ook hoger dan die voor bodem.

Voor dichloorvos is de droge depositie berekend voor de periode, waarin de stof wordt toegediend. Door de grote verschillen in depositiesnelheid op zandbodem, veenbodem en oppervlaktewater ontstaan hierin ook grote verschillen in depositiefluxen.

4.4 Concentratie in oppervlaktewater, bodem en gewas

4.4.1 Concentratie in oppervlaktewater

De concentratie, die uiteindelijk in het oppervlaktewater optreedt is de evenwichtsconcentratie tussen enerzijds de invoer van stof (de depositieflux) en anderzijds de verwijderingsmechanismen; afbraak en verversing van het water.

De invloed van de verversingsgraad op de concentratie in het oppervlaktewater is voor dichloorvos veel kleiner dan voor bupirimaat en methomyl. Dit wordt veroorzaakt door de snelle afbraak van dichloorvos. Afbraak en verversing (verdunding) zijn in competitie met elkaar bij de afname van de concentratie van een stof. Voor stoffen, waarbij de afbraaksnelheid hoog is, is de verversingssnelheid van het water van minder invloed op de uiteindelijke concentratie dan voor stoffen, waarvoor de afbraaksnelheid laag is.

De steady state concentratie wordt voor de sloot, met een verblijftijd van het water van 60 dagen voor dichloorvos, bupirimaat en methomyl na resp. 1, 250 en 120 dagen bereikt. Dit leidt ertoe, dat ondanks een veel hogere depositieflux voor dichloorvos de concentraties in deze sloot voor alledrie de stoffen op vrijwel hetzelfde niveau liggen, tussen 0,5 en 1 µg/l (op korte afstand van het kassengebied). Bij water met een hoge verversingsgraad (i.e. een korte verblijftijd) is de concentratie van dichloorvos hoger dan voor methomyl en bupirimaat. In deze situatie wordt de afname van de concentratie voor alle drie de stoffen (voor het grootste deel) bepaald door de verversingsgraad van het water, die voor alle drie de stoffen gelijk is. De hogere depositieflux voor dichloorvos leidt tot een hogere concentratie.

Er dient verder rekening mee te worden gehouden, dat de concentraties van dichloorvos maar enkele weken aanhouden en dat de jaargemiddelde concentraties veel lager zijn. De concentraties van methomyl en bupirimaat zijn wel jaargemiddeld.

Resumerend kan worden gesteld, dat ondanks een relatief lage depositieflux stabiele stoffen toch tot relatief hoge concentraties in oppervlaktewater kunnen leiden als de verversingsgraad van het oppervlaktewater laag is.

4.4.2 Concentratie in bodem

Bij de concentratieopbouw van middelen in de bodem speelt naast de depositie, afbraak, uitspoeling en de verdeling van een stof over de bodemfasen een rol. De concentratie, die wordt bereikt in de bodem vertoont voor de verschillende stoffen dan ook wat meer variatie dan de concentratie in oppervlaktewater. Dichloorvos levert de laagste concentraties op in de bodem, gevolg door methomyl en bupirimaat. Bupirimaat levert de hoogste concentraties in de bodem op.

De relatief lage concentraties van dichloorvos worden veroorzaakt door de hoge afbraaksnelheid van deze stof. De twee andere stoffen zijn veel stabiel, waardoor de concentratieopbouw langer doorgaat en er uiteindelijk een hoger plafond wordt bereikt.

Verder zijn er typische verschillen tussen de concentraties in zandbodem en veenbodem voor de drie stoffen. Voor dichloorvos zijn de concentraties in zandbodem en veenbodem vrijwel gelijk. Het verschil tussen de concentratie in zand- en veenbodem voor de beide andere stoffen is veel groter; een factor 5 verschil voor bupirimaat en een factor 7 verschil voor methomyl. In beide gevallen is de concentratie in veenbodem het hoogst, terwijl de depositieflux voor beide bodemsoorten gelijk is. Aan de rand van een kassengebied in zandbodem bedraagt de concentratie van dichloorvos, methomyl en bupirimaat respectievelijk circa 1, 1 en 30 $\mu\text{g/kg}$. De concentratie van bupirimaat en methomyl zijn in veenbodem respectievelijk een factor 5 en 7 hoger.

De hogere concentratie in veenbodem wordt veroorzaakt door het hogere organisch stofgehalte in veenbodem, waar deze stoffen gemakkelijk aan worden geabsorbeerd. Hierdoor is de uitspoeling lager, waardoor de uiteindelijke concentratie een hogere waarde bereikt.

Resumerend kan worden gesteld, dat de concentratie actieve stof in (de bovenlaag van een) veenbodem hoger is dan in (de bovenlaag van een) zandbodem, ondanks een hogere depositieflux op zandbodem. Voor middelen met een hoge afbraaksnelheid zijn de concentratieverschillen tussen beide bodemsoorten gering.

4.4.3 Concentratie in gewas

De berekende concentraties liggen voor de twee verschillende typen vegetatie niet ver uiteen. De twee soorten verschillen alleen enigszins in groeisnelheid en LAI. De bespreking beperkt zich dan ook tot de resultaten voor de verschillende pesticiden, omdat de stoffeigenschappen van de pesticiden veel belangrijker zijn voor de te bereiken concentraties dan het type gewas.

De bepalende stoffeigenschappen zijn de octanol-water coëfficiënt (de K_{ow}), en de Henry coëfficiënt (H). Het quotiënt $K_{ol} = K_{ow} RT/H$ geeft de verhouding in concentratie tussen lucht en octanol. Dit laatste medium is een goede maat voor de vette delen van het blad.

Bupirimaat heeft de hoogste waarde voor K_{ol} , gevolgd door methomyl en dichloorvos heeft de laagste waarde voor K_{ol} . Dit heeft twee gevolgen: ten eerste ondervindt bupirimaat een lage cuticulaire weerstand. Hierdoor is de initiële depositiesnelheid hoog. In feite wordt deze voor bupirimaat beperkt door de transportweerstand van het laminaire luchtlagje om het blad. Ten tweede ligt het verzadigingspunt bij een hoge bladconcentratie. Dit heeft tot gevolg dat er relatief veel van de stof kan worden opgenomen door het blad. De tijd die verloopt totdat het blad verzadigd is, is dan ook lang: enkele weken tegenover enkele dagen voor de andere twee stoffen.

Bij bupirimaat is de groei van het blad de belangrijkste oorzaak voor de concentratievermindering. Voor dichloorvos en methomyl is dat het floëemtransport.

4.5 Onzekerheden

Onzekerheden in resultaten van studies als deze zijn relatief groot. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat er op het gebied van de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht nog weinig bekend is en er dus weinig meetgegevens beschikbaar zijn om (tussen)resultaten aan te toetsen. Een algemene toetsing van het modelinstrumentarium is met de zeer beperkt beschikbare meetgegevens niet mogelijk. De enige meetgegevens, die voor dit doel enigszins geschikt zijn, zijn de meetgegevens van de Provincie Zuid-Holland en het Hoogheemraadschap Fleverwaard van concentraties bestrijdingsmiddel in regenwater (Provincie Zuid-Holland 1995, Heemraadschap Fleverwaard 1993).

Slechts van een beperkt aantal stoffen zijn emissiefactoren bekend en voor zover die bekend zijn hebben ze veelal betrekking op een specifieke toepassing en situatie. De verspreiding van stoffen in de lucht in het algemeen is relatief goed beschreven, maar daarvoor wordt eigenlijk altijd een factor twee onzekerheid aangehouden in het berekeningsresultaat.

De berekende concentraties in lucht worden vervolgens omgezet in depositiefluxen voor de verschillende stoffen, door een beschrijving van het depositiegedrag. Het gebruikte modelinstrumentarium voor de beschrijving van de depositie (en dus de berekening van de depositiesnelheden) is relatief nieuw. De modellen zijn dan ook nog beperkt gevalideerd met meetresultaten, waardoor de resultaten nog een indicatief karakter hebben.

De vertaalslag van een depositieflux naar een concentratie in bodem en oppervlaktewater is op zich relatief goed beschreven, met modellen, die ook al meerdere jaren worden gebruikt. De vertaalslag van depositieflux naar concentratie in en op vegetatie is nog niet uitontwikkeld. Ook dit instrumentarium is ontwikkeld om schadelijke effecten van andere componenten (met name ozon) op vegetatie te onderzoeken. Onzekerheden in de schattingen van de concentratie in en op de vegetatie is dan ook hoog. Temeer omdat ook niet voor alle parameters, die in het model worden ingevoerd betrouwbare resultaten beschikbaar zijn.

Een algemene toetsing van het modelinstrumentarium is met de zeer beperkt beschikbare meetgegevens eigenlijk niet aan de orde. De enige meetgegevens, die voor dit doel enigszins geschikt zijn, zijn de meetgegevens van de Provincie Zuid-Holland en het Hoogheemraadschap Fleverwaard van concentraties bestrijdingsmiddel in regenwater (Provincie Zuid-Holland 1995, Heemraadschap Fleverwaard 1993).

In een eerdere TNO-studie is (met vrijwel hetzelfde modelinstrumentarium als bij deze studie) een kwantitatief verband gelegd tussen het verbruik van bestrijdings-

middelen en de concentraties in regenwater (Harten, 1994, Baart et. al. 1995). De berekende concentraties in regenwater bleken daarbij nauwelijks af te wijken van de gemeten regenwaterconcentraties. Dit geeft aan, dat de route:

VERBRUIK → EMISSIE → VERSPREIDING →
CONCENTRATIE IN LUCHT → CONCENTRATIE IN REGENWATER

op zich goed kan worden beschreven met het huidige modelinstrumentarium. Het meten van (achtergrond)concentraties van bestrijdingsmiddelen in lucht zou de onzekerheden echter belangrijk terug kunnen dringen. Enerzijds kan daarmee direct de link worden gelegd naar concentraties in regenwater (via de wash-out ratio) en de depositiefluxen (via de depositiesnelheid). Anderzijds kan vanaf de concentratie in lucht terug worden gerekend naar een emissie en een verbruik. Daarnaast zou het experimenteel vaststellen van depositiesnelheden belangrijk bij kunnen dragen aan ons begrip van het gehele verspreidingsproces. Sommige stoffen (zoals Atrazin en DDT) worden over zeer grote afstanden (duizenden kilometers) verspreid, terwijl andere stoffen (bijvoorbeeld dichloorvos) eigenlijk alleen worden aangetroffen in de regio, waar ze worden toegepast.

5. Conclusies

Concentraties in lucht:

- De maximale concentraties van een bestrijdingsmiddel direct benedenwinds van een kas bedraagt circa $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Op 100 meter afstand is dit afgenomen tot circa $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De bijdrage van eventuele omringende kassen aan de concentraties in de lucht is beperkt en ligt maximaal in de grootte orde van zo'n 10 - 20 %.
- Aan de rand van het kassengebied neemt de concentratie bestrijdingsmiddel in de lucht met ruwweg een factor 2 toe bij een vertienvoudiging van de oppervlakte van het kassengebied. Op grotere afstanden ($> 16 \text{ km}$) wordt de concentratie evenredig met het (emitterende) oppervlak van een kassengebied.
- De hogere concentratie dichloorvos in de lucht buiten het kassengebied hebben betrekking op de periode van enkele weken per jaar, waarin de frequentie van toepassen hoog is. De jaargemiddelde concentratie voor de drie stoffen benedenwinds van een kassengebied zal niet sterk verschillen voor de drie stoffen. Aan de rand van het kassengebied is de jaargemiddelde concentratie in de grootte orde van $10 \text{ ng}/\text{m}^3$, om af te nemen tot circa $0,05 \text{ ng}/\text{m}^3$ op 32 km afstand van het kassengebied.

Concentraties in bodem:

- De concentratie bestrijdingsmiddel in de bodem is sterk afhankelijk van de stofeigenschappen en de bodemeigenschappen. Aan de rand van een kassengebied in zandbodem bedraagt de concentratie van dichloorvos, methomyl en bupirimaat respectievelijk circa 1, 1 en $30 \mu\text{g}/\text{kg}$. De concentratie van bupirimaat en methomyl zijn in veenbodem respectievelijk een factor 5 en 7 hoger.
- Voor zowel bupirimaat als methomyl geldt, dat de totale depositie voor bodem eigenlijk alleen uit natte depositie bestaat. Hierdoor zijn de totale depositiefluxen (natte + droge depositie) voor verschillende bodemsoorten gelijk, ondanks een hogere droge depositiesnelheid op zandbodem.
- De hogere concentratie in veenbodem (bij gelijke depositieflux) wordt veroorzaakt door het hogere organisch stofgehalte in veenbodem. Bupirimaat en methomyl worden daardoor gemakkelijk geadsorbeerd. Hierdoor is de uitspoeling lager, waardoor de uiteindelijke concentratie een hogere waarde bereikt. Voor middelen met een hoge afbraaksnelheid zijn de concentratieverschillen tussen beide bodemsoorten gering.

Concentraties in oppervlaktewater:

- De concentratie in oppervlaktewater is enerzijds sterk afhankelijk van de stoffeigenschappen en anderzijds van de verversingsgraad van het water. Voor water met een lage verversingsgraad zijn voor dichloorvos, bupirimaat en methomyl ongeveer dezelfde concentraties berekend; circa 500 ng/l (op korte afstand van het kassengebied).
Voor water met een hoge verversingsgraad zijn de concentraties van bupirimaat en methomyl aanzienlijk lager; ca. 20 ng/l. Voor dichloorvos liggen de concentraties in dezelfde grootte orde als voor water met een lage verversingsgraad (ca. 300 ng/l).
- Ondanks de hogere depositieflux van dichloorvos ten opzichte van bupirimaat en methomyl zijn de concentraties in oppervlaktewater niet evenredig hoger. De concentratie, die uiteindelijk in het oppervlaktewater optreedt is de evenwichtsconcentratie tussen enerzijds de depositieflux en anderzijds de afbraak en verversingssnelheid van het water. Door de hoge afbraaksnelheid van dichloorvos heeft de verversingsgraad van het water maar een beperkt effect op de concentratie van dichloorvos.
- Ondanks een lagere depositieflux stabiele stoffen toch tot hoge concentraties in oppervlaktewater kunnen leiden als de verversingsgraad van het oppervlaktewater niet te hoog is.

Concentraties in gewas:

- De berekende concentraties liggen voor de twee verschillende typen vegetatie niet ver uiteen. De stoffeigenschappen van de pesticiden zijn belangrijker voor de te bereiken concentraties dan het type gewas. De combinatie van de octanol water coëfficiënt en de Henry coëfficiënt is bepalend voor de uiteindelijk concentratie in het gewas.
- De berekende concentraties bedragen voor dichloorvos, bupirimaat en methomyl respectievelijk: ca. 18, 350 en 5 µg/kg gewas aan de rand van een kassengebied. Deze concentraties nemen af tot (veel) minder dan 1 µg/kg op grotere afstanden vanaf het kassengebied (bij een gebied van 3 * 3 km).

6. Aanbevelingen

Onzekerheden in resultaten van studies als deze zijn relatief hoog. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat er op het gebied van het gedrag van bestrijdingsmiddelen in het milieu, en met name het gedrag in de lucht, zeer weinig meetgegevens beschikbaar zijn. Een algemene toetsing van het modelinstrumentarium is met de beperkte hoeveelheid beschikbare meetgegevens eigenlijk niet mogelijk.

Een belangrijke verkleining van de onzekerheden zou kunnen worden bereikt door:

- Het meten van (achtergrond)concentraties van bestrijdingsmiddelen in lucht. Enerzijds kan daarmee direct de link worden gelegd naar concentraties in regenwater (via de wash-out ratio) en de depositiefluxen (via de depositiesnelheid). Anderzijds kan vanaf de concentratie in lucht terug worden gerekend naar een emissie en een verbruik.
- Het experimenteel vaststellen van depositiesnelheden. Sommige stoffen (zoals Atrazin en DDT) worden over zeer grote afstanden (duizenden kilometers) verspreid, terwijl andere stoffen (bijvoorbeeld dichloorvos) eigenlijk alleen worden aangetroffen in de regio, waar ze worden toegepast.

7. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

Namen en functies van de projectmedewerkers:

J. Baas

Projectleider

D.J. Bakker

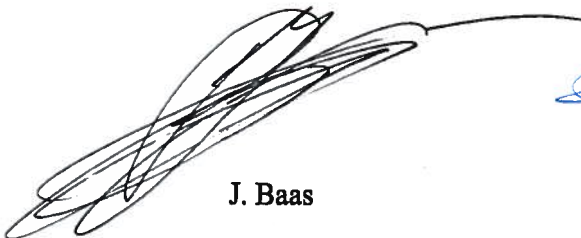
J.H. Duyzer

R.F. van Os

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

januari - augustus 1996

Ondertekening:



J. Baas

Goedgekeurd door:



H.-P. Baars

8. Referenties

- Baart, A.C., J.J.M. Berdowski en J.A. van Jaarsveld
Calculation of atmospheric deposition of contaminants on the North Sea
TNO-MW rapport nr. TNO-MW-R 95/138; 9 mei 1995
- Baas, J. en C. Huygen
Emissie van gewasbeschermingsmiddelen uit kassen naar de lucht
IMW rapport nr. IMW-R 92/304; 10 september 1992
- Baas, J.
Emissie van gewasbeschermingsmiddelen uit boomgaarden naar de lucht
TNO-MW rapport nr. MW-R 94/040a; 12 april 1994
- Bakker, D.J. en K.D. van den Hout
De invloed van atmosferische depositie op de kwaliteit van bodem en oppervlaktewater in Nederland.
Beschrijving rekenmethode en berekeningsresultaten
IMW-TNO rapport nr. IMW - R 93/200, 2 september 1993
- Bakker, D.J., L. Smolders en A.J. Palsma
De invloed van atmosferische depositie op bodem en oppervlaktewater in Nederland.
Een nadere beschouwing.
TNO-MW rapport no. MW-R 94/137, juni 1994
- Buishand, T.A. en C.A. Velds
Klimaat van Nederland 1
Neerslag en verdamping
KNMI, 1980
- Deinum et al.
Atmospheric Environment 1995, 29,997
- Duyzer, J.H.
Depositieprocessen
opgenomen in het verslag van het symposium "Atmosferische depositie en bodemkwaliteit" gehouden in "De Reehorst", EDE december 1992.
- Esch en Steekelenburg
Persoonlijke communicatie met J. van Esch (IKC) en N. van Steekelenburg (PBG)

Linders, J.B.H.J., J.W. Jansma, B.J.W.G. Mensink en K. Otermann

Pesticides: Benefaction or Pandora's box

A synopsis of the environmental aspects of 243 pesticides

RIVM rapport no. 679101014, 1994

Harten, H.A.J. van

De herkomst van pesticiden in regenwater in Nederland

Stageverslag, 7 april 1994

Heemraadschap Fleverwaard

Bestrijdingsmiddelen in neerslag en in oppervlaktewater.

Onderzoek naar het voorkomen en de verspreiding van bestrijdingsmiddelen in oppervlaktewater, atmosferische depositie en waterbodemslib in Oostelijk en Zuidelijk Flevoland in 1990 en 1991. Fleverwaard, 1993

Huygen, C., J.A. Duiser en L. de Vries

Emissie van bestrijdingsmiddelen naar lucht bij boomgaarbespuiting.

Methoden voor het schatten van concentraties en deposities in de naaste omgeving.

TNO-MT rapport nr. R 86/225, november 1986

Huygen, C., J.A. Duiser en L. de Vries

Emissie van bestrijdingsmiddelen naar lucht bij bespuiting van laag gewas.

Methoden voor het schatten van concentraties en deposities in de naaste omgeving.

TNO-MT rapport nr. R 86/227, november 1986

Jong, T. de

Natural ventilation of large multi-span greenhouses, Proefschrift LUW, september 1990

Kleine Commissie Modellen TNO

Modellen voor de berekening van de verspreiding van luchtverontreiniging inclusief aanbevelingen voor de waarden van parameters in het lange termijn model.

Staatsuitgeverij 's Gravenhage, ISBN 90 12 012716, april 1976

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Luchtverontreiniging en het weer

De Bilt, Staatsuitgeverij 's-Gravenhage (2^e druk), 1979

P.S. Liss and P.G. Slater

Flux of gases across the air-sea interface

Nature, vol 247, january 1974

MJPG-Emissie-evaluatie 1995

Achtergronddocument

Commissie van deskundigen Emissie-Evaluatie MJP-G, IKC, in druk

Paterson et al.

Environ. Sci. Technol. 1991, 25,866

Provincie ZUId-Holland

Bestrijdingsmiddelen in neerslag in Zuid-Holland

Dienst Water en Milieu, maart 1994

Pruissen, O.P. van

Herkomst van pesticiden in regenwater in Zuid-Holland

TNO-MW rapport nr. TNO-MW-R 95/103; 13 april 1995

Riederer

Environ. Sci. Technol. 1990, 24,829

Tolls & McLachlan,

Environ. Sci. Technol. 1994, 28,159

Vereniging LUCHT

Invloed van een gebouw op de verspreiding van schoorsteenpluimen. SCMO-TNO, 1986

Werkgroep verspreiding luchtverontreiniging, Frequentieverdelingen van luchtverontreinigingsconcentraties. Een aanbeveling voor een rekenmethode, Augustus 1981

Werkgroep verspreiding luchtverontreiniging, Parameters in het lange-termijnmodel verspreiding luchtverontreiniging, september 1984

Werkgroep verspreiding luchtverontreiniging, Invloed van een gebouw op de verspreiding van schoorsteenpluimen, oktober 1986

Worthing, C. R. en R. J. Hance

The pesticide manual (a world compendium), The British Crop Protection Council, 9th Edition 1991

Bijlage A Concentraties voor dichloorvos (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) op verschillende afstanden tot het brongebied

Emissie: 11.8 mg/s.km²

Brongebied 1 * 1 km

stabl. kl	rhl	afstand tot de rand van het gebied (km)						
		0	1	2	4	8	16	32
B	1	0.49	0.15	0.06	0.03	0.009	0.003	0.0009
C	1	0.76	0.27	0.14	0.06	0.02	0.006	0.002
D	1	1.46	0.42	0.25	0.12	0.05	0.02	0.005
E	1	3.3	0.77	0.54	0.27	0.11	0.05	0.01
B	3	0.42	0.11	0.05	0.02	0.008	0.003	0.0008
C	3	0.63	0.21	0.11	0.05	0.02	0.005	0.002
D	3	1.0	0.36	0.19	0.09	0.03	0.011	0.003
E	3	2.3	0.70	0.44	0.21	0.08	0.03	0.01

Brongebied 3 * 3 km

stabl. kl	rhl	afstand tot de rand van het gebied (km)						
		0	1	2	4	8	16	32
B	1	1.2	0.57	0.33	0.15	0.08	0.03	0.008
C	1	1.7	0.98	0.65	0.33	0.15	0.06	0.02
D	1	2.5	1.4	1.0	0.5	0.30	0.12	0.05
E	1	5.1	2.4	1.9	1.4	0.70	0.30	0.11
B	3	0.99	0.45	0.25	0.12	0.05	0.02	0.006
C	3	1.4	0.81	0.51	0.25	0.11	0.05	0.015
D	3	1.9	1.3	0.87	0.45	0.23	0.09	0.03
E	3	3.9	2.3	1.8	1.2	0.54	0.23	0.09

Brongebied 10 * 10 km

stabl. kl	rhl	afstand tot de rand van het gebied (km)						
		0	1	2	4	8	6	32
B	1	2.1	1.3	1.0	0.70	0.40	0.19	0.08
C	1	3.5	2.1	1.6	1.2	0.80	0.40	0.17
D	1	5.7	3.0	2.4	2.0	1.4	0.78	0.36
E	1	12.0	5.7	4.6	3.6	2.7	1.8	0.93
B	3	1.8	1.1	0.88	0.59	0.33	0.02	0.06
C	3	2.9	1.8	1.5	1.1	0.66	0.32	0.14
D	3	4.5	2.7	2.3	2.2	1.2	0.64	0.27
E	3	9.3	5.1	4.4	3.3	2.4	1.5	0.75