



Beschrijving van de emissie van bestrijdingsmiddelen naar lucht bij bespuiting van bodem of gewas in ISBEST 3.0

R.A. Smidt, M.F.R. Smit, F. van den Berg, J. Denneboom (*Alterra*)
J.C. van de Zande, H.J. Holterman, J. F. M. Huijsmans (*IMAG*)



Alterra-rapport 207, ISSN 1566-7197

Reeks milieuplanbureau

Beschrijving van de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht bij bespuiting van bodem of gewas in ISBEST 3.0

Beschrijving van de emissie van bestrijdingsmiddelen naar lucht bij bespuiting van bodem of gewas in ISBEST 3.0

R.A. Smidt ¹

M.F.R. Smit ¹

F. van den Berg ¹

J. Denneboom ¹

J.C. van de Zande ²

H.J. Holterman ²

J.F. M. Huijsmans ²

¹⁾ Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte

²⁾ IMAG, Instituut voor Milieu- en Agritechniek

Alterra-rapport 207

Reeks Milieuplanbureau

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000

REFERAAT

R.A. Smidt, A.A.M.F.R. Smit, F. van den Berg, J. Denneboom, J.C. van de Zande, H.J. Holterman en J.F. M. Huijsmans, 2000. *Beschrijving van de emissie van bestrijdingsmiddelen naar lucht bij bespuiting van bodem of gewas in ISBEST 3.0.*, Wageningen, Alterra-rapport 207/Reeks Milieuplanbureau; 62 blz. 4 fig.; 11 tab.; 46 ref.

Voor landsdekkende berekeningen van de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht is het ISBEST instrumentarium verbeterd. Hierbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande methoden en kennis. Tabellen met de emissiefactor vanaf bodem en gewas en vanuit de kas voor ca 250 bestrijdingsmiddelen en tabellen met de mate van bodemdepositie en gewasinterceptie van een bestrijdingsmiddel als functie van het gewasontwikkelingsstadium zijn gecombineerd met de gegevens over het verbruik van bestrijdingsmiddelen in Nederland in de database ISBEST versie 3.0. Verdere verbetering van het instrumentarium kan worden bereikt onder meer door het ontwikkelen en inbouwen van een methodiek voor de emissie tijdens de toepassing en de koppeling met het consensusmodel voor uitspoeling PEARL. Daarbij dient een verbeterd concept voor de vervluchtiging van bestrijdingsmiddel vanaf onbegroeide bodem in PEARL ingebouwd te worden.

Trefwoorden: Bestrijdingsmiddel, bodem, bodemdepositie, emissie, gewas, gewasinterceptie, ISBEST, kas, lucht, toepassing, toepassingstechniek

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 40,00 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van rapport 207 Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2000 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Informatiesysteem bestrijdingsmiddelen (ISBEST)	13
2.1 Inleiding	13
2.2 Bestrijdingsmiddelenverbruik	13
2.2.1 CBS-bestrijdingsmiddelenenquête	15
2.2.2 LELI-Bedrijveninformatienet	16
2.2.3 PD-registratie grondontsmettingsmiddelen	16
2.2.4 Geografische verspreiding van het verbruik	16
2.2.5 Extrapolatie van verbruik naar andere gewassen	17
2.2.6 Berekenen van het verbruik	17
2.2.6.1 ISBEST-parameters	17
2.2.6.2 Berekeningen	19
2.3 Emissies van bestrijdingsmiddelen	20
2.3.1 Emissie via drift	20
2.3.2 Emissie naar het oppervlaktewater	21
3 Depositie van bestrijdingsmiddel op doeloppervlak	23
3.1 Depositie op de bodem	23
3.2 Depositie op het gewas	25
4 Emissie naar de lucht	29
4.1 Emissie tijdens toepassing	29
4.2 Vervluchting vanaf het bodemoppervlak	31
4.2.1 Achtergrond	31
4.2.2 Belangrijkste processen	31
4.2.3 Bepalingsmethodiek voor de vervluchting vanaf het bodemoppervlak	32
4.2.4 Vervluchting vanaf het bodemoppervlak in ISBEST	33
4.3 Vervluchting vanaf het gewasoppervlak	34
4.3.1 Inleiding	34
4.3.2 Belangrijkste processen	35
4.3.3 Bepalingsmethodiek voor de vervluchting vanaf het gewasoppervlak	35
4.3.4 Vervluchting vanaf het gewasoppervlak in ISBEST	36
4.4 Emissie naar de lucht vanuit kassen	37
4.4.1 Achtergrond	37
4.4.2 Belangrijkste processen voor de emissie naar de lucht vanuit kassen	37

4.4.3	Emissie naar lucht vanuit kassen in ISBIEST	38
5	Landsdekkende voorbeeldberekeningen met het nieuwe instrumentarium voor emissies naar de lucht	39
5.1	Emissies onderscheiden naar bestrijdingsmiddel	39
5.2	Emissies onderscheiden naar gewas	42
6	Discussie	45
7	Conclusies en aanbevelingen	51
7.1	Conclusies	51
7.2	Aanbevelingen	52
	Literatuur	55
 <i>Aanhangsels</i>		
1	Lijst van verschenen rapporten in de Reeks Milieuplanbureau	61

Woord vooraf

In het kader van de Wet milieubeheer berust de functie van het Milieuplanbureau (MPB) bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Een belangrijke activiteit van het MPB bestaat uit het jaarlijks uitbrengen van de Milieubalans. Daarnaast verschijnt elke vier jaar de Milieuverkenningen. Wageningen UR levert bijdragen aan de MPB-functie door:

- het uitvoeren van analyses op deelterreinen van het milieubeleid voor het landelijk gebied;
- het ontwikkelen van nieuwe of het verbeteren van bestaande modellen en gegevensbestanden voor het landelijk gebied;
- het op niveau houden van de expertise en de kwaliteitsborging ervan.

De samenwerking tussen RIVM en Wageningen UR (toenmalig DLO) is in 1996 vastgelegd in een convenant, en in het LNV onderzoekprogramma: 'Kennisontwikkeling voor de Milieuplanbureau-functie'. Binnen dit programma vindt, vanuit de kennisbehoefte op landelijk en regionaal niveau, verdere ontwikkeling en – operationalisering plaats voor de MPB-functie en voor milieubeleidsvraagstukken van het Ministerie van landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Het onderzoek binnen dit programma wordt deels meegefinancierd door het RIVM.

De afgelopen jaren is het ISBEST instrumentarium versie 3.0 ontwikkeld waarmee op basis van verbruiksgegevens over 1995 landsdekkende berekeningen konden worden gedaan naar de emissie naar het grond- en oppervlaktewater. Deze ontwikkeling werd in belangrijke mate mogelijk gemaakt door medefinanciering door het RIVM in het kader van het Convenant. In de periode van juni 1999 tot en met juli 2000 is het instrumentarium verder ontwikkeld zodat daarmee op landsdekkende schaal berekeningen kunnen worden uitgevoerd naar de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht vanaf bespoten bodem- en plantoppervlakken. Voor de gegevens over de depositie van bestrijdingsmiddel op de bodem en de interceptie van bestrijdingsmiddel door het gewas is gebruik gemaakt van de literatuurstudies uitgevoerd door het IMAG. Voor de berekening van de emissiefactoren vanaf bodem- en gewasoppervlakken is gebruik gemaakt van de methodieken beschreven in de Milieuplanbureau-rapporten 2 en 4. De voortgang en resultaten van het project werden begeleid door het projectteam gevormd door:

- Ing. R.A. Smidt
- Ir. A.A.M.F.R. Smit
- Dr. Ir. F. van den Berg
- Ir J.C. van de Zande
- Dr. H.J. Holterman
- Ir. R.C.M. Merkelbach

Dr. A.N. van der Zande

Voorzitter Stuurgroep DLO-programma 'Kennisontwikkeling voor de MPB-functie'.

Samenvatting

In de landbouw wordt op grote schaal gebruik gemaakt van bestrijdingsmiddelen om plagen en ziekten in gewassen te bestrijden. Teneinde de emissie en verspreiding van bestrijdingsmiddelen in het milieu terug te dringen heeft de regering in 1991 besloten om emissiebeperkende en gebruiksbeperkende maatregelen in te voeren. Voor de evaluatie van deze maatregelen is een instrumentarium nodig waarmee de omvang van de emissies via verschillende routes gekwantificeerd kan worden. Het instrumentarium voor de berekening van de emissie naar de lucht werd verbeterd in het kader van de realisatie van het InformatieSysteem BESTrijdingsmiddelen (ISBEST) versie 3.0, met verbruiksgegevens over het jaar 1995. Deze verbetering werd bereikt door zoveel mogelijk gebruik te maken van bestaande methoden en kennis.

De emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht kan verlopen via verschillende routes, waarvan de belangrijkste zijn:

- Emissie tijdens toepassing;
- Emissie vanaf onbegroeide bodem;
- Emissie vanaf gewas;
- Emissie vanuit kassen.

De emissie tijdens toepassing wordt in sterke mate bepaald door de teeltsituatie, de toepassingstechniek, de formulering en de weersomstandigheden. Het gebruik van een spuitdop levert een spectrum op van druppelgroottes. De fractie spuitdruppels met de kleinste diameter van het druppelgroottespectrum zijn het meest gevoelig voor verwaaiing. Door verdamping van water kan de diameter van relatief grote druppels zoveel afnemen dat de druppels in de lucht blijven zweven. Het deel van de druppels dat buiten het doelgebied via de lucht verder getransporteerd kan worden, wordt aangeduid als 'zwevende drif'. De kennis over de omvang van de emissie tijdens toepassing is beperkt en er is nog geen methodiek beschikbaar om de bijdrage van deze route aan de emissie naar de lucht te kunnen kwantificeren voor verschillende categorieën toepassingstechnieken.

De emissie vanaf het bodem- en gewasoppervlak wordt vooral bepaald door de fysisch-chemische eigenschappen van het middel, de eigenschappen van bodem en gewas en de weersomstandigheden. De invloed van processen en factoren op de omvang van de emissie vanaf de onbegroeide bodem naar de lucht verschilt aanzienlijk van die vanaf het gewasoppervlak.

De depositie van bestrijdingsmiddel op de bodem en de interceptie van bestrijdingsmiddel door het gewas werd afgeleid uit metingen die voor een aantal techniek-gewas combinaties uitgevoerd zijn. Deze metingen werden geïnventariseerd en relaties werden afgeleid voor de verdeling van het middel tussen bodem en gewas. Aangezien de depositie- en interceptiegegevens voor een bepaald gewas soms uit verschillende studies afkomstig zijn, werden controles uitgevoerd op de som van de

depositie en de interceptie. Indien de som meer bedroeg dan de dosering werden de depositiepercentages en interceptie zodanig bijgesteld dat het totaal niet meer de 100% overschreed.

De emissiefactoren voor vervluchtiging vanaf gewas en vanaf bodem werden geschat met behulp van correlaties afgeleid uit de in de literatuur gepubliceerde metingen. Voor de vervluchtiging vanaf onbegroeide bodem werd gebruik gemaakt van een correlatie tussen de cumulatieve emissie en de fractie van het bestrijdingsmiddel in de gasfase. Deze fractie is afhankelijk van de dampdruk, de wateroplosbaarheid, de coëfficiënt voor de sorptie aan de gronddeeltjes, het vochtgehalte in de bodem, de bulkdichtheid en de temperatuur. Voor de vervluchtiging vanaf gewas werd uitgegaan van een correlatie tussen de cumulatieve emissie en de dampdruk van het bestrijdingsmiddel. Het aantal gegevens waarop de correlatie voor vervluchtiging vanaf gewas is gebaseerd is zeer beperkt.

De schattingen van de emissie vanuit kassen zijn gemaakt door gebruik te maken van een methodiek die in de Emissie-evaluatie 1995 is gebruikt. Deze methodiek geeft emissiefactoren in afhankelijkheid van de klasse waarin de dampdruk van het bestrijdingsmiddel valt. Bij de bepaling van de gemiddelde emissiefactor per klasse is rekening gehouden met het verschil in emissie tussen laag-volume en hoog-volume toepassingstechnieken.

Om te komen tot een landsdekkend beeld van de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht is voor alle middelen in ISBEST versie 3.0 de emissiefactor bepaald op basis van de methodieken voor vervluchtiging vanaf onbegroeide bodem, vervluchtiging vanaf gewas en voor emissie vanuit kassen. Deze gegevens zijn gecombineerd met de gegevens in ISBEST over het verbruik, het gewas en het gewasstadium per tweewekelijkse periode in 1995. De bijdrage van de verschillende routes aan de landelijke emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht is met dit instrumentarium berekend.

De ontwikkelde methodieken voor de emissie naar de lucht kunnen gebruikt worden in de totstandkoming van een instrumentarium gebaseerd op de nieuwe versie van ISBEST die gebruikt gaat worden in de komende evaluatie van het MJP-G voor het ijkjaar 2000. Het instrumentarium is echter nog niet compleet. De bijdrage van de emissie tijdens toepassing is nog niet gekwantificeerd. Verder onderzoek naar deze route is noodzakelijk, zodat een bruikbare methodiek om deze bijdrage te schatten ontwikkeld kan worden. Ook zijn in het kader van de kwaliteitsborging nog verdere controles nodig op de invoergegevens, de rekenprocedures en de uitvoer van het instrumentarium. Verdere verbetering is mogelijk door gebruik te maken van de verbeterde module voor vervluchtiging vanaf onbegroeide bodem die voor PEARL in 2001 ontwikkeld en getoetst zal worden.

1 Inleiding

De laatste decennia is de bezorgdheid om mogelijk nadelige effecten van bestrijdingsmiddelen in het milieu toegenomen. In de landbouw wordt op grote schaal gebruik gemaakt van bestrijdingsmiddelen om plagen en ziekten in gewassen te bestrijden. In 1991 heeft de regering besloten om de emissie en verspreiding van bestrijdingsmiddelen in het milieu terug te dringen door het treffen van emissiebeperkende en gebruiksbepurende maatregelen (LNV et al., 1991). Tevens werd gesteld dat de afhankelijkheid van bestrijdingsmiddelen verminderd diende te worden. Om het effect van de getroffen maatregelen te beoordelen is in 1995 een emissie-evaluatie uitgevoerd (Commissie van deskundigen Emissie-evaluatie MJP-G, 1996a,b). Het instrumentarium voor de berekening van de emissie naar de lucht dat voor deze evaluatie gebruikt werd was echter beperkt (geen onderscheid tussen emissie tijdens en na toepassing) en onvolledig (geen emissie vanaf de bodem voor oppervlaktebespuitingen). Verdere verbetering van het instrumentarium voor emissie naar de lucht is noodzakelijk, zodat de bijdragen van alle relevante routes voor de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht op betrouwbare wijze geschat kunnen worden. Hiertoe wordt de huidige beschikbare kennis over de omvang en betekenis van deze routes zoveel mogelijk in het instrumentarium verwerkt.

Het verbeterde instrumentarium bestaat uit de combinatie van een gegevensbestand over het verbruik van ca 250 in Nederland toegelaten actieve stoffen, tabellen met emissiefactoren en rekenmethoden waarmee de emissie naar de lucht op nationaal niveau berekend kan worden. De volgende emissie-routes naar de lucht zijn opgenomen in het instrumentarium:

- Emissie vanaf onbegroeide bodem,
- Emissie vanaf gewas,
- Emissie vanuit kassen.

Voor de berekening van de mate van emissie van bestrijdingsmiddel naar de lucht vanaf bodem en gewas zijn eenvoudige rekenmethoden ontwikkeld (Smit et al., 1997; Smit et al., 1998). Het deel van de dosering van het middel dat vervluchtigt hangt af van de fysisch-chemische eigenschappen van het middel, de fysische eigenschappen en condities van de bodem, de eigenschappen en condities van het gewas en de weersomstandigheden. Ook de mate van depositie van het bestrijdingsmiddel op het bodemoppervlak en de mate van interceptie van het middel door het gewas is bepalend voor de emissie naar de lucht. De gegevens voor de bodemdepositie en gewasinterceptie voor elk(c) gewas(groep) in afhankelijkheid van het gewasstadium zijn verkregen uit literatuurstudies (Van de Zande et al., 2000a).

Voor de berekening van de emissie van bestrijdingsmiddel vanuit kassen is bij de Emissie-evaluatie van het MJP-G een schattingsmethode uitgewerkt (Commissie van Deskundigen Emissie-evaluatie MJP-G, 1996b). Deze methodiek is ook overgenomen in de schatting van de emissie vanuit kassen ten behoeve van het convenant Glastuinbouw en Milieu (GLAMI, Lieffijn et al., 2000). Voor het

instrumentarium voor de emissie van bestrijdingsmiddelen naar lucht met ISBEST 3.0 is deze methodiek ook gebruikt. De kennis op het gebied van de emissie van bestrijdingsmiddelen tijdens de toepassing (als druppels en damp) is nog niet zover ontwikkeld, dat een rekenmethode operationeel te maken is waarmee deze emissieroute gekwantificeerd kan worden.

De methodieken voor de berekening van de emissie naar de lucht vanaf de bodem, vanaf het gewas en vanuit de kas als gevolg van een enkelvoudige toepassing vormen een onderdeel van het instrumentarium om de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht te berekenen op nationaal niveau. Het in deze studie ontwikkelde instrumentarium is gebaseerd op het informatiesysteem voor bestrijdingsmiddelen ISBEST versie 3.0. In de berekeningen met dit instrumentarium worden alleen de landbouwkundige emissies van bestrijdingsmiddelen naar de lucht in beschouwing genomen. In deze studie wordt het ontwikkelde instrumentarium gebruikt voor een landsdekkende voorbeeldberekening van de emissie van bestrijdingsmiddelen vanaf het bodemoppervlak, gewasoppervlak en vanuit de kas naar de lucht aan de hand van de verbruikscijfers over 1995 zoals opgenomen in ISBEST 3.0. De ontwikkelde methodieken voor de berekening van de emissies naar de lucht kunnen ook gebruikt worden in de komende evaluatie van het MJP-G in 2000.

De ontwikkelde methodieken en de toepassing ervan in het instrumentarium voor de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht hebben geen betrekking op de grondontsmettingsmiddelen. De methodiek voor de vervluchtiging vanaf bodem is niet geschikt om de emissie van grondontsmettingsmiddel naar de lucht te schatten. Voor deze groep kan een goede schatting van de emissie naar de lucht worden gemaakt door een model voor het gedrag van bestrijdingsmiddel in de bodem te koppelen met een geografisch informatiesysteem en ISBEST. Een dergelijke combinatie is gerealiseerd met het model voor bestrijdingsmiddelen PESTRAS en heeft geresulteerd in GIOPESTRAS (Tiktak et al., 1996). In de nabije toekomst zal een dergelijk instrument worden ontwikkeld met het nieuwe consensusmodel voor uitspoeling PEARL (Pesticide Emission Assessment at Regional and Local Scales).

In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt een beknopte beschrijving gegeven van het informatiesysteem voor bestrijdingsmiddelen ISBEST. In hoofdstuk 3 wordt een verantwoording gegeven van de gebruikte gegevens met betrekking tot de bodemdepositie en gewasinterceptie. In hoofdstuk 4 worden de verschillende emissieroutes naar de lucht besproken en de ontwikkelde methodieken voor de emissieschattingen toegelicht. De resultaten van de landsdekkende berekeningen van de emissie naar de lucht via de verschillende routes worden in hoofdstuk 5 gepresenteerd. In hoofdstuk 6 worden de onzekerheden in de emissieschattingen besproken. Tot slot worden in hoofdstuk 7 de conclusies gepresenteerd alsmede aanbevelingen voor verdere uitbreiding en verbetering van het instrumentarium.

2 Informatiesysteem bestrijdingsmiddelen (ISBEST)

2.1 Inleiding

Om een goed beeld te kunnen vormen van de milieubelasting die voortvloeit uit het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen, is het belangrijk dat het verbruik van deze middelen zo nauwkeurig mogelijk in kaart wordt gebracht. Met nauwkeurig wordt hier niet alleen bedoeld de omvang van het verbruik per werkzame stof, maar evenzeer een verdeling van het verbruik over de verschillende gewassen. Met de verspreiding van de gewassen is tevens de geografische verdeling bepaald. Dit laatste is relevant omdat veel variabelen die van invloed zijn op de omvang van de milieubelasting geografisch zijn bepaald, zoals eigenschappen van de bodem en de aanwezigheid van open water in de vorm van sloten.

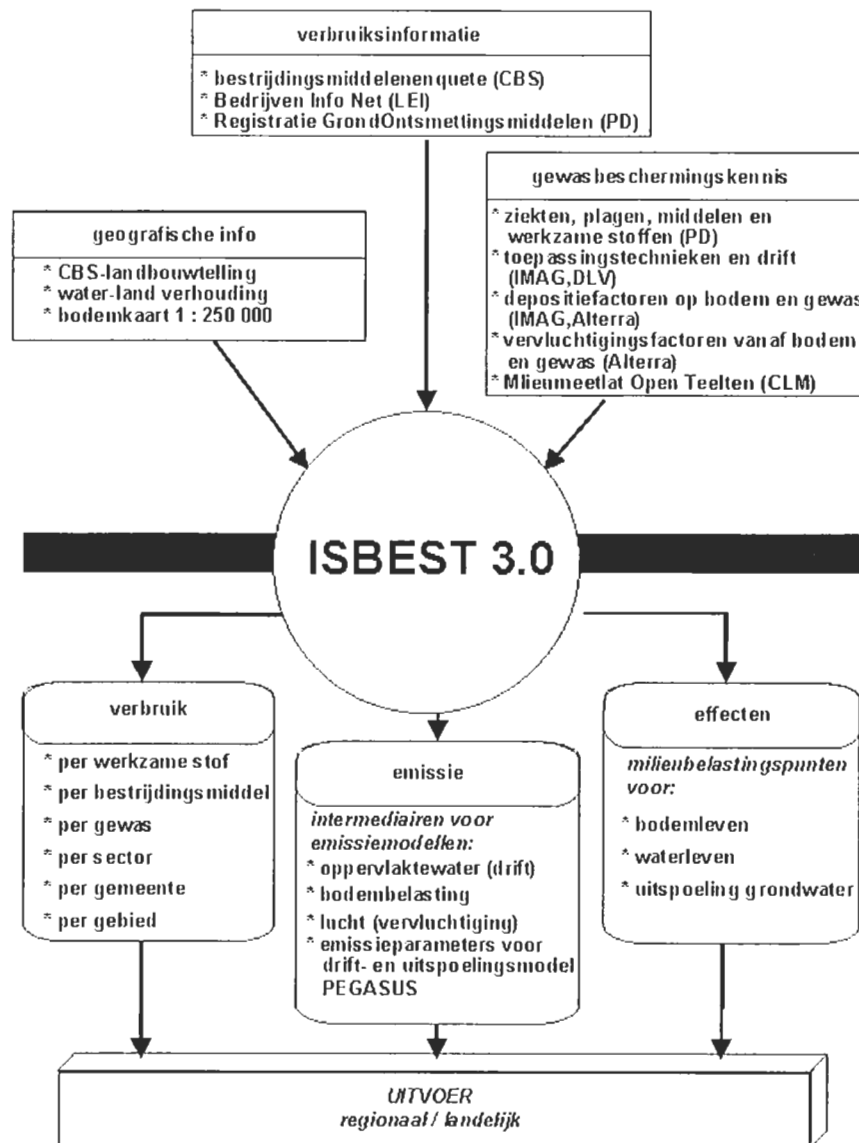
Het Informatiesysteem Bestrijdingsmiddelen (ISBEST) is een database waarin informatie is opgeslagen over het bestrijdingsmiddelenverbruik voor verschillende gewassen enerzijds en over emissiefactoren van bestrijdingsmiddelen anderzijds. Tegenwoordig met bestanden over de geografische verspreiding van de diverse landbouwgewassen in Nederland (CBS, 1996; PD, 1998) en gewasbeschermingskundige kennis (IKC en PD, 1993) vormt het systeem een instrumentarium waarmee landsdekkende emissieberekeningen kunnen worden uitgevoerd. Het systeem is in 1993 opgezet door DLO-Staring Centrum (SC-DLO) in samenwerking met het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Verdere ontwikkeling heeft geleid tot ISBEST versie 2.0 (Lentjes en Denneboom, 1996). Sinds 1997 is ISBEST versie 3.0 (Smidt et al., 2000). In dit hoofdstuk wordt een beknopt overzicht van het datamodel gegeven.

2.2 Bestrijdingsmiddelenverbruik

In ISBEST 3.0 is getracht de dagelijkse landbouwpraktijk tot op toepassingsniveau te beschrijven. In figuur 1 is aangegeven welke informatiebronnen in ISBEST 3.0 hiertoe zijn opgenomen.

Gegevens over het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen worden in Nederland landsdekkend verzameld door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) en het Landbouw Economisch Instituut (LEI). De Plantenziektenkundige Dienst (PD) beschikt over gegevens over het gebruik van een specifieke groep van de bestrijdingsmiddelen, de zgn. 'natte' grondontsmettingsmiddelen of fumigantia. Om de verbruiksgegevens aan te laten sluiten op emissiekennis is informatie uit onderzoek en expertise van teeltdeskundigen geïntegreerd in het systeem. De geografische informatie maakt het mogelijk om zowel landelijke als regionale berekeningen uit te voeren.

Basis datamodel ISBEST 3.0



Figuur 1 Basis-datamodel ISBEST 3.0

2.2.1 CBS-bestrijdingsmiddelenenquête

Het Centraal Bureau voor de Statistiek heeft in 1995 (evenals in 1993 en 1991) een bestrijdingsmiddelenenquête gehouden in de land- en tuinbouw (CBS, 1997). Er is kwantitatieve informatie verzameld over het gebruik van bestrijdingsmiddelen in de belangrijkste 48 gewassen binnen 9 teeltsectoren (tabel 1). De gegevens zijn afkomstig uit een steekproef die is gehouden onder ongeveer 3200 landbouw-bedrijven. Het aantal bedrijven is daarbij evenredig verdeeld over de 48 gewassen. Ieder bedrijf heeft maandelijks een vragenlijst ontvangen waarop voor één specifiek gewas alle chemische behandelingen moesten worden ingevuld. Op deze manier zijn gegevens verzameld over het te bestrijden organisme en de daartegen gebruikte bestrijdingsmiddelen met hun dosering en oppervlak.

Deze enquête heeft geresulteerd in een dataset met daarin informatie over het verbruik van bestrijdingsmiddelen uitgesplitst naar gewas, plaagorganisme en areaal waarop het bestrijdingsmiddel is toegepast.

Tabel 1 Sektoren en gewassen uit de CBS-bestrijdingsmiddelenenquête 1995

Sector	Gewas	Sector	Gewas
Akkerbouw	Snijmais	Boomkwekerijgewassen	Rozestruiken
	Wintertarwe		
	Suikerbieten	Pit- en steenvruchten	Appelen
	Consumptieaardappelen		Peren
	Fabrieksaardappelen	Bloembollen en -knollen	
	Pootaardappelen		Tulpen
	Zomergerst		Lelies
	Graszaad		Gladiolen
	Zaaiuien		Narcissen
	Erwten groen		Hyacinten
	Bruine bonen		Irissen
	Erwten droog		
Groenten open grond		Groenten onder glas	Tomaten
			Paprika
	Stambonen	Bloemen onder glas	Komkommer
	Winterpeen		
	Spruitkool		Rozen
	Witlofwortel		Chrysanten
	Was- en bospeen		Potplanten bloei
	Sluitkool		Potplanten blad
	Prei		Freesia's
	Asperges		Lelies
	Aardbeien		Anjers
	Schorseneren		
	Sla		
Boomkwekerijgewassen		Eetbare paddelstoelen	Champignons
	Laan- en parkbomen		
	Bos- en haagplantsoen		
	Sierconiferen		
	Vruchtbomen		
	Vaste planten		

2.2.2 LEI-Bedrijveninformatienet

Het gewas grasland is niet in de CBS-enquête vertegenwoordigd. Maar omdat grasland vanwege het grote gewasareaal toch een flinke bijdrage aan het totale verbruik levert, is voor grasland een aanvullende bron geraadpleegd, namelijk het Bedrijven-Informatie-Net (BIN) 1995 van het LEI.

Het LEI-BIN is een databank waarin de volledige boekhouding van 1000 akkerbouw- en 500 tuinbouwbedrijven wordt bijgehouden. Een onderdeel van de boekhouding heeft betrekking op het verbruik van bestrijdingsmiddelen. De hoeveelheid aangekocht middel wordt vanaf de aankoopbon overgenomen in de databank. Deze gegevens worden middels interviews met de betrokken agrariër vertaald op gewasniveau. Na bewerking door het LEI zijn de landelijke gegevens van een bestrijdingsmiddel per gewas beschikbaar als het verbruik per oppervlakte-eenheid. Voor gebruik in ISBEST zijn de middelregistraties uit het BIN omgezet naar werkzame stoffen en vervolgens toegekend aan plagen of plaaggroepen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Gewasbeschermingskennisbank (Janssen- van Bergeijk et al, 1994) en de DLV-gids voor de akkerbouw en de veehouderij (DLV adviesgroep, 1995).

2.2.3 PD-registratie grondontsmettingsmiddelen

Het verbruik van grondontsmettingsmiddelen is niet in de bestrijdingsmiddelenenquête van het CBS opgenomen. Omdat deze groep een belangrijke bijdrage levert aan zowel het totale verbruik als de emissie wordt gebruik gemaakt van de registratiegegevens van de Plantenziektenkundige Dienst.

De grondontsmettingsmiddelen metam-natrium, cis-1,3-dichloorpropeen en 1,3-dichloorpropeen zijn in navolging van het Besluit regulering grondontsmettingsmiddelen (stb. 225), hierna aangeduid als RGO, alleen op recept verkrijgbaar. Bij de aanvraag van een vergunning moeten een aantal gegevens worden verstrekt, waaronder het gewas, ligging en oppervlak van het perceel, en het te gebruiken grondontsmettingsmiddel. Deze bedrijfsinformatie is door de PD verwerkt tot informatie op gemeente niveau. Echter, in ISBEST 3.0 wordt informatie op het gewasniveau in het systeem verwerkt. Door het opschalen van de gedetailleerde informatie per gemeente naar landelijke informatie op gewasniveau gaat veel informatie verloren. Dit heeft ertoe geleid dat de grondontsmettingsmiddelen als aparte categorie in ISBEST 3.0 zijn ingebouwd waarbij de informatie op gemeente-niveau bewaard is gebleven.

2.2.4 Geografische verspreiding van het verbruik

Afgezien van de PD-registratie, die zich slechts uitstrekt tot 3 middelen, beschrijven de datasets van de twee overige instanties het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen op nationale schaal; regionale cijfers over 1995 zijn niet beschikbaar. Een verdeling van

het verbruik in Nederland over regio's, wordt door geen van beide instanties gegeven. Wel kunnen de genoemde datasets als basis dienen voor een dergelijke verdeling, zoals door ISBEST wordt gegenereerd. Dit is mogelijk door het verbruik van middelen te beschrijven per hectare van een gewas en vervolgens deze informatie te koppelen aan het areaal van het betreffende gewas in een bepaalde gemeente, regio of in heel Nederland. Deze arealen worden vermeld in de Landbouwtelling van het CBS (CBS, 1996).

De CBS-landbouwtelling is een jaarlijkse inventarisatieronde onder alle agrariërs waarbij wordt gevraagd welke gewassen er op hun bedrijf wordt verbouwd en hoe groot het areaal is van deze gewassen. Uit deze gegevens stelt het CBS statistieken samen. De Landbouwtelling 1995 heeft betrekking op 119 gewassen en gewasgroepen, onderverdeeld naar de verschillende sectoren (zie ook tabel 1). Voor al deze gewassen is het gewasareaal per gemeente (totaal 630 gemeenten) bekend. Door koppeling van ISBEST 3.0, namelijk via het verbruik in kilogrammen op één hectare, aan de gewasarealen uit de CBS-landbouwtelling kan per gemeente, per regio of landelijk het bestrijdingsmiddelenverbruik worden berekend.

2.2.5 Extrapolatie van verbruik naar andere gewassen

Het bestrijdingsmiddelenverbruik uit de CBS-bestrijdingsmiddelenenquête heeft betrekking op 48 gewassen. Alhoewel het de gewassen betreft met een groot areaal, zijn een groot aantal kleinere gewassen niet in de enquête meegenomen (tabel 1).

In de CBS-landbouwtelling zijn 119 gewassen opgenomen. Door middel van extrapolatie van de op bestrijdingsmiddelen geënquêteerde gewassen naar gewassen uit dezelfde groep is het aantal gewassen in ISBEST 3.0 opgeschaald. In tabel 2 is een overzicht gegeven van de enquête-gewassen en hun afgeleide gewassen. Op deze wijze wordt met ISBEST 3.0 het bestrijdingsmiddelenverbruik in 71 gewassen beschreven.

2.2.6 Berekenen van het verbruik

2.2.6.1 ISBEST-parameters

Om de diverse informatiebronnen aan elkaar te kunnen koppelen zijn in ISBEST 3.0 enkele specifieke parameters afgeleid. Dit zijn o.a. plaagdruk, tijdstip van toediening, marktpositie, dosis werkzame stof, doserings-plaatsfractie en toepassingstechniek-fractie. De laatste twee parameters worden in de paragrafen hieronder toegelicht. Met de specifieke parameters worden de verbruiksberoekeningen uitgevoerd.

Het datasysteem kent een gelaagde opbouw waarin het gewas bovenaan staat. Op het niveau van een gewas worden verschillende ziekten en plagen onderscheiden. Niet het gehele gewasareaal hoeft te zijn aangetast. Het aangetaste deel van het areaal wordt weergegeven door de term plaagdruk, uitgedrukt in procenten of als fractie.

Tabel 2 Overzicht van de CBS-enquête gewassen waarvan het bestrijdingsmiddelenverbruik in ISBEST 3.0 is geëxtrapoleerd naar andere gewassen uit de CBS-Landbouwtelling

Sector	CBS-enquête gewas	Extrapolatie naar:
Akkerbouw	Snijmais	Korrelmais/Corn cob mix
	Suikerbieten	Voederbieten
	Consumptieaardappelen	Consumptieaardappelen op klei Consumptieaardappelen op zand/veen
	Pootaardappelen	Pootaardappelen op klei Pootaardappelen op zand/veen
	Wintertarwe	Wintergerst/Rogge/Triticale
	Zomergerst	Zomertarwe/Haver
	Zaaiuien	Poot- en plantuien/Zilveruitjes
	Erwten groen	Veldbonen
	Bruine bonen	Kapucijners
	Stambonen	Tuinbonen
Groenten open grond	Sluitkool (herfstkool)	Bewaarkool/Bloemkool
	Sla	Spinazie/Andijvie
Boomkwekerijgewassen	Vruchtbomen	nieuwe aanplant Appel/ - Peren

Het volgende niveau is het tijdstip waarop de plaag kan voorkomen. De parameter tijdstip is in ISBEST gedefinieerd als een aaneengesloten periode van twee weken, waarin een plaag wordt bestreden.

De bestrijding van een plaag op het behandelde areaal hoeft niet met één en hetzelfde middel plaats te vinden. Er zijn vaak meerdere middelen tegen een plaag werkzaam. Om de onderlinge positie van een bepaald middel ten opzichte van andere middelen voor dezelfde plaagbestrijding te beschrijven is de term marktpositie ingevoerd. De marktpositie van een middel is de fractie van het gewasareaal waarop met dat specifieke middel een behandeling wordt uitgevoerd ten opzichte van het totale gewasareaal waarop de plaag betrekking heeft (Smidt et al., 2000). Daarbij wordt ervan uitgegaan dat het areaal maar met één middel tegelijk wordt behandeld.

ISBEST beschrijft het verbruik van bestrijdingsmiddelen in termen van werkzame stoffen. Het praktijkverbruik van een middel wordt derhalve omgerekend naar de dosis werkzame stof gerekend over een toepassingsperiode van twee weken (1 tijdstip). Het aantal (praktijk)toepassingen in die twee weken wordt daarbij maximaal twee verondersteld.

De plaats van inzetten van het middel binnen een gewas of op een perceel is vastgelegd door de term doserings-plaatsfractie. De doserings-plaatsfractie voor een toepassing is gedefinieerd als het deel van het perceel waarop de dosering terecht komt. De toepassing kan zijn tussen de rijen, in de rijen, pleksgewijs, alleen op de bedden of volvelds. Elke toepassing heeft zijn eigen percentage, bijv. pleksgewijs 5%, volvelds 100%.

Van de gangbare toepassingstechnieken in de dagelijkse landbouwpraktijk wordt de veldspuit zowel met als zonder luchtondersteuning ingezet. De implementatiegraad van de veldspuit met luchtondersteuning voor 1995 wordt door deskundigen van

IMAG geschat op 15%. Dit heeft ertoe geleid dat de term toepassingstechniekfractie is ingevoerd. De toepassingstechniekfractie is een maat voor de veronderstelde implementatiegraad van een toepassingstechniek in de praktijk. Zo wordt er voor de boomteelt verondersteld dat er bij bepaalde toepassingen in 50% van de gevallen met een gewone landbouwspruit wordt gewerkt, terwijl in de overige 50% van de gevallen een met de hand gedragen spuitboom wordt ingezet.

2.2.6.2 Berekeningen

De berekening van het verbruik van een bestrijdingsmiddel in een gewasteelt in een gebied met ISBEST 3.0 is gebaseerd op de verbruiksfactoren van het bestrijdingsmiddel voor de relevante plaag-toepassingstijdstip-toepassingstechniek combinaties. De verbruiksfactor voor een toepassing van een middel in een gewas(teelt) tegen een plaag in een gebied, uitgedrukt in kg per ha, wordt als volgt berekend:

$$VBF_{ws, gw}(i, j) = PD_i \cdot MP_i \cdot DS_i \cdot DPF_j \cdot TTF_j \quad [1]$$

waarin:

$VBF_{ws, gw}(i, j)$	= verbruiksfactor voor een bestrijdingsmiddel in een gewas (kg.ha ⁻¹) in tweewekelijkse periode i voor toepassingstechniek j
PD_i	= plaagdruk in tweewekelijkse periode i (-)
MP_i	= marktpositie van middel in tweewekelijkse periode i (-)
DS_i	= dosering werkzame stof in tweewekelijkse periode i (kg.ha ⁻¹)
DPF_j	= doserings-plaatsfractie voor toepassingstechniek j (-)
TTF_j	= toepassingstechniekfractie voor toepassingstechniek j (-)

Vervolgens worden de berekende verbruiksfactoren gesommeerd over alle plaag-toepassingstijdstip-toepassingstechniek combinaties voor de toepassing van de werkzame stof per ha van een teelt. Hierna is het seizoensverbruik te berekenen door de totale verbruiksfactor per ha teelt in het seizoen te vermenigvuldigen met het gewasareaal in een gebied. In ISBEST 3.0 worden twee seizoenen onderscheiden: 'voorjaar' en 'najaar'. Het 'voorjaar' loopt van week-in-jaar 9 tot en met week-in-jaar 36; het 'najaar' loopt van week-in-jaar 1 tot en met week-in-jaar 8 en van week-in-jaar 37 tot en met week-in-jaar 52. Het gewasareaal is in ISBEST per gemeente beschikbaar. Het seizoensverbruik van een middel in een gewasteelt per gemeente wordt gegeven door:

$$SVB_{ws, gw} = A_{gm} \cdot VBFTOT_{ws, gw} \quad [2]$$

waarin:

$SVB_{ws, gw}$	= seizoensverbruik van de werkzame stof in een gewas (kg)
A_{gm}	= areaal van het gewas in de gemeente (ha)
$VBFTOT_{ws, gw}$	= totaal van de verbruiksfactoren van alle plaag-tijdstip-toepassingstechniek-combinaties (kg.ha ⁻¹)

2.3 Emissies van bestrijdingsmiddelen

In ISBEST 3.0 wordt het bestrijdingsmiddelenverbruik op gewas-plaag niveau beschreven. Deze informatie is aangevuld met gegevens over toepassingstechnieken, depositie op bodem en gewas en vervluchtiging vanaf bodem en gewas (figuur 1). Hierdoor is het mogelijk om met ISBEST niet alleen het verbruik te berekenen, maar ook om de depositie door drift, de belasting van bodem en oppervlaktewater en de vervluchtiging te schatten. Voor landsdekkende berekeningen betreffende uitspoeling naar het grondwater is een koppeling van PESTRAS met een geografisch informatiesysteem en ISBEST ontwikkeld (Tiktak et al., 1996). Voor landsdekkende berekeningen van de belasting van het oppervlaktewater door laterale drainage en drift is het instrumentarium PEGASUS ontwikkeld, dat gebaseerd is op een koppeling tussen PESTLA met een geografisch informatiesysteem en ISBEST (Kruijne en Merkelbach, 1997). In deze paragraaf worden de emissie via drift en de emissie naar het oppervlaktewater als gevolg van drift kort toegelicht. De depositie op bodem en gewas alsmede de vervluchtiging worden gedetailleerd beschreven in hoofdstuk 3.

2.3.1 Emissie via drift

Veel toedieningen van bestrijdingsmiddelen vinden plaats via spuiten. In de open teelten kan een deel van de spuitvloeistof daarbij verwaaien, dit wordt (druppel)drift genoemd. Als er over drift in het algemeen wordt gesproken dan wordt die fractie van de druppeldrift bedoeld die op korte afstand naast het bespoten perceel tot depositie op de bodem of op het oppervlaktewater komt. De mate van deze drift is o.a. afhankelijk van windsterkte en -richting, de toepassingstechniek en de spuit-hoogte en wordt vaak weergegeven als depositiepercentage van de dosering. Naast de drift die tot depositie komt bestaat er ook nog een restfractie druppeldrift of druppelresiduen (restdeeltjes nadat het oplosmiddel is verdampt) die 'zwevende drift' wordt genoemd. De zwevende drift kan op grotere afstand tot depositie komen of geheel verdampen. De zwevende drift wordt niet in ISBEST 3.0 beschreven (zie ook paragraaf 4.1).

De driftpercentages van de verschillende technieken in ISBEST zijn afkomstig uit een literatuurstudie van IMAG (van de Zande et al., 1997) en later aangepast met gegevens uit Van de Zande et al. (2000b). In deze studie is een inventarisatie gemaakt van de beschikbare gegevens over drift van spuitvloeistof zoals dit onder Nederlandse omstandigheden kan optreden. Bij het berekenen van de driftpercentages is uitgegaan van de dimensies van een standaardsloot, een windrichting haaks op de sloot (ca. 3 m/s) en de meest gangbare instelling van de machine (standaard doptype, vloeistofafgifte, spuitdruk en boomhoogte).

De toepassingstechnieken die in ISBEST zijn beschreven, zijn alleen de gangbare technieken. Prototypes, maar in de praktijk nog nauwelijks toegepaste technieken, zijn niet in het informatiesysteem opgenomen. Per sector zijn meerdere toepassings-

technieken aanwezig. Afhankelijk van de gewas-plaag-middel-combinatie (toepassing) worden één of meerdere toepassingstechnieken beschreven.

Niet alle toepassingstechnieken veroorzaken drift. Bijvoorbeeld naast de gangbare omhooggerichte spuittechniek wordt in de fruitteelt het onkruid ook van zeer dichtbij bestreden en heeft de wind geen vat op de spuitvloeistof. Andere toepassingstechnieken zonder druppeldrift zijn het strijken van het bladoppervlak, het dompelen van bollen en het strooien van granulaten. Voor de toepassingsstechnieken in de glastuinbouw zijn geen driftpercentages afgeleid omdat het gesloten teelten betreft (afgeschermd voor wind).

Zoals vermeld wordt de druppeldrift uitgedrukt als percentage van de dosering per oppervlakte-eenheid, die op het wateroppervlak terechtkomt. De regionale emissie naar het oppervlaktewater als gevolg van druppeldrift is dus tevens afhankelijk van de verhouding oppervlaktewater en het landbouwareaal en de lengte van de belaste oever (Kruijne en Merkelbach, 1997).

2.3.2 Emissie naar het oppervlaktewater

Driftberekeningen in ISBEST zijn slechts een grove benadering van de emissie op landelijke en regionale schaal. Betere schattingen zijn mogelijk wanneer gebruik wordt gemaakt van het instrumentarium PEGASUS (Pesticide Emission to Groundwater And Surface waterS; Kruijne en Merkelbach, 1997).

In 1999 is een nieuwe versie van PEGASUS ontwikkeld die gekoppeld is aan ISBEST versie 3.0. In deze versie wordt gebruik gemaakt van het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (de Wit et al., 1999), aangevuld met informatie over gewasarealen uit de Landbouwtelling (CBS, 1996) en informatie over oppervlaktewater met behulp van het digitale topografische TOP10-vector bestand (Topografische Dienst).

Door meer gedetailleerde bodemkundige informatie uit de bodemkaart van Nederland (Wösten et al., 1988) en hydrologische gegevens is PEGASUS ook in staat om, rekening houdend met de netto bodembelasting volgens uit ISBEST, berekeningen van de uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater uit te voeren door gebruik te maken van PESTLA (Boesten en Van der Linden, 1991; Van den Berg en Boesten, 1999). PESTLA is inmiddels opgevolgd door het consensusmodel PEARL, dat door het RIVM en Alterra gezamenlijk ontwikkeld is (Tiktak et al., 2000; Leistra et al., 2000). Dientengevolge zal een nieuw instrumentarium voor landsdekkende berekeningen van de belasting van het oppervlaktewater ontwikkeld worden op basis van het nieuwe consensusmodel PEARL.

3 Depositie van bestrijdingsmiddel op doeloppervlak

Gewasbeschermingsmaatregelen zijn in de praktijk gericht op het gewas of de bodem ter bestrijding van plagen en ziekten. Een deel van de toegepaste dosering van het middel zal effectief zijn, een ander deel van de dosering zal niet effectief zijn vanwege processen aan het doeloppervlak zoals sorptie, omzetting, vervluchtiging, afspoeling en uitspoeling.

3.1 Depositie op de bodem

De netto bodembelasting met een bestrijdingsmiddel is het verschil tussen de (bruto) hoeveelheid middel die tijdens toepassing op de bodem terechtkomt en de hoeveelheid die na toepassing naar de atmosfeer verdwijnt door vervluchtiging of is omgezet door bovengrondse biologische en chemische processen.

De bodemdepositie is dat deel van de dosering dat tijdens de toepassing op de bodem terecht komt. Bij een bespuiting voor opkomst is de bodem het doeloppervlak en zal de bodemdepositie nagenoeg gelijk zijn aan 100%. Bij een gewasbehandeling zal een deel van de dosering op de bodem terechtkomen. De hoeveelheid middel die op de bodem terechtkomt bij een gewasbehandeling is afhankelijk van het gewasstype, het gewasstadium en de toepassingstechniek. Bij een volgroeid gewas is de bodemdepositie lager dan bij een gewas in het beginstadium van de groei. Bij een volgroeid gewas met relatief veel blad, zoals aardappel en biet, is de bodemdepositie kleiner dan bij een volgroeid gewas met een relatief weinig blad, zoals ui.

Om de bodembelasting te schatten is in ISBEST een tabel opgenomen die de bodemdepositie bij een gewasbehandeling als functie van het gewasstadium beschrijft. In deze tabel is de groeicyclus van het gewas onderverdeeld in 2-wekelijkse perioden. Voor elke periode is de bodemdepositie geschat. Hierbij is uitgegaan van een vaste teeltperiode per gewas. Het begin van deze periode wordt bepaald door de zaai of pootdatum en het einde door de oogstdatum. In de periode tussen zaai en oogst is een schatting gemaakt van de bodemdepositie. Buiten deze periode is de bodemdepositie op 100% gesteld.

Voor het schatten van de bodemdepositie is door IMAG een literatuurstudie uitgevoerd naar de bodemdepositie bij de toepassing van chemische gewasbescherming (Van de Zande et al., 2000a). Uit deze studie bleek dat er van 5 gewasgroepen kwantitatieve informatie beschikbaar is over bodemdepositie bij een of meerdere gewasstadia. Van de akkerbouwgewassen(groepen) aardappel en granen, de bolgewassen tulp en lelie en de fruitteelt appel zijn van meerdere gewasstadia gegevens bekend over de bodemdepositie. Voor de laanbomen zijn gegevens over de bodemdepositie van 2 groeistadia bekend. Deze gegevens hebben betrekking op verschillende jaren. Van de gewassen bieten, spruiten, uien en rozenonderstammen is van één gewasstadium de bodemdepositie bekend. De glastuinbouw was niet in het

onderzoek meegenomen. Hiervoor is door aanvullend onderzoek informatie gevonden over het gewas tomaat (Bor et al. , 1994) en chrysant (Tak, 1995).

Uit de beschikbare informatie is per gewas een schatting gemaakt van de bodemdepositie voor een 2-wekelijkse periode. De ontbrekende gegevens zijn door middel van inter- en extrapolatie aangevuld. Hierbij is gebruik gemaakt van de LAI en expertise van teeltdeskundigen. Verder is geëxtrapoleerd tussen gewassen van eenzelfde groep, zoals granen. Indien van een gewasgroep geen gegevens beschikbaar waren is gebruik gemaakt van de indeling die gebruikt is bij de MJP-G Emissie-evaluatie 1995 (Commissie van Deskundigen MJP-G emissie-evaluatie, 1996a,b), voor wat betreft de vollegrondsgroenten. Daarbij zijn depositiewaarden geëxtrapoleerd van gewassen met een gelijkend bladerdek en gewashoogte.

In tabel 3 is de bodemdepositie gegeven voor het gewas consumptie-aardappel. Het poottijdstip voor de aardappel is in week-in-jaar 15. Vóór deze periode is de bodemdepositie 100%. De oogstdatum voor de aardappel valt in week-in-jaar 41. Ook na deze periode is de bodemdepositie op 100% gesteld. In de literatuurstudie van het IMAG werden vier gewasstadia onderscheiden: planten raken elkaar in de rij (week-in-jaar 25), gesloten gewas waarbij de rijen nog zichtbaar zijn (week-in-jaar 29), gesloten staand gewas (week-in-jaar 31), gesloten ingezakt gewas (week-in-jaar 37). De overige gegevens zijn door intra- en extrapolatie toegevoegd (Van de Zande, 1999, pers. med.).

De bodemdepositie is niet alleen afhankelijk van het gewasstadium, maar ook van de toepassingstechniek. Bij de techniek strijken komt er geen middel op de grond terecht en is de bodemdepositie 0%. Bij de technieken granulaatstrooier, fruitteelt-onkruidspuit en kas-druppelaar is de bodem het doelloppervlak en is de bodemdepositie 100%. Bij de techniek landbouwspruit met luchtondersteuning is de bodemdepositie ongeveer een factor 1,3 hoger dan bij de conventionele landbouwspruit, maar deze factor kan gewasafhankelijk ook kleiner zijn dan 1. In de ISBEST-tabel depositie is voor de landbouwspruit met luchtondersteuning dan ook een aparte kolom opgenomen (tabel 3).

Het verbruik van een gegeven werkzame stof is middels de ISBEST-parameters vastgelegd per gewas-plaag combinatie in 2-wekelijkse perioden. Ook de bodemdepositie is per gewas vastgelegd in 2-wekelijkse perioden. Combinatie van het verbruik en de bodemdepositie geeft de initiële of bruto bodembelasting van een gegeven werkzame stof voor een 2-wekelijkse periode. Hierin is nog geen rekening gehouden met eventuele verliezen als gevolg van omzetting of vervluchtiging.

$$BDF_{bruto}(i, j) = BD(i, j) \cdot VBF(i, j) \quad [3]$$

waarin:

- $BDF_{bruto}(i, j)$ = bruto bodemdepositiefactor voor techniek j voor gewas in twee-weekelijkse periode i ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
- $BD(i, j)$ = bodemdepositiefraction voor techniek j voor gewas in twee-weekelijkse periode i (-)

Tabel 3 Depositie van bestrijdingsmiddel op de bodem bij een bespuiting van consumptieaardappel zonder luchtondersteuning (conventioneel) en bij een bespuiting met luchtondersteuning. Bij 100% depositie komt de gehele dosering op de bodem terecht.

Weeknummer	Bodemdepositie (% van dosering)	
	zonder luchtondersteuning	met luchtondersteuning
1 – 13	100	100
15 (pootdatum)	100	100
17	95	98
19	90	95
21	70	77
23	50	55
25	39	50
27	39	50
29	17	21
31	7	10
33	7	10
35	7	10
37	23	27
39	23	27
41 (oogstdatum)	100	100
43 – 51	100	100

3.2 Depositie op het gewas

Bij gewasbehandelingen door spuiten zal een deel van de spuitvloeistof het gewas niet bereiken. Een deel van de spuitvloeistof kan verwaaien (drift, paragraaf 2.3.1), een ander deel kan op de bodem terechtkomen (bodemdepositie, paragraaf 3.1) of vervluchtigen (zie hoofdstuk 4). Het deel van de dosering dat tijdens toepassing wel op het gewas terechtkomt wordt gewasdepositie genoemd.

Vanaf versie 3 is de gewasdepositie in ISBEST verwerkt. Om voldoende gegevens te verzamelen zijn hiervoor diverse bronnen geraadpleegd (Smidt et al., 2000.). Voor het schatten van de gewasdepositie is veel gebruikt gemaakt van een literatuurstudie van het IMAG (Van de Zande et al., 2000a). Uit dit onderzoek bleek dat er in de binnen- en buitenlandse literatuur van 11 gewassen uit slechts 5 gewasgroepen kwantitatieve informatie beschikbaar is over de gewasdepositie. De gegevens zijn alle afkomstig uit depositiemetingen direct op het blad of op collectoren. Omdat het bladoppervlak veel groter kan zijn dan het (grond)oppervlak waarop het gewas wordt geteeld, zijn de depositiewaarden via de LAI omgerekend naar equivalente percentages van de dosering per ha.

De gegevens over de gewasdeposities zijn vaak afkomstig uit één of enkele gewasstadia. Daarom zijn deze gegevens geëxtrapoleerd naar andere gewasstadia (Van de Zande, 1997, pers. med.). Daarnaast zijn de gegevens zoveel mogelijk benut voor gewassen met een soortgelijk bladerdek en gewasgrootte (tabel 4). Een voorbeeld van het verloop van de gewasdepositie in de tijd staat in tabel 5.

In de literatuurstudie van het IMAG zijn de depositiegegevens afkomstig uit diverse bronnen. Vaak zijn de vermelde gegevens over de bodemdepositie en de gewas-

depositie van een bepaald gewas niet afkomstig uit hetzelfde onderzoek. De som van de bodem- en de gewasdepositie bedraagt daarom soms meer dan 100% van de dosering. Eind 1999 zijn daarom deze depositiegegevens in ISBEST bijgesteld naar een som-depositie van maximaal 100%. Tevens zijn de gewasstadia en extrapolaties naar andere gewassen geactualiseerd en bijgesteld naar de laatste inzichten (Van de Zande, 1999, pers. med.).

Tabel 4 Extrapolatie van literatuurgegevens gewasdepositie naar gewassen in ISBEST

Literatuurgewas	ISBEST-gewas:
aardappel ¹	consumptie-, poot- en fabrieksaardappelen bos- en haagplantsoen rozenstruiken
appel ¹	appels en peren (oude aanplant) vruchtbomen, appels en peren (nieuwe aanplant)
bieten ¹	suikerbieten, voederbieten
chrysant ²	chrysant, anjers, freesia's en rozen
laanbomen ¹	laan- en parkbomen (gewogen gemiddelde) sierconiferen (spillen)
granen ¹	haver, (winter)rogge, triticale, winter- en zomergerst, winter- en zomertarwe graszaad en tijdelijk grasland (extrapolatie van wintertarwe)
lelie ¹	lelie, gladiolen
spirea's ³	vaste planten
spruiten ¹	spruitkool
tomaat ⁴	tomaat, paprika en komkommer
tulp ¹	tulpen, hyacinten, irissen, narcissen
uien ¹	poot- en plantuien, schorseneren, zaaiuien, zilveruitjes

⁽¹⁾ naar: V.d.Zande et al., 2000a.

⁽²⁾ naar: Tak, 1995.

⁽³⁾ naar: Van Kammen et al. 1998

⁽⁴⁾ naar: Bor et al., 1994.

Door middel van de extrapolaties uit de literatuurstudie van het IMAG zijn de literatuurgegevens over de gewasdepositie uitgebreid naar een groter aantal gewassen. Voor het overige deel van de gewassen is de gewasdepositie complementair gesteld aan de bodemdepositie. Net als de bodemdepositie (par. 3.1) is ook de (bruto) gewasdepositie van een werkzame stof afhankelijk van het verbruik per tijdstip:

$$GDF_{bruto}(i, j) = GD(i, j) \cdot VBF(i, j) \quad [4]$$

waarin:

$GDF_{\text{bruto}}(i,j)$ = gewasdepositiefactor voor techniek j voor gewas in twee-wekelijks periode i (kg.ha⁻¹)

$GD(i,j)$ = gewasdepositiefactie voor techniek j voor gewas in twee-wekelijks periode i (-)

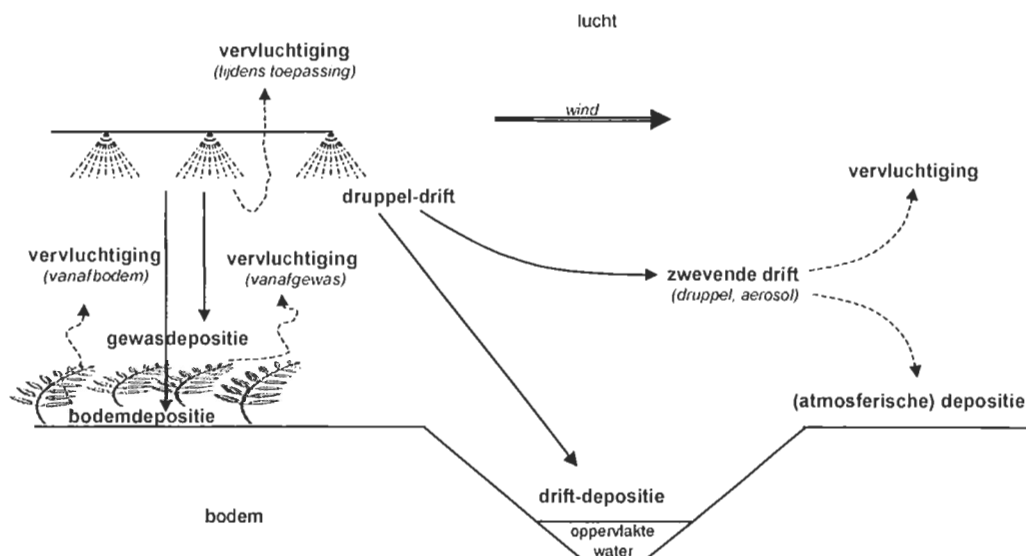
Tabel 5 Depositie van bestrijdingsmiddel op het gewas bij een bespuiting van consumptieaardappel zonder luchtondersteuning (conventioneel) en bij een bespuiting met luchtondersteuning. Bij 100% depositie komt de gehele dosering op het gewas terecht.

Weeknummer	Bodemdepositie (% van dosering)	
	zonder luchtondersteuning	met luchtondersteuning
1 – 13	0	0
15 (pootdatum)	0	0
17	5	2
19	10	5
21	30	23
23	40	30
25	46	40
27	46	40
29	60	60
31	68	72
33	68	72
35	68	72
37	56	46
39	56	46
41 (oogstdatum)	0	0
43 – 51	0	0

Bij de bepaling van de belasting van het doeloppervlak met bestrijdingsmiddel is geen rekening gehouden met de mogelijkheid van afspoeling van het blad onder invloed van regenval. Afhankelijk van de middeleigenschappen, de gewaseigenschappen, de weersomstandigheden en het tijdstip van toepassing kan een aanzienlijk deel van de dosering van de plant afspoelen. Deze afspoeling resulteert dan wel in een grotere belasting van het bodemoppervlak met bestrijdingsmiddel.

4 Emissie naar de lucht

Verspreiding via de lucht is één van de belangrijkste routes waarlangs bestrijdingsmiddelen in het milieu terechtkomen. De processen die van belang kunnen zijn voor de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht zijn weergegeven in figuur 2. In de open teelten is verwaaiing van de spuitvloeistof tijdens toepassing de voornaamste factor in het ontstaan van druppeldrift. De grootste fractie van deze druppels komt echter binnen afzienbare afstand tot depositie, een deel echter blijft zweven in de lucht en kan door de langere verblijftijd in de lucht aanleiding geven tot vervluchtiging. Na toepassing kan een deel van de dosering weer vervluchtigen vanaf bodem of gewas. In dit hoofdstuk wordt besproken van welke onderliggende procesfactoren de vervluchtiging na toepassing het meest afhankelijk is en hoe dit in een instrumentarium is verwerkt. Van de vervluchtiging tijdens toediening zijn te weinig gegevens en processen bekend om te beschrijven in een instrumentarium, daarom wordt hier slechts volstaan met een korte beschrijving.



Figuur 2 Stof- en emissiestromen tijdens en na toepassing

4.1 Emissie tijdens toepassing

Tot op heden wordt voor de Nederlandse situatie steeds bij de weergave van de drift de depositie op de bodem of op het oppervlaktewater gegeven op korte afstand naast het bespoten perceel. Deze drift wordt weergegeven als een depositiepercentage van de verspoten dosering op een bepaalde afstand. Er zweven dan ook nog druppels en druppelresiduen (de restdeeltjes nadat het oplosmiddel verdampt is) in de lucht, wat aangeduid kan worden met de term 'zwevende drift'. De zwevende druppeltjes of deeltjes kunnen op grotere afstand tot depositie komen of geheel verdampen,

voordat ze tot depositie komen. Over deze route is weinig bekend (van den Berg et al., 1999). Enerzijds is zwevende drift meettechnisch moeilijk te onderscheiden van vervluchtiging vanaf gewas en bodem gedurende de toepassing, anderzijds werd aangenomen dat het belang van de emissieroute 'vervluchtiging' in volume vermoedelijk veel groter zou zijn dan de emissieroute 'zwevende drift' (Hartley en Graham-Bryce, 1980; Elliott en Wilson, 1983). Hierdoor is er relatief weinig aandacht aan besteed.

Naar verwachting zullen een groot aantal factoren van invloed zijn op de emissieroute van zwevende drift. Hierbij valt te denken aan het druppelspectrum van de spuitdop, de formulering van het spuitmiddel en de weersomstandigheden tijdens de bespuiting. Deze route zou in principe met driftreducerende maatregelen (zoals gebruik van grove doppen, luchtondersteuning, of geschikte additieven) verminderd kunnen worden.

Druppels verdampen tijdens de vlucht vanuit de spuitdop tot de depositie op gewas, water of bodem of in geval van zwevende drift tijdens het verblijf in de lucht. Algemeen wordt aangenomen dat tijdens deze vlucht eerst het water verdampt en pas daarna de formuleringsingrediënten (Hartley en Graham-Bryce, 1980; Elliott en Wilson, 1983). Dit wordt wel aangeduid als het 'solid core' model. Schattingen met het driftmodel IDEFICS (IMAG program for Drift Evaluation from Field sprayers by Computer Simulation, zie onder) wijzen erop dat globaal 3% van de totaal verspoten vloeistof tijdens de toediening zal verdampen (onder gemiddelde weersomstandigheden en bij gebruik van een conventionele veldspuit uitgerust met standaard spuitdoppen) (Holterman, 2000). Een voorbeeld: tijdens een bespuiting van een veld van 1 ha met een dosering van 400 l./ha zal dus gemiddeld 12 liter spuitvloeistof als zwevende drift verloren gaan. Voor andere omstandigheden en toepassingen is de fractie zwevende drift onbekend. Met name in de fruitteelt en boomteelt is naar verwachting het aandeel zwevende drift veel hoger, door een andere spuittechniek (horizontaal of zelf naar boven spuitend).

De afgelopen jaren is het driftmodel IDEFICS voor conventionele veldspuiten ontwikkeld (Holterman et al., 1997). Het model IDEFICS beschrijft de banen die druppels door de lucht volgen vanaf de spuitdop tot aan hun depositie. In het model wordt rekening gehouden met verdamping van druppels tijdens hun vlucht. Verdamping is gebaseerd op het 'solid-core' model (Elliott en Wilson, 1983). Water kan daarbij verdampen alsof het een druppel van puur water betreft, totdat een watervrij deeltje van vaste bestanddelen overblijft. Het restdeeltje is dusdanig klein, dat de kans op depositie binnen de tijdschaal van IDEFICS vrijwel uitgesloten is. In IDEFICS wordt daarom het restdeeltje voor depositie als 'verloren' beschouwd, maar wordt overigens wel in de massabalans meegenomen. Uit oogpunt van deze aanname viel verdamping van het restdeeltje buiten de scope van het driftmodel. Het gebruikte mathematische model voor de verdamping van een waterdruppel is afgeleid van een beschrijving van Williamson en Threadgill (1974), dat gebaseerd is op het thermodynamisch evenwicht van een ronde, verdampende druppel in een luchtstroom.

Om de zwevende drift ook verder windafwaarts te beschrijven, is een uitbreiding van het model naar verspreiding, verdamping, en depositie van restdeeltjes van belang. Verder onderzoek op dit gebied is nodig. Daarbij moet gedacht worden aan enerzijds modelstudies, anderzijds experimenteel onderzoek in een geconditioneerde ruimte. Met betrekking tot andere spuittechnieken of toepassingsgebieden (bijvoorbeeld fruitteelt) is nog weinig bekend, maar kan zwevende drift wel degelijk een belangrijke factor zijn.

4.2 Vervluchtiging vanaf het bodemoppervlak

4.2.1 Achtergrond

Na bespuiting van het bestrijdingsmiddel op de onbegroeide grond zal afhankelijk van eigenschappen van het middel, weersomstandigheden en bodemeigenschappen een deel van de dosering vervluchtigen. Voor metingen van deze emissies naar de lucht zijn verschillende methoden beschikbaar op zowel veld- als laboratoriumschaal. Elke methode heeft voor- en nadelen, is in het algemeen gevoelig voor weer-variabelen (en de vastlegging hiervan) en heeft een relatief grote onzekerheid (Majewski, 1999). Uit proefnemingen op veldschaal blijkt dat afhankelijk van het middel tot zo'n 50% van de dosering kan vervluchtigen bij oppervlaktebespuitingen (Majewski et al., 1993; van den Berg et al., 1999). Daar staat tegenover dat met name zeer vluchtige middelen, zoals bijvoorbeeld tri-allaat en EPTC, veelal zullen worden ingewerkt in de bodem. Deze bewerking reduceert de vervluchtiging in sterke mate.

Omdat het ondoenlijk is om deze emissieroute d.m.v. metingen volledig in kaart te brengen voor de ca. 250 in Nederland toegelaten bestrijdingsmiddelen, is in 1997 besloten om alle relevante beschikbare literatuur te inventariseren. Doel was om tot een methodiek te komen die op eenvoudige wijze eigenschappen van het toegepaste middel en weers- en bodemomstandigheden in het veld zou kunnen koppelen aan de totale cumulatieve vervluchtiging. Het resultaat van deze studie is weergegeven in een aantal eenvoudige regressievergelijkingen (Smit et al., 1997). Dit hoofdstuk geeft in het kort de belangrijkste processen weer die een rol spelen bij het vervluchtigingsproces alsook een korte beschrijving van de afgeleide methodiek.

4.2.2 Belangrijkste processen

De fysisch-chemische eigenschappen van het bestrijdingsmiddel spelen een belangrijke rol in het vervluchtigingsproces. Hierbij gaat het met name om de dampdruk, de oplosbaarheid in water en de sorptiecoëfficiënt. De dampdruk geeft een maat voor de vluchtigheid van het middel. De oplosbaarheid en sorptiecoëfficiënt bepalen hoeveel middel (maximaal) vastgelegd kan worden in de oplossing en aan organisch materiaal en/of minerale bodemdeeltjes.

Het bestrijdingsmiddel zal zich na bespuiting in de toplaag van de bodem verdelen over een gasfractie, vochtfractie en een fractie gesorbeerd aan vaste bodemdeeltjes. Deze verdeling is afhankelijk van de genoemde fysisch-chemische eigenschappen,

bodemeigenschappen en toestandsvariabelen in de bodem. Variatie in de toestandsvariabelen, zoals temperatuur of bodemvocht t.g.v. neerslag of infiltratie, kan weer tot een andere verdeling leiden. Convectief of diffusief transport naar diepere bodemlagen zorgen voor een afname van de aanwezige massa bestrijdingsmiddel in de top laag. Hetzelfde geldt voor verliestermen zoals vervluchtiging en omzetting. De vervluchtiging zal weer samenhangen met meteorologische omstandigheden, zoals straling, windsnelheid, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en regenval. De omzetting is eveneens afhankelijk van (micro-) meteorologische variabelen, zoals temperatuur en UV-straling, maar ook van de aanwezige biomassa in de bodem.

4.2.3 Bepalingsmethodiek voor de vervluchtiging vanaf het bodemoppervlak

Uitgangspunt voor het schatten van de cumulatieve vervluchtiging is dat er een relatie is tussen de aanwezige fractie van het bestrijdingsmiddel in de gasfase en de cumulatieve vervluchtiging (CV) hiervan over de tijd. Verder is gesteld dat gedurende de beschouwde periode het netto transport van bestrijdingsmiddelen naar of vanuit de top laag geen invloed zullen hebben op de verdeling van het middel over de gas-, vloeistof- en vaste fasen. Om verstorende invloeden te vermijden is bij het inventariseren van de literatuurgegevens uitgegaan van de volgende condities:

- bespuitingen van uitsluitend kale gronden zonder plantresten;
- alleen oppervlaktebespuitingen (dus geen ingewerkte toepassingen);
- geen gebruik van granulaire formuleringen.

Volgens van den Berg (1992) kan de fractie in de gasfase als volgt worden beschreven:

$$FP_{\text{gas}} = \epsilon_{\text{gas}} / Q \quad [5]$$

met $Q = \epsilon_{\text{gas}} + \epsilon_{\text{liquid}} K_{l/g} + \rho_{\text{soil}} K_{l/g} K_{s/l}$ als dimensieloze capaciteitsfactor

en

ϵ_{gas}	= volumetrische gasfractie	((m ³ gas) (m ⁻³ grond))
ϵ_{liquid}	= volumetrische vochtfractie	((m ³ vloeistof) (m ⁻³ grond))
ρ_{soil}	= droge bulkdichtheid	(kg m ⁻³)
$K_{l/g}$	= vloeistof-gas verdelingscoëfficiënt	((kg m ⁻³ vloeistof) (kg m ⁻³ gas))
$K_{s/l}$	= vaste stof-vloeistof verdelingscoëfficiënt	((kg m ⁻³ vaste stof) (kg m ⁻³ vloeistof))

Bij evenwicht kan de verdelingscoëfficiënt $K_{l/g}$ worden afgeleid uit de concentratie van het bestrijdingsmiddel in de vloeistoffase gedeeld door de concentratie in de gasfase. M.b.v. de verzadigde dampdruk, oplosbaarheid in water van het bestrijdingsmiddel en de ideale gaswet volgt $K_{l/g}$. Voor de verdelingscoëfficiënt $K_{s/l}$ kan het product van de sorptiecoëfficiënt K_{om} en het gehalte aan organische stof in de bodem worden genomen.

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de cumulatieve vervluchtiging en de fractie in de gasfase is allereerst een standaardisatie naar de tijd en temperatuur nodig. Uit de verzamelde data bleek dat na een termijn van ca. 21 dagen na toepassing veelal geen substantiële vervluchtiging meer plaatsvond van de meeste middelen. Deze termijn is vervolgens gebruikt voor inter- of extrapolatie van de literatuurgegevens op basis van een (enkel- of dubbellogaritmisch) regressiemodel. Tenslotte was het ook noodzakelijk om, voor een correcte schatting van de gasfractie, temperatuurscorrecties aan te brengen voor zowel dampdruk als oplosbaarheid in water m.b.v. de Clausius-Clapeyron vergelijking (Klotz en Rosenberg, 1974). Het uiteindelijke resultaat is een regressievergelijking voor normale tot vochtige veldcondities volgens ($n=22$, $r^2=0,76$):

$$CV = 71,9 + 11,6 \log [100 FP_{\text{gas}}] \quad [6]$$

waarin:

CV = cumulatieve vervluchtiging in % van de dosering op de bodem

FP_{gas} = fractie van het bestrijdingsmiddel in de gasfase ($6,33 \cdot 10^{-9} < FP_{\text{gas}} < 1$)

Hoewel een soortgelijke vergelijking ook afgeleid kan worden voor ‘droge’ veldcondities, lijkt vergelijking [6] het meest relevant voor Nederlandse spuittoepassingen in het voor- en najaar. Onder ‘droge’ veldcondities wordt een volledig uitgedroogde toplaag verstaan, waarbij volgens Glotfelty en Schomburg (1989) stoffen met een tweemaal hogere capaciteit kunnen adsorberen aan minerale oppervlakten.

M.b.v. vergelijkingen [5] en [6] is het mogelijk om een schatting te maken van de cumulatieve vervluchtiging voor elk bestrijdingsmiddel voor een periode van 21 dagen. Wordt gebruik gemaakt van de onderliggende regressievergelijkingen voor extra- of interpolatie van experimentele data naar deze periode, dan is het mogelijk om een willekeurige termijn te kiezen. De volgende gegevens zijn nodig voor de toplaag (met een dikte in de orde van enkele millimeters) om een schatting te kunnen maken:

- (droge) volumieke massa (kg m^{-3});
- organisch stofgehalte (kg kg^{-1});
- volumetrisch vochtgehalte ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);
- temperatuur ($^{\circ}\text{C}$).

Omdat de bodemtemperatuur vaak onbekend is, kan hiervoor ook de luchttemperatuur (op standaardhoogte) worden genomen. Verder moeten de reeds genoemde fysisch-chemische eigenschappen van het middel bekend zijn tezamen met de temperaturen waarop deze waarden betrekking hebben.

4.2.4 Vervluchtiging vanaf het bodemoppervlak in ISBEST

Uitspoelingsberekeningen in PEGASUS gaan uit van de netto-bodemdepositie, dat is de bruto-bodemdepositie gecorrigeerd voor verliezen door vervluchtiging. Voor een juiste aansluiting van de gegevens uit ISBEST met die in PEGASUS worden daarom

dezelfde scenario's voor vervluchtiging als voor uitspoeling gehanteerd. De gebruikte variabelen en bodemfysische parameters voor de scenarioberekeningen voor de vervluchtiging zijn opgenomen in tabel 6 en zijn afkomstig uit het Nederlands standaardscenario voor uitspoeling (Boesten en Van der Linden, 1991).

Tabel 6 Bodemfysische parameters gebruikt in de scenarioberekeningen voor de vervluchtiging van de bodem

Parameter	Voorjaar	Najaar
bodemtemperatuur (°C)	17,6	5,6
bodem vochtgehalte (%)	18,4	22,2
organische stofgehalte (%)	4,7	4,7
droge bulkdichtheid (kg m ⁻³)	1310	1310

De vervluchtiging vanaf de bodem wordt berekend door vermenigvuldiging van de bodemdepositiefactor (vergelijking [3]) van een gegeven werkzame stof en het cumulatieve vervluchtigingspercentage. Voor de week-in-jaar nummers 9 tot en met 36 worden de cumulatieve vervluchtigingspercentages van het voorjaar gebruikt. Voor de overige week-in-jaar nummers wordt het najaarsscenario gebruikt. De cumulatieve vervluchtiging vanaf de bodem in een twee-wekelijkse periode wordt per werkzame stof-gewascombinatie berekend met vergelijking [7]:

$$CV_b(i,j) = CVF_{b,s} \cdot BDF_{bruto}(i,j) \quad [7]$$

waarin:

- $CV_b(i,j)$ = cumulatieve vervluchtiging van werkzame stof vanaf de bodem voor techniek j voor gewas in twee-wekelijkse periode i (kg.ha-1)
- $CVF_{b,s}$ = cumulatieve vervluchtiging vanaf de bodem van werkzame stof in seizoen s uitgedrukt als fractie van dosering (-)

Vergelijking [7] is uitsluitend geldig voor de open teelten; voor de gesloten teelten is in paragraaf 4.4 een aparte rekenwijze opgesteld.

4.3 Vervluchtiging vanaf het gewasoppervlak

4.3.1 Inleiding

Bij gewasbespuitingen is de plant het doelobject. Naast de gewasdepositie zal in veel gevallen een deel van de spuitvloeistof op de bodem terechtkomen. Voor de bijdrage van de vervluchtiging vanaf het bladoppervlak aan de totale vervluchtiging is een andere schattingsmethode nodig dan die gebruikt is bij de vervluchtiging vanaf de bodem.

Door Smit et al. (1998) is geïnventariseerd welke studies beschikbaar zijn waarin de vervluchtiging vanaf gewas worden gemeten. Dit aantal bleek beperkt te zijn tot 14, met daarin opgenomen 13 verschillende bestrijdingsmiddelen en 14 verschillende gewassen. In analogie naar hetgeen gesteld in paragraaf 4.2.1 geldt dat ook voor de vervluchtiging vanaf het gewas elke meetmethode gevoelig is voor weervariabelen en

een relatief grote onzekerheid heeft. Uit veldstudies blijkt verder dat afhankelijk van het gebruikte middel en afhankelijk van het gewas de cumulatieve vervluchtiging kan oplopen tot 100% van de dosering. Haenel and Siebers (1995) laten zien dat voor een lindaan bespuiting op suikerbiet de volledige dosering na 1 dag is vervluchtigd.

Evenals voor de emissie vanaf het bodemoppervlak is een schattingsmethodiek afgeleid, waarin de eigenschappen van het toegepaste middel zijn gekoppeld aan de cumulatieve vervluchtiging (Smit et al., 1998). Dit hoofdstuk gaat in op de processen die hierbij een rol spelen en geeft een beknopte beschrijving van de ontwikkelde methodiek.

4.3.2 Belangrijkste processen

In de literatuur wordt de dampdruk van het bestrijdingsmiddel aangemerkt als de belangrijkste factor achter de vervluchtiging vanaf het bladoppervlak. De hoeveelheid middel beschikbaar voor vervluchtiging zal echter ook afhangen van dat deel van de dosering dat is vastgelegd door sorptie aan de waslaag van het blad. De mate van sorptie is mede afhankelijk van het bestrijdingsmiddel, waarbij de octanol-water scheidingscoëfficiënt de bepalende factor is (Briggs and Bromilow, 1994). In dezelfde studie wordt ook gesteld dat penetratie in de waslaag en de epidermis van het blad gering zal zijn zonder speciale toevoegingen aan de formulering.

De vervluchtiging zal samenhangen met meteorologische omstandigheden, zoals straling, windsnelheid, luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, en regenval, maar ook met gewasstype en gewasstadium (van den Berg et al., 1999). De toegepaste formulering kan een rol spelen bij gebruik van uitvloeijs, waardoor een groter deel van het bestrijdingsmiddel contact heeft met zowel het bladoppervlak als de atmosfeer. Andere processen die zorgen voor een afname van de massa bestrijdingsmiddel op het plantenblad zijn hydrolyse en fototransformatie. Tenslotte kan (intensieve) regenval ertoe leiden dat een deel van het middel door afspoeling op de bodem terecht komt.

4.3.3 Bepalingsmethodiek voor de vervluchtiging vanaf het gewasoppervlak

In de literatuurstudie (Smit et al., 1998) zijn een aantal mogelijke relaties nagetrokken tussen de cumulatieve vervluchtiging, (verzadigde) dampdruk (P), octanol-water verdelingscoëfficiënt (K_{ow}), Henry-coëfficiënt (K_H), dampdruk gedeeld door de octanol-water verdelingscoëfficiënt en Henry-coëfficiënt gedeeld door de octanol-water verdelingscoëfficiënt. De beste correlatie, waarbij alle gewassen tezamen zijn genomen, wordt verkregen met een dubbellogaritmische vergelijking ($n=19$ en $r^2=0,61$):

$$\log CV = 1,661 + 0,316 \log P \quad (8)$$

waarin:

CV = cumulatieve vervluchtiging in % van de bruto gewasdepositie

P = verzadigde dampdruk van de werkzame stof in mPa ($P \leq 11,8$ mPa)

Voor waarden van P hoger dan 11,8 mPa wordt de cumulatieve vervluchtiging op 100% van de dosering gesteld. Deze vergelijking is gebaseerd op veldmetingen en metingen in verdampingskamers. Verder liggen er de volgende aannamen en bewerkingen aan ten grondslag:

- Resultaten van laboratoriumexperimenten zijn niet meegenomen vanwege de sterk afwijkende omgevingsvariabelen (straling, wind, toepassingstechniek, etc.);
- Resultaten voor experimenten met alleen residuemetingen (indirecte methode) zijn buiten beschouwing gelaten, omdat andere transformatieprocessen de metingen sterk kunnen beïnvloeden;
- Metingen aan bestrijdingsmiddelen met niet goed gedocumenteerde fysisch-chemische eigenschappen zijn niet meegenomen (bv. toxaphen);
- Gebruikte dampdruk uit de handboeken is gecorrigeerd voor omgevings-temperatuur;
- Alle literatuurgegevens zijn per experiment middels interpolatie of extrapolatie genormaliseerd naar een termijn van 7 dagen m.b.v. een enkel- of dubbel-logaritmisch regressiemodel. De cumulatieve vervluchtigingsgegevens over deze periode zijn vervolgens gebruikt voor het afleiden van vergelijking [8];
- Waar gegevens voorhanden waren t.a.v. de bodemdepositie, gewasbedekkingsgraad en spuittechniek zijn correcties aangebracht op de gemeten vervluchtiging voor een bijdrage vanaf het bodemoppervlak. Hiervoor is de benadering gebruikt zoals aangegeven in paragraaf 4.2.3.

M.b.v. vergelijking [8] is een schatting te maken van de cumulatieve vervluchtiging vanaf het bladoppervlak voor elk bestrijdingsmiddel gedurende een periode van 7 dagen. Bij gebruikmaking van het onderliggende regressiemodel voor extra- of interpolatie van de literatuurgegevens naar deze termijn, is het ook mogelijk om deze periode willekeurig te kiezen. Dit levert uiteraard een andere regressievergelijking op dan [8].

4.3.4 Vervluchtiging vanaf het gewasoppervlak in ISBEST

De gegevens over de vervluchtiging vanaf gewas is op soortgelijke wijze in ISBEST verwerkt als bij de vervluchtiging vanaf bodem. Slechts de onderliggende rekenwijze wijkt af. De vervluchtiging vanaf gewas (vergelijking 8) wordt benaderd via de dampdruk van de actieve stof. Per werkzame stof is alleen de temperatuur nog bepalend voor de dampdruk. Net als bij de berekening van de vervluchtiging vanaf de bodem zijn daarom een voorjaars- en een najaarsscenario doorgerekend voor opname van de cumulatieve vervluchtigingspercentages vanaf gewas in het instrumentarium. De periode waarover de vervluchtiging wordt berekend bedraagt 7 dagen. In het voorjaarsscenario worden de berekeningen uitgevoerd voor een temperatuur van 17,8 °C en in het najaarsscenario voor een temperatuur van 7,0 °C.

De cumulatieve vervluchtiging vanaf gewas wordt per werkzame stof-gewascombinatie en per scenario berekend met formule [9]:

$$CV_g(i, j) = CVF_{g,s} \cdot GDF_{bruto}(i, j) \quad [9]$$

waarin:

- $CV_g(i, j)$ = cumulatieve vervluchtiging vanaf het gewas van werkzame stof voor techniek j voor gewas in twee-wekelijks periode i ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
- $CVF_{g,s}$ = cumulatieve vervluchtiging vanaf gewas van werkzame stof in seizoen s, uitgedrukt als fractie van dosering (-)

4.4 Emissie naar de lucht vanuit kassen

4.4.1 Achtergrond

Voor de bedekte teelten speelt alleen vervluchtiging vanaf oppervlakken tijdens en na toediening een rol in de emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar de lucht. In de MJP-G emissie-evaluatie 1995 (Commissie van deskundigen Emissie-evaluatie MJP-G, 1996a,b), waarbij ook ISBEST is ingezet, wordt nog onderscheid gemaakt tussen het vervluchtigen van grondontsmettingsmiddelen en van niet-grondontsmettingsmiddelen. Sinds de laatste emissie-evaluatie zijn de gegevens in ISBEST over de grondontsmettingsmiddelen, beschreven in de RGO, geactualiseerd. Daarbij is gebleken dat in de RGO-1997 er geen toelatingen meer zijn voor grondontsmettingsmiddelen in kassen.

4.4.2 Belangrijkste processen voor de emissie naar de lucht vanuit kassen

Binnen de glastuinbouw worden bestrijdingsmiddelen op velerlei andere wijzen dan spuiten toegediend (Werkgroep Beperking Emissie, 1990). Onderscheid wordt gemaakt tussen hoogvolume- en laagvolume-technieken. Onder de laagvolume-technieken vallen de ruimtebehandelingen in de vorm van roken, stuiven of nevelen. De middelen worden hierbij zodanig fijn verdeeld in de kas gebracht dat er lange tijd na toediening nog neveldruppeltjes of rookdeeltjes in de kas blijven zweven en niet meer tot afzetting op het gewas of andere kasoppervlakken komen. Voordat een tuinder na toepassing de kas betreedt zal hij deze moeten ventileren. Een groot deel van de zwevende druppels, deeltjes en damp zullen dan de kas verlaten. Overigens wisselt ook een kas met gesloten ramen en deuren lucht uit met zijn omgeving.

Vanwege het beperkt aantal gegevens over de luchtemissie vanuit kassen is een methodiek gebruikt die analoog is aan de methodiek die opgesteld is bij de Emissie-evaluatie MJP-G 1995 (Commissie van Deskundigen Emissie-evaluatie MJP-G, 1996a,b). Deze methodiek is ook gebruikt voor de schatting van de emissie van bestrijdingsmiddelen uit de glastuinbouw (Liefstijn et al., 2000). De emissiepercentages zijn gebaseerd op metingen van de concentratie van bestrijdingsmiddel in de kaslucht na toepassing met verschillende technieken en metingen van het

ventilatievoud van de kas (Baas en Huygen, 1992). Verder wordt aangenomen dat 1/3 van de toepassingen met laagvolume-technieken plaatsvindt en dat bij de overige toepassingen gebruik wordt gemaakt van hoogvolume-technieken. Het gemiddelde emissie-percentages is voor 5 dampdruk klassen uitgerekend en zijn vermeld in tabel 7.

Tabel 7: Emissie van gewasbeschermingsmiddelen vanuit kassen naar de lucht als functie van de dampdruk van de actieve stof (Commissie van Deskundigen Emissie-evaluatie MJP-G, 1996b)

Dampdruk (mPa)	Emissie (fractie van dosering)
10	0,40
1 - 10	0,32
0,1 - 1	0,15
0,01 - 0,1	0,08
< 0,01	0,02

4.4.3 Emissie naar lucht vanuit kassen in ISBEST

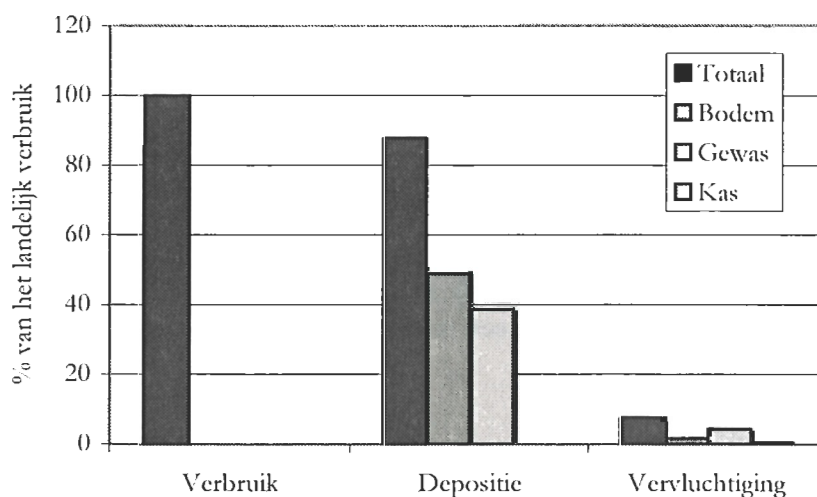
In de vorige paragraaf staat vermeld dat de berekening van de emissiepercentages voor bestrijdingsmiddelen vanuit de kas naar de buitenlucht verloopt via vijf dampdrukclassen. De dampdruk van een stof is een experimenteel bepaalde waarde. Vermeldingen van de dampdruk kunnen daarom variëren, afhankelijk van de gebruikte informatiebron. Om de aanpassingen in het emissiepercentage ten gevolge van een wijziging in de dampdruk van een werkzame stof in ISBEST eenvoudig uit te voeren, zijn de gegevens over de dampdruk van de werkzame stoffen rechtstreeks in het informatiesysteem ondergebracht. De emissiepercentages worden door een rekenprocedure in ISBEST mede op basis van de gegevens in deze dampdruktabel afgeleid.

5 Landsdekkende voorbeeldberekeningen met het nieuwe instrumentarium voor emissies naar de lucht

In dit hoofdstuk worden enkele voorbeelden gepresenteerd van de mogelijkheden die de nieuwe versie van ISBEST biedt m.b.t. de emissies van bestrijdingsmiddelen naar de atmosfeer. In deze versie wordt echter nog geen rekening gehouden met de emissie naar de lucht tijdens toediening en de emissie naar de lucht door winderosie. De voorbeelden vallen uiteen in twee categorieën. Enerzijds is gekeken naar stoffen die een hoge (relatieve) bijdrage aan de totale emissie naar de lucht laten zien na bespuiting van gewas en/of bodem. Anderzijds is een aantal gewassen geselecteerd waarvoor ook een hoge relatieve bijdrage van de emissie naar de lucht is berekend. Alle berekende waarden hebben betrekking op het totale landelijk verbruik aan bestrijdingsmiddelen, exclusief grondontsmettingsmiddelen, op basis van de verbruiksgegevens in ISBEST voor het jaar 1995. De resultaten van de berekeningen dienen als indicatief te worden beschouwd voor de mate waarin emissie naar de lucht optreedt.

5.1 Emissies onderscheiden naar bestrijdingsmiddel

In figuur 3 zijn de verhoudingen weergegeven tussen de totale depositie op bodem en gewas en de vervluchtiging vanaf bodem, gewas en vanuit de kas t.o.v. het totale landelijke verbruik. De vervluchtigingsverliezen zullen sterk per stof verschillen, afhankelijk van fysisch-chemische stoffeigenschappen, en hangen verder nauw samen met de meteorologische omstandigheden gedurende en na toepassing. Voor vervluchtiging vanaf de bodem komen daar de bodemeigenschappen nog bij en voor vervluchtiging vanaf gewas het gewasstadium en de gewaseigenschappen.



Figuur 3 Landelijk verbruik van bestrijdingsmiddelen, bodem- en gewasdepositie, en vervluchtigingsverliezen vanaf bodem, gewas en vanuit de kas voor het jaar 1995

De in figuur 3 weergegeven totale landelijke depositie op bodem en gewas bedraagt ongeveer 88% van het landelijke verbruik. De vervluchtiging vanaf de bodem komt op ca. 2% en vanaf het gewas op ca. 4% van het landelijk verbruik in 1995 (exclusief grondontsmettingsmiddelen). Hier komt nog 0.5% bij voor de emissie vanuit kassen. De berekende totale emissie naar de atmosfeer bedraagt daarmee 6.5% van het landelijk verbruik. Verder blijkt uit deze cijfers dat van de materiaalbalans ongeveer 12% niet kan worden verantwoord (totaalverbruik minus bodem- en gewasdepositie). Hiervoor is een aantal oorzaken aan te wijzen, zoals toepassingsverliezen als gevolg van drift, onbekende of onnauwkeurig bekende depositie op bodem of gewas en achterblijvende spuitrestanten in de tank.

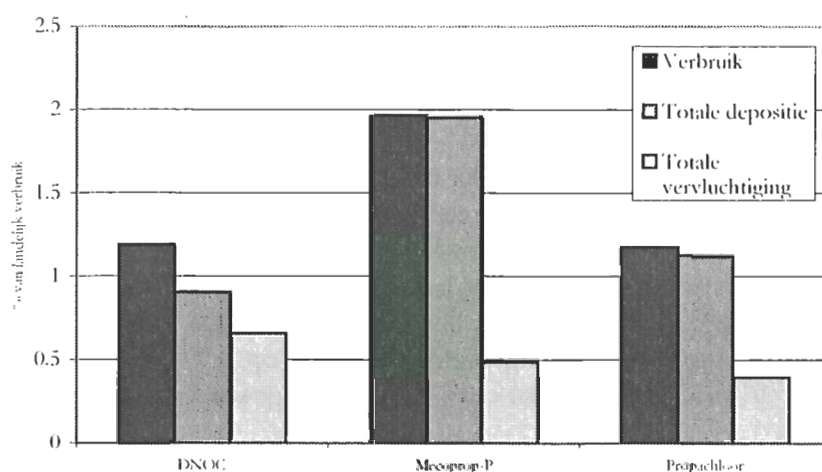
De fungiciden mancozeb en captan waren in 1995 de meest verbruikte bestrijdingsmiddelen en droegen voor ruim 15% bij aan het totale landelijke verbruik. Tabel 8 geeft aan dat een beperkt deel van de captan depositie vervluchtigt, dit i.t.t. mancozeb waarvan de dampdruk vrijwel gelijk is aan nul bij 20 °C (Tomlin, 1994). De berekende hoeveelheid vervluchtigde captan bedraagt echter maar 3% van de totale landelijke emissie naar de lucht.

Tabel 8 Bestrijdingsmiddelen met een hoog verbruik, hun depositie op bodem en gewas en totale emissie naar de lucht vanaf bodem, gewas en vanuit kas (alle waarden in % t.o.v. landelijk verbruik in 1995)

Bestrijdingsmiddel	Verbruik (%)	Totale depositie (%)	Totale vervluchtiging (%)
Captan	5,9	4,5	0,2
Mancozeb	9,5	7,6	0,0
Totaal	15	12	0,2

De 3 bestrijdingsmiddelen die in 1995 het meeste bijdroegen aan de emissie naar de atmosfeer waren DNOC, mecoprop-P en propachloor. Figuur 4 laat zien dat deze stoffen, waarvan het verbruik overeenkwam met ruim 4% van het landelijk verbruik, verantwoordelijk waren voor een emissie gelijk aan ca. 1,5% van het landelijk verbruik. Uitgedrukt t.o.v. de totale emissie komt hun bijdrage op 24%.

DNOC (insecticide, herbicide en fungicide), mecoprop-P en propachlor (herbiciden) worden op gewassen verspoten. Het hogere vervluchtigingspercentage van DNOC t.o.v. de 2 andere stoffen kan worden verklaard uit de relatief hoge vluchtigheid van de eerste stof (zie Tabel 9), hoewel de depositiefractie (depositie gedeeld door verbruik) lager ligt dan voor beide andere stoffen. Daar moet wel de kanttekening bij worden geplaatst dat de genoemde dampdruk betrekking heeft op het neutrale molecuul, terwijl bekend is dat DNOC dissocieert in water ($pK_a=4,48$) en het ion een veel lagere dampdruk heeft. Verder is DNOC relatief gevoelig voor fotolyse met een opgegeven DT_{50} van 253 uur (Tomlin, 1994). Derhalve lijkt het waarschijnlijk dat de berekende vervluchtiging voor deze stof een overschatting is.



Figuur 4 Verbruik, totale depositie en vervluchtiging voor DNOC, mecoprop-P en propachloor voor het jaar 1995

De geringere bijdrage aan de emissie van mecoprop-P is hoofdzakelijk te verklaren uit de veel lagere dampdruk (Tabel 9), hoewel verbruik en depositiefractie hoger zijn dan die van DNOC. Ook mecoprop-P dissocieert in water (pK_a ca. 3,1), zodat de berekende emissie waarschijnlijk een overschatting is. Propachloor daarentegen heeft een dampdruk die aanzienlijk boven die van DNOC ligt bij een eveneens aanzienlijk hogere depositiefractie. Het verschil in emissie is toe te schrijven aan de verdeling van de depositie over bodem en gewas. Bij een DNOC en mecoprop-P toepassing komt gemiddeld over het jaar respectievelijk 68 en 70% op het gewas terecht en 8 en 30% op de bodem. Voor propachloor is dit respectievelijk 18 en 78%. In de regel is, afhankelijk van de fysisch/chemische eigenschappen van een stof, de vervluchtigingscomponent vanaf de bodem veel geringer dan vanaf gewas vanwege adsorptie aan organisch bodemmateriaal.

Tabel 9 Dampdruk, verbruik, totale depositie op bodem en gewas, totale vervluchtiging (vanaf bodem, gewas en vanuit kas) en verhouding tussen vervluchtiging en verbruik voor 3 bestrijdingsmiddelen met de hoogste totale emissie naar de lucht in 1995 (in % t.o.v. landelijk verbruik in 1995)

Bestrijdings- middel	Dampdruk (mPa)	Verbruik (%)	Depositie			Vervluchtiging			Vervluch- ting/ Verbruik (-)
			Totaal (%)	Bodem (%)	Gewas (%)	Totaal (%)	Bodem (%)	Gewas (%)	
DNOC	14 (25) ¹	1,2	0,9	0,1	0,8	0,6	0,0	0,6	0,55
Mecoprop-P	0,4 (25)	2,0	2,0	0,6	1,4	0,5	0,1	0,4	0,25
Propachloor	31 (22,5)	1,2	1,1	0,2	0,9	0,4	0,2	0,2	0,34
Totaal	-	4,4	4,0	1,9	2,1	1,5	0,3	1,2	0,34

¹ Tussen haakjes de referentietemperatuur in °C voor de dampdruk

Een goede maat om de bijdrage van een bestrijdingsmiddel aan de totale emissie naar de atmosfeer te kunnen bepalen is het berekenen van de relatieve emissiefactor die gedefinieerd wordt door de vervluchtiging gedeeld door verbruik (beide op

massabasis, zie Tabel 9). Van de genoemde 3 bestrijdingsmiddelen zijn zowel DNOC als propachloor op dit moment niet meer in Nederland toegelaten.

5.2 Emissies onderscheiden naar gewas

Voor 14 gewassen wordt in de teelt jaarlijks meer dan 100 ton bestrijdingsmiddelen per gewas verbruikt. Tabel 10 geeft een overzicht voor de groep van middelen die verspoten worden op het bodem- of gewasoppervlak. Het totale areaal van de genoemde gewassen komt op 89% van het landelijk gewasareaal. Het totaalverbruik voor deze gewassen bedraagt 85% van het landelijk verbruik. De totale emissie naar de lucht, exclusief de grondontsmettingsmiddelen, komt op 4,9% van het landelijk verbruik en op ca. 75% van de landelijke emissie voor alle gewassen tezamen.

Tabel 10 laat zien dat met name aardappelen (consumptie-, fabrieks- en pootaardappelen) en snijmais een hoog verbruik kennen. De emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht bij pootaardappelen op klei is bijzonder hoog, ook al omdat de totale depositiefraction en vooral het areaal relatief laag zijn. Deze hoge emissie is vooral te verklaren uit de vluchtigheid van een aantal van de toegepaste middelen. ISBEST geeft aan dat met name DNOC en buminafos voor het merendeel hieraan bijdragen, d.w.z. voor ongeveer 80% van de genoemde 0,9% totale emissie. Omdat de depositiefraction relatief laag is (9/11), is het niet ondenkbaar dat een deel van dit verschil (2/11) additioneel naar de lucht wordt gecmitteerd.

Tabel 10 Verbruik, depositie op bodem en gewas, totale emissie naar de lucht en gewasareaal voor teelten met het hoogste bestrijdingsmiddelenverbruik (zonder grondontsmettingsmiddelen) in 1995 (in % van landelijk verbruik)

Teelt	Verbruik (%)	Depositie Totaal (%)	Emissie Totaal (%)	Areaal Totaal (10 ³ ha)
Veldgewassen				
- Consumptieaardappelen (klei)	11	10	0,3	62
- Fabrieksaardappelen	11	10	0,3	61
- Pootaardappelen (klei)	11	9	0,9	32
- Snijmais	10	10	0,5	219
- Suikerbieten	6	6	0,2	116
- Wintertarwe	5	5	0,8	126
- Gras (permanent)	4	3	0,5	1011
- Consumptieaardappelen (zand/veen)	3	3	0,1	18
- Zaaiuien	3	3	0,3	12
- Pootaardappelen (zand/veen)	2	2	0,2	5
Bollenteelt				
- Lelies	6	4	0,1	3
- Tulpen	4	3	0,3	8
Bomen				
- Appel (oude aanplant)	7	5	0,3	15
- Peren (oude aanplant)	2	1	0,1	6
Totaal	85	74	4,9	1694

Hoewel het verbruik bij wintertarwe minder dan de helft is dan bij pootaardappelen op klei, ligt de totale emissie met 0,8% van het landelijk verbruik in dezelfde orde van grootte. Daar staat tegenover dat zowel de depositiefractie (bijna 100%) als het areaal veel hoger zijn. Vooral fenpropimorf, dimethoaat en mecoprop-P dragen in sterke mate bij aan de totale emissie in wintertarwe (voor ca. 65% van de 0,8%).

Tabel 11 Verhouding tussen totale vervluchtiging (vanaf bodem en gewas) en verbruik voor een aantal gewassen

Gewas	Vervluchtiging / Verbruik (%/%)
Wintertarwe	0,15
Gras (permanent)	0,15
Zaaiuien	0,11
Tulpen	0,09
Pootaardappelen (klei)	0,08
Snijmais	0,05
Appel (oude aanplant)	0,04
Suikerbieten	0,03
Consumptieaardappelen (klei)	0,03
Fabrieksaardappelen	0,03

In tabel 11 is voor een aantal gewassen, waarbij de totale emissie naar de lucht het hoogst is, de verhouding tussen vervluchtiging en verbruik (beiden uitgedrukt in percentages van het landelijke verbruik) weergegeven. Wintertarwe en gras geven de hoogste verhouding, hetgeen toe te schrijven is aan de volgende factoren:

- hoge depositiefractie voor beide gewassen (tabel 10);
- relatief hoge dampdruk;
- gewasdepositie op gras die volgens ISBEST een factor 9 maal hoger is dan de bodemdepositie, waarbij de vervluchtiging vanaf gewas in de regel veel hoger is dan vanaf de bodem.

6 Discussie

De huidige versie 3.0 van ISBEST bevat meer functionaliteit dan versie 2.0. Tevens is een aantal verbeteringen in versie 3.0 doorgevoerd. Onzekerheden in het ontwikkelde instrumentarium voor de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht, aanvullingen en verdere verbeteringen van het instrumentarium worden hieronder besproken.

Verliezen tijdens toepassing

Voor de emissie naar de lucht tijdens toepassing kunnen 2 componenten worden onderscheiden:

- Transport van druppels en deeltjes via de lucht naar het aangrenzend open water en het naastgelegen perceel, vaak aangeduid als druppeldrift;
- Transport van bestrijdingsmiddel als druppeltjes, vaste deeltjes en damp over grotere afstanden (in dit rapport beschreven als 'zwevende' drift). Het bestrijdingsmiddel kan middels droge en natte depositie weer op het aardoppervlak terecht komen.

Het relatieve belang van deze twee componenten hangt sterk samen met de spuittechniek, de formulering en de meteorologische omstandigheden. T.a.v. zwevende drift is weinig bekend uit de literatuur, mede omdat meettechnisch deze component moeilijk te onderscheiden is van de vervluchtiging van het bestrijdingsmiddel vanaf bodem en gewas gedurende de periode van toepassing. De omvang van de emissie naar de lucht tijdens toepassing kan aanzienlijk zijn en hangt af van de teeltsituatie (fruitteelt, boomteelt, volvelds (laag gewas) en kasteelt) en de toepassingstechniek (spuitrichting, luchtondersteuning, afscherming, doptype en formulering van het bestrijdingsmiddel). Om een schatting van deze term te maken dienen eerst de omstandigheden gedefinieerd te worden waarop de schattingen betrekking hebben. De definitie van de standaardomstandigheden bestaat uit de onderdelen 1) grootte en geometrie van het veld, 2) weersomstandigheden (windsnelheid, windrichting, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid) en 3) dosering. Het is mogelijk om op basis van de teeltsituatie en de bovengenoemde karakteristieken een beperkt aantal klassen (enkele tientallen) te definiëren waarvoor emissiefactoren onder standaardomstandigheden afgeleid kunnen worden. Een specifieke klasse wordt gekenmerkt door specificatie van de teeltsituatie en meerdere van bovengenoemde karakteristieken van de toepassingstechniek. De emissiefactor voor elke klasse kan voor volveldsteelten berekend worden met IDEFICS. Toetsing en verdere ontwikkeling van IDEFICS maakt het mogelijk om op een termijn van enkele jaren redelijke schattingen van de emissiefactoren in het classificatie-schema te maken. Bovendien is het mogelijk om dat deel van de spuitdruppels te kwantificeren die over grotere afstanden (meer dan 1 km) getransporteerd kunnen worden. Ook andere modellen zijn beschikbaar om verspreiding van bestrijdingsmiddelen via de lucht te kwantificeren (bijv. DEPO1, Asman, 1998). Voor de fruit- en boomteelt zijn in Nederland alleen gegevens over drift uit veldstudies beschikbaar; een geschikt model is er nog niet. In deze teelten worden andere toepassingstechnieken (bijv. de

axiaalspuit) gebruikt dan in de volveldsteelten. Verdere ontwikkeling van IDIFICS is nodig om ook voor deze teelten emissiefactoren te kunnen berekenen.

Vliegtuigtoedieningen behoren tot een aparte groep van toedieningen, waarvoor aparte emissiefactoren afgeleid dienen te worden. Daartoe is zowel literatuuronderzoek nodig ter inventarisatie van de huidige cijfers alsmede veldexperimenten om meer inzicht te krijgen in de omvang van deze emissieroute en de factoren die daarop van invloed zijn. Een veldexperiment naar de drift tijdens een vliegtuigbespuiting is recentelijk uitgevoerd (Huijsmans en Porskamp, 2000).

Depositie op bodem en gewas

De depositie van bestrijdingsmiddelen op de onbegroeide bodem zal in het algemeen voldoende nauwkeurig bekend zijn. Metingen van de depositie op het gewasoppervlak daarentegen zijn slechts beschikbaar uit de literatuur voor een beperkt aantal gewassen. Derhalve was het noodzakelijk om deze gegevens te extrapoleren naar de overige gewassen in ISBEST. Hierbij is gebruik gemaakt van de relatie tussen de mate van interceptie van bestrijdingsmiddel door het gewas en de Leaf Area Index (LAI). De onzekerheid in deze extrapolatie is relatief groot, omdat de schattingsmethode op basis van de LAI vrij grof is. Onzekerheden in de depositiemetingen kunnen hierdoor een relatief grote invloed krijgen.

De depositiemetingen uit de literatuur hebben vaak betrekking op één gewasstadium of enkele gewasstadia en vermelden niet altijd de bodemdepositie. Bij extrapolatie naar de ISBEST gewassen zijn soms gegevens gecombineerd uit verschillende studies. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat de som van de depositie op bodem en van de depositie op het gewas of groter is dan de dosering of zoveel kleiner dat het onwaarschijnlijk is om dit verschil toe te schrijven aan de verliezen tijdens toediening. In de gevallen dat de som van de depositiepercentages voor bodem en gewas groter was dan 100% van de dosering, zijn de depositiepercentages evenredig verlaagd tot de som van de percentages 100% bedroeg. Bij een som van de depositiepercentages kleiner dan 100% zijn de afzonderlijke percentages gehandhaafd.

Emissie vanaf het bodemoppervlak na toepassing

De vervluchtiging van bestrijdingsmiddel vanaf onbegroeide bodem na toepassing wordt bepaald door de werkelijke belasting van het bodemoppervlak. In de huidige versie van het instrumentarium wordt bij de bepaling van de belasting van de bodem met bestrijdingsmiddel nog geen rekening gehouden met winderosie van bodemdeeltjes en oppervlakkige afspoeling. Beide routes resulteren in een afname van de belasting van het bodemoppervlak en dientengevolge in een lagere bijdrage van de vervluchtiging aan de emissie naar de lucht. Voor de emissie via winderosie wordt voor de veenkoloniën een waarde gegeven van 1,3% van de dosering (LNV et al., 1991). De invloed van bodem- en weersfactoren op de omvang van winderosie en afspoeling zijn nog niet goed te kwantificeren.

De huidige methodiek voor de vervluchtiging vanaf bodem houdt niet expliciet rekening met processen zoals hydrolyse, fotochemische en microbiële omzetting. Dit kan een overschatting van de werkelijke bodembelasting tot gevolg hebben en

daarmee dus ook van de belasting van de diepere bodemlagen en het grondwater met bestrijdingsmiddelen. Afspoeling van het bestrijdingsmiddel vanaf het gewas t.g.v. regenval is eveneens niet meegenomen in de methodiek voor vervluchtiging vanaf gewas. Dit kan een hogere bodembelasting (meer toevoer van middel) tot gevolg hebben. Een getoetst concept voor de beschrijving van de afspoeling is nog niet beschikbaar. Ook houdt de methodiek geen rekening met de uitspoeling naar diepere bodemlagen. Dit leidt tot lagere gehalten van het middel aan het bodemoppervlak en dientengevolge tot een lagere vervluchtiging.

De gebruikte schattingsmethode om de vervluchtiging vanaf de onbegroeide bodem te bepalen kent een relatief grote onzekerheid. Door Klepper et al. (1998) is een correctie voorgesteld waarin de totale cumulatieve vervluchtigingsfractie (CV_x) wordt bepaald op basis van de in de huidige methode gebruikte $CV_{21 \text{ dagen}}$. Deze nieuwe benadering heeft als voordeel dat omzettings- en infiltratieprocessen in de bespoten toplaag expliciet worden meegenomen middels de snelheidsconstanten voor de verschillende processen. Uit een nadere analyse (Smit, 2000, pers. med.) blijkt dat relatief grote correcties op de $CV_{21 \text{ dagen}}$ nodig zijn voor stoffen die een matige tot geringe vervluchtiging vertonen bij een hoge DT'_{50} waarde. Verder heeft ook de infiltratie een grote invloed op deze correctiefactor. Voor bentazon ($DT'_{50}=48 \text{ d}$ en $CV_{21}=18\%$) leidt dit tot een 2,4 maal hogere totale cumulatieve vervluchtiging zonder infiltratie en een 1,5 maal hogere waarde bij een gemiddelde infiltratie onder Nederlandse omstandigheden (gemiddeld dagelijks neerslagoverschot van 0,5 mm en een 'uitspoefficiëncy' van 0,5).

Emissie vanaf het gewasoppervlak na toepassing

De onzekerheid in de schattingsmethode voor de vervluchtiging vanaf bladoppervlak is groter dan de methode gebruikt voor vervluchtiging vanaf de onbegroeide bodem. Dit heeft te maken met de geringere kennis van de hier optredende processen. In de gehanteerde methode wordt ook geen onderscheid gemaakt naar verschillende gewassoorten, terwijl bekend is dat, afhankelijk van het bladstructuur, verschillende sorptieprocessen een belangrijke rol kunnen spelen. Op basis van de huidige beschikbare literatuur is het nog niet goed mogelijk om deze gewenste gewas-differentiatie aan te brengen. In Smit et al. (1998) is al wel een eerste aanzet gegeven voor een aantal lage veldgewassen (groenten, bieten en aardappelen). Ook bestaat het idee dat m.n. granen sterk zouden kunnen afwijken van de gehanteerde 'overall' vergelijking. In analogie met 'Emissie vanaf het bodemoppervlak na toepassing' zou ook de door Klepper et al. (1998) voorgestelde methode kunnen worden gebruikt om de CV_x fracties te bepalen.

Een andere complicatie is dat, afhankelijk van de teelt en het gewasstadium, bespuitingen vaak plaats zullen vinden bij minder dan 100% bodembedekking. Dit heeft tot gevolg dat ook de bodem wordt belast, waarbij de bodemcomponent in de totale vervluchtiging lager zal zijn dan wordt beschreven met de vergelijking gebruikt voor de emissie vanaf onbegroeide bodems. Gedurende de dag zullen zowel bodemtemperatuur als windsnelheid onder het gewas lager zijn dan bij afwezigheid van het gewas. Daarnaast wordt de vervluchtiging van de bodem geremd door een hogere concentratie van het gewasbeschermingsmiddel in de luchtlaag onder het

gewas t.g.v. zowel de vervluchtiging vanaf het gewas als vanaf de bodem. Deze gereduceerde bijdrage kan nog niet goed worden bepaald. Daar staat tegenover dat de bijdrage vanaf de bodem aan de totale emissie naar de lucht ook veel lager zal zijn door zowel de lagere concentratie aan bestrijdingsmiddelen op het bodemoppervlak als de geringere cumulatieve vervluchtigingsfractie vanaf de bodem.

Tenslotte is het verlies aan bestrijdingsmiddel t.g.v. afspoeling door regenval niet gekwantificeerd in ISBEST. Bespuitingen vinden echter meestal plaats als de weersvoorspellingen een droge periode aangeven. Aangezien in ISBEST alleen gewerkt wordt met verbruikscijfers en emissiefactoren voor 2-wekelijkse perioden kunnen geen goede schattingen gemaakt worden van de mate van afspoeling ten gevolge van een regenbui kort na de toepassing.

Emissie vanuit kassen

De gehanteerde methode is gebaseerd op de dampdruk van de toegepaste bestrijdingsmiddelen. De onzekerheid in deze methode wordt vooral bepaald door een aantal factoren, namelijk:

- De voor verschillende dampdrukclassen veronderstelde emissiefactoren zijn gebaseerd op een zeer gering aantal experimentele bepalingen;
- De veronderstelde implementatiegraad van de hoog- en laagvolume toepassings-technieken, die onderling tot zeer verschillende emissiecijfers kunnen leiden;
- De onbekende adsorptie aan en opname van het middel in het gewas. Deze processen zijn sterk gewasafhankelijk, terwijl de gebruikte methode dit onderscheid niet maakt;
- De aard van de teeltondergrond. In een deel van het kasareaal is men overgegaan op substraatteelt (Reuvekamp, 1995a,b). Dit substraat wordt toegediend via bedden van glas- of steenwolmatten omgeven door plastic folie. Onbekend is nog de invloed van het folie op adsorptie van bestrijdingsmiddelen uit de lucht. Aanwijzingen dat dit soort processen niet ondenkbeeldig zijn worden vermeld door Bor et al. (1994).

Voor emissies vanuit kassen is in het verleden beperkt onderzoek uitgevoerd. Een prototype model is voor de berekening van de emissie vanuit de kas opgezet maar nog niet volledig uitgewerkt (Luijismans, 1999, persoonlijke mededeling).

Materiaalbalans

Uit landelijke berekeningen met ISBEST 3.0 blijkt dat ongeveer 87% van het totale verbruik (exclusief grondontsmettingsmiddelen) terecht komt op bodem en gewas. Een aanzienlijk deel van de 13% die niet is verantwoord is waarschijnlijk toe te schrijven aan verliezen tijdens toepassing. Een ander deel kan het gevolg zijn van de wijze waarop de depositie op bodem en gewas in ISBEST vanuit verschillende studies zijn gecombineerd, gegevens van het ene gewas vertaald zijn naar andere gewassen en door gebruik te maken van de LAI als vertaalsleutel van de gemeten depositie naar een percentage van de dosering per ha (zie ook *Depositie op bodem en gewas*).

Verdere verliezen omvatten de verpakingsverliezen van bestrijdingsmiddelen en achterblijvende restanten in de spuitapparatuur. Verpakingsverliezen worden ingeschat op 0,01-1% van de dosering (LNV et al., 1991) en spuitrestanten in de apparatuur op 0,4-1% van de dosering (LNV et al., 1991).

Vergelijking met instrumentarium Emissie-evaluatie 1995

Het ontwikkelde instrumentarium is een belangrijke verbetering ten opzichte van het instrumentarium dat gebruikt is in de Emissie-evaluatie voor 1995. Een eerste verbetering heeft betrekking op het in rekening brengen van de mate van depositie op de bodem en de mate van interceptie door het gewas. Tevens is het verloop van de bodemdepositie en gewasinterceptie per gewas gekarakteriseerd. Een tweede verbetering heeft betrekking op het onderscheid maken tussen vervluchtiging vanaf de bodem en de vervluchtiging vanaf gewas. In de Emissie-evaluatie voor 1995 werd de vervluchtiging vanaf de bodem niet apart beschreven. Ten derde is de empirische relatie tussen cumulatieve vervluchtiging en stoffeigenschappen gebaseerd op de in de literatuur gepubliceerde metingen. Daarmee kan voor elk middel een emissiefactor worden berekend op basis van de fysisch-chemische eigenschappen van het middel. In de Emissie-evaluatie voor 1995 werd voor een groot aantal middelen een classificatieschema op basis van alleen de dampdruk gebruikt om de emissiefactor vast te stellen. Bestrijdingsmiddelen met een dampdruk binnen dezelfde klasse hebben dan dezelfde emissiefactor. Ten vierde wordt bij de bepaling van de cumulatieve vervluchtiging impliciet rekening gehouden met omzetting van het bestrijdingsmiddel, omdat de relatie gebaseerd is op metingen van de vervluchtigingssnelheid in het veld. In de methodiek voor de Emissie-evaluatie voor 1995 werd geen rekening gehouden met de omzetting.

Het ontwikkelde instrumentarium is gebaseerd op een database met een complex geheel van relaties tussen tabellen. Controles op de invoer van de gegevens zijn uitgevoerd, waaronder de controle op de som van depositie op de bodem en de interceptie door gewas. Verdere controles op de berekeningen en de uitvoer van het ontwikkelde instrumentarium zijn nog nodig.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Met ISBEST 3.0 is een instrumentarium ontwikkeld waarmee landsdekkende berekeningen van de emissie naar de lucht vanaf bespoten oppervlakken (gewas, bodem) en de emissie vanuit kassen kunnen worden uitgevoerd. Bij de totstandkoming van het instrumentarium is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de huidige kennis en methodieken voor de bepaling van de bijdrage van de verschillende emissieroutes.

In het instrumentarium wordt gebruik gemaakt van de ISBEST database met gedetailleerde gegevens over het gebruik van bestrijdingsmiddelen in Nederland. De gegevens in de database van ISBEST zijn het resultaat van een integratie van gegevens en informatie uit meerdere bronnen en bestaande kennis van deskundigen. Het is daarmee een belangrijk hulpmiddel bij het beantwoorden van beleidsvragen op het gebied van de milieubelasting ten gevolge van het gebruik van bestrijdingsmiddelen in de land- en tuinbouw.

In het instrumentarium zijn nog niet alle emissieroutes verantwoord. De emissieroutes 'emissie tijdens toepassing' en 'emissie via winderosie van gronddeeltjes' zijn nog niet in het huidige instrumentarium opgenomen. Voor een methodiek waarmee de bijdrage van de route 'emissie tijdens toepassing' gekwantificeerd kan worden is verder onderzoek nodig naar de omvang van deze route in afhankelijkheid van teeltsituatie en toepassingstechniek. Een computer model dat deze emissie simuleert (bijv. IDEFICS) speelt daarbij een belangrijke rol.

De methodiek voor de emissie vanuit kassen houdt op eenvoudige wijze rekening met de middeleigenschappen en de toepassingstechniek. De emissiefactor geldt voor een bepaalde dampdrukklasse. Binnen een klasse heeft een verschil in dampdruk tussen twee middelen geen invloed op de emissie naar de lucht. De mate waarin de lucht in de kas ververst wordt is geen factor waarmee de methodiek rekening houdt. Voor kassen met een lage of hoge luchtverversing kan dus de emissie naar de lucht lager, resp. hoger zijn dan met de methodiek wordt berekend.

Het ontwikkelde instrumentarium is een belangrijke verbetering ten opzichte van het instrumentarium dat gebruikt is in de Emissie-evaluatie voor 1995. De verbeteringen hebben betrekking op het rekening houden met de werkelijke belasting van bodem en gewas, de invloed van omzetting op de vervluchtiging, het rekening houden met de fysisch-chemische eigenschappen van het bestrijdingsmiddel en het apart in rekening brengen van de vervluchtiging vanaf de bodem, daarbij rekening houdend met omgevingsvariabelen zoals temperatuur, bodemvocht en organisch stofgehalte.

De ontwikkelde methodieken voor de emissie naar de lucht kunnen gebruikt worden in de totstandkoming van een instrumentarium gebaseerd op de nieuwe versie van

ISBEST die gebruikt gaat worden in de komende evaluatie van het MJP-G voor het ijkjaar 2000.

7.2 Aanbevelingen

Emissie tijdens toepassing

Een klassificatieschema dient ontwikkeld te worden op basis van teeltsituatie en karakteristieken van de toepassingstechniek waarmee op eenvoudige wijze de emissiefactor voor een toepassing van een bestrijdingsmiddel geschat kan worden.

Een door modelsimulaties ondersteund classificatieschema met emissiefactoren, met als input de verschillende toepassingstechnieken, zou een verbetering betekenen van de schattingen van de emissie met behulp van het instrumentarium, alsmede een verbetering van de depositiecijfers op bodem en gewas voor andere spuittechnieken dan beschikbaar uit de literatuur.

Depositie op bodem en gewas

Er zijn meer meetgegevens nodig om een betere inschatting te kunnen maken van de depositie op gewas en bodem voor verschillende gewassen en verschillende gewasstadia. Essentieel hierbij is dat gewas- en bodemdepositie simultaan zijn gemeten om de werkelijke belasting van bodem en gewas te kunnen bepalen.

Vervluchting vanaf de bodem

De huidige schattingsmethode in ISBEST voor de cumulatieve vervluchtigingsfractie is gebaseerd op een termijn van 21 dagen. Er is nu een relatief eenvoudige methode beschikbaar om in plaats hiervan een schatting te maken voor de limietwaarde, met inachtneming van de specifieke omzetting en uitspoeling in de bodem (Pers. med. Smit, 2000). Voorwaarde is wel de beschikbaarheid van betrouwbare waarden voor de omzettingssnelheid van een stof in de toplaag van de bodem. De bruikbaarheid van deze methode dient nader getoetst te worden. Ook dient nagegaan te worden op welke andere wijze de omzetting van bestrijdingsmiddel op het bodemoppervlak in het modelconcept voor de berekening van de vervluchting kan worden opgenomen. In de loop van 2001 komt naar verwachting een verbeterde PEARL module voor de vervluchting vanaf onbegroeide bodem beschikbaar. Koppeling van PEARL met ISBEST en een geografische informatiesysteem analoog aan die voor de grondontsmettingsmiddelen resulteert dan in betere schattingen van de vervluchting vanaf de bodem dan met het huidige instrumentarium mogelijk is.

Vervluchting vanaf het gewas

Analoog aan de vervluchting vanaf onbegroeide bodem is het ook voor de vervluchting vanaf gewas relatief eenvoudig om de in ISBEST gehanteerde cumulatieve vervluchtigingsfracties voor zeven dagen te vervangen door hun limietwaarden (Pers. med. Smit, 2000). Voorwaarde is dat sorptie en vooral ook omzetting op het bladoppervlak goed kunnen worden gekwantificeerd. Hiervoor lijkt nader literatuuronderzoek in combinatie met procesonderzoek de gewezen weg. De bruikbaarheid van deze methode dient nader getoetst te worden. In 2001 wordt

gestart met onderzoek naar een verbeterde beschrijving van de vervluchtiging vanaf gewas. De verbeterde beschrijving zal in PEARL ingebouwd en vervolgens getoetst worden, zodat ook op termijn voor de vervluchtiging vanaf gewas betere schattingen kunnen worden gemaakt.

Overige verliezen na toepassing

De aanwezige expertise binnen Wageningen-UR en de beschikbare literatuur lijkt voldoende mogelijkheden te bieden om het effect van winderosie op het verloop van de gehalten van bestrijdingsmiddel aan het bodemoppervlak te kunnen kwantificeren. Vooralsnog lijkt deze emissieroute van beperkte omvang.

Emissie vanuit kassen

De onzekerheid in de gebruikte methode zou kunnen worden verkleind door meer metingen van de emissiefactor van eenzelfde middel voor verschillende toepassingstechnieken en door meer onderzoek naar de verschillen in de emissiefactor binnen een dampdrukklasse. De implementatiegraad van verschillende toepassingstechnieken is dynamisch en heeft een grote invloed op emissiecijfers. Nieuwe gegevens kunnen een stuk onzekerheid wegnemen. Adsorptie van het toegepaste bestrijdingsmiddel aan folies gebruikt in de substraatteelt is nog onvoldoende onderzocht. Ook hierbij kan experimenteel- of literatuuronderzoek behulpzaam zijn.

Kwaliteit

Ter borging van de kwaliteit van het instrumentarium dient een testprotocol opgesteld te worden waarmee de berekeningen met het instrumentarium en de resultaten ervan gecontroleerd kunnen worden. De resultaten van de uitvoering van het testprotocol dienen gedocumenteerd te worden en zonodig te leiden tot aanpassingen van het instrumentarium. Het versiebeheer van het instrumentarium dient adequaat geregeld te worden.

Materiaalbalans

Ten einde alle termen van de materiaalbalans te kunnen verantwoorden, dient ook het verlies aan middel door restanten van bestrijdingsmiddelen in de spuitapparatuur en de verpakking meegenomen te worden. Een literatuuronderzoek is wenselijk om de beschikbare gegevens te inventariseren en na te gaan op welke wijze deze in ISBEST geïncorporeerd kunnen worden.

Literatuur

- Asman W.A.H., 1998. *Factors influencing local dry deposition of gases with special reference to ammonia*. Atmospheric Environment **32**: 415-421.
- Baas, J. en C. Huygen, 1992. *Emissie van gewasbeschermingsmiddelen uit kassen naar de buitenlucht*. IMW-TNO rapport no. IMW-R 92/304, 60 pp.
- Berg, F. van den, 1992. *Emission of fumigants from soil and dispersion in air*. Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, 32-36 and 45, Wageningen, The Netherlands.
- Berg, F. van den, R. Kubiak, W.G. Benjey, M.S. Majewski, S.R. Yates, G.L. Reeves, J.H. Smelt en A.M.A. van der Linden, 1999. *Emission of pesticides into the air*. Water, Air, Soil Pollution, 115, 195-218.
- Berg, F. van den en J.J.T.I. Boesten, 1999. Pesticide Leaching and Accumulation model (PLESTLA) version 3.4. Description and User's Guide. Technical Document 43, 150 pp. Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen.
- Boesten, J.J.T.I. en A.M.A. van der Linden, 1991. *Modeling the influence of sorption and transformation on pesticide leaching and persistence*, J. Environ. Qual., **20**: 425-435.
- Bor, G., F. van den Berg, J.H. Smelt, A.E. van de Peppel-Groen, M. Leistra en R.A. Smidt. 1994. *Deposition patterns of dichlorvos and parathion in a glasshouse and discharge of parathion with condensation water*. Report 84, Winand Staring Centre, Wageningen.
- Briggs, G.G. en R.H. Bromilow, 1994. Influence of physicochemical properties on uptake and loss of pesticides and adjuvants from the leaf surface. In: *Interactions between adjuvants, agrochemicals and target organisms*. Holloway P.J., R. Rees, and D. Stock (Eds.), pp. 1-26. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- CBS, 1997. *Gewasbescherming in de land- en tuinbouw, 1995*. Centraal Bureau voor de Statistiek. Heerlen.
- Commissie van Deskundigen Emissie-evaluatie MJP-G, 1996a. *MJP-G Emissie-evaluatie 1995*. Einddocument. Rapport IKC-L 6. Informatie en Kennis Centrum Landbouw, Ede.
- Commissie van Deskundigen Emissie-evaluatie MJP-G, 1996b. *MJP-G emissie-evaluatie 1995*, Achtergrond-document. Rapport IKC-L 7, Informatie en Kennis Centrum Landbouw, Ede, 127 pp.
- DLV Adviesgroep, 1995. *Gewasbescherming in de akkerbouw en veehouderij*. Wageningen.

Elliott J.G. en B.J. Wilson (Eds.), 1983. *The influence of weather on the efficiency and safety of pesticide application – The drift of herbicides*. Occasional Publication No. 3, British Crop Protection Council, Croydon UK, 135 pp.

Glorfely, D.E. en C.J. Schomburg, 1989. *Volatilization of pesticides from soil*. In: *Reaction and movement of organic chemicals in soils*, SSSA spec. public. 22, 181-206. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, Wisconsin.

Haenel, H.-D. en J. Siebers, 1995. *Lindane volatilization under field conditions: estimation from residue disappearance and concentration measurements in air*. Agric. and Forest Meteorol. **76**: 237-257.

Hartley, G.S., I.J. Graham-Bryce, 1980. *Physical principles of pesticide behaviour*. Academic Press, London. 1024 pp.

Holterman, H.J., 2000. *Kalibratie van het driftmodel IDETICS*. IMAG-rapport (in voorbereiding). IMAG, Wageningen.

Holterman, H.J., J.C. van de Zande, H.A.J. Porskamp en J.F.M. Huijsmans, 1997. *Modelling spray drift from boom sprayers*. Computers and Electronics in Agriculture **19**: 1-22.

Huijsmans, J.F.M. en H.A.J. Porskamp, 2000. *Drift bij vliegtuigbespuitingen met gebruik van de splitboommethode*. Deelonderzoek 2. IMAG Nota P 2000-74, IMAG, Wageningen, 31 p.

IKC en PD, 1993. *Gewasbeschermingsgids. 13e druk*. Informatie en KennisCentrum voor de landbouw, Ede.

Janssen - van Bergeijk, K.E., J. Barwegen, R. Botden, H. Brinkman, A. den Hartog, P.A. Oomen, P. Oostelbos en R. van Teylingen, 1994. *Gewasbeschermings-kennisbank: Structuur en standaarden*. Gewasbescherming 25 (augustus 1994), supplement 1.

Kammen, A.M.M. van, J.M.G.P. Michielsen en B.H.M. Looman, 1998. *Driftreductie in de lage boomteelt bij een bespuiting met een handgedunde spuitboom, een afgeschermd spuitboom en een dichte afscherming op de perceelsrand*. Instituut voor Milieu- en Agritechniek. IMAG Nota P98-31, Wageningen. 1998. 23pp.

Klotz, I.M. en R.M. Rosenberg, 1974. *Chemical thermodynamics: Basic theory and methods*. Third ed. Benjamin/Cummings Publ. Co., Menlo Park, CA.

Kruijne, R en R.C.M. Merckelbach, 1997. *Ontwikkeling van het prototype instrumentarium PEGASUS. Pesticide Emission to Groundwater And Surface Waters*. Wageningen, Staring Centrum. Reeks Milieuplanbureau 1.

Leistra, M., A.M.A. van der Linden, J.J.T.I. Boesten, A. Tiktak, and F. van den Berg, 2000. PEARL model for pesticide behaviour and emissions in soil-plant systems. Description of processes. Alterra report 13 (draft), RIVM report 711401009 (draft).

Lentjes, P.G. en J. Denneboom, 1996. *Data- en programmabeschrijving ISBEST versie 2.0*. Technisch Document 31, Staring Centrum, Wageningen.

Lieffijn, H., J. Deneer en M. Leistra, 2000. *Schattingen van de emissie van bestrijdingsmiddelen uit de glastuinbouw*. Expertise Centrum Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, onderdeel Landbouw, Ede, 51 pp.

Majewski, M., R. Desjardins, P. Rochette, E. Pattey, J. Seiber en D. Glotfelty: 1993. Environ. Sci. Technol. **27**, 121-128.

Majewski, M.S., 1999. Micrometeorologic methods for measuring the post-application volatilization of pesticides. In: *Fate of pesticides in the atmosphere: Implications for environmental risk assessment*. Van Dijk, H.F.G., W.A.J. van Pul en P. de Voogt (Eds.), pp. 83-113. Kluwer Academic Publishers, Nederland.

Merkelbach, R.C.M. en J.S.C. Wiskerke, 1998. *Regionale milieubelasting door gewasbeschermingsmiddelen uit de landbouw in Noord-Brabant. Een analyse aan de hand van de Milienmeetlat voor Bestrijdingsmiddelen*. Rapport 565, Staring Centrum, Wageningen.

LNv (Landbouw, Natuurbeheer en Visserij), SZW (Sociale Zaken en Werkgelegenheid), VROM (Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieuhygiëne) en WVC (Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur), 1991. *Meerjarenplan Gewasbescherming – Regeringsbeslissing*, Stukken Tweede Kamer, 21667 nr. 3, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Reuvekamp, H., 1995a. *Onderzoek substraatteelt tuinbouw onder glas 1990-1994*. Maandstaat 95/5, CBS, Voorburg.

Reuvekamp, H., 1995b. *Onderzoek substraatteelt bloemkweekerijgewassen onder glas 1990-1994*. Maandstaat 95/6, CBS, Voorburg.

Smit, A.A.M.F.R., F. van den Berg en M. Leistra, 1997. *Estimation method for the volatilization of pesticides from fallow soils*. Environmental Planning Bureau series 2, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.

Smit, A.A.M.F.R., M. Leistra en F. van den Berg, 1998. *Estimation method for the volatilization of pesticides from plants*. Environmental Planning Bureau series 4, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.

Tak, F., 1995. Aanpassen en ontwikkelen van toedieningstechnieken van bestrijdingsmiddelen in de glastuinbouw. In: *Onderzoek in het kader van het Meerjarenplan Gewasbescherming, MJP-G (1991-1995)*. Onderzoeksprogramma Emissiebeperkende Toedieningstechnieken, deel 4.

Tiktak, A., F. van den Berg, J.J.T.I. Boesten, M. Leistra, A.M.A. van der Linden, and D. van Kraalingen, 2000. *Pesticide Emission at Regional and Local scales: Pearl version 1.1 User Manual*. RIVM report 711401008 (draft), Alterra report 28 (draft).

Tiktak, A., A.M.A. van der Linden en R.C.M. Merkelbach, 1996. *Modelling pesticide leaching at a regional scale in the Netherlands*, Report 715801008, 75 pp., RIVM, Bilthoven.

Tomlin, C., 1994. *The pesticide manual, 10th ed.* Crop Protection Publications. British Crop Protection Council (BCPC), Farnham, Surrey, UK.

Werkgroep Beperking Emissie, 1990. Rapportage Werkgroep Beperking Emissie. Achtergronddocument Meerjarenplan Gewasbescherming, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 's-Gravenhage.

Williamson, R.E. en E.D. Threadgill, 1974. *A simulation for the dynamics of evaporating spray droplets in agricultural spraying*. Transactions of the ASAE, **17**: 254-261.

Wit, A.J.W. de, Heijden, Th.G.C. van der en H.A.M. Thunnissen, 1999. *Vervaardiging en nauwkeurigheid van het LGN-3 grondgebruiksbestand*. Rapport 663, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie*. Rapport 2055, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Zande, J.C. van de, H.A.J. Porskamp en J.F.M. Huijsmans, 1997. *Literatuurstudie naar de drift van spuitvloeistof bij bespruitingen in de fruitteelt, de volveldsteelten en de boomteelt*. Nota P 97-34. Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG), Wageningen, Nederland.

Zande, J.C. van de, H.A.J. Porskamp en H.J. Holterman, 2000a. *Spray deposition in crop protection*. Rapport (in voorbereiding). Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG), Wageningen.

Zande, J.C. van de, H.A.J. Porskamp, J.M.G.P. Michielsen, H. Stallinga, H.J. Holterman, A. de Jong en J.F.M. Huijsmans, 2000b. *Buffer zones and spray drift when applying crop protection products in arable crops, orchards and nursery tree crops in the Netherlands*. Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG), Rapport (in voorbereiding), Wageningen.

Niet gepubliceerde bronnen

CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek), 1996. *Rubriekuitkomsten per gemeente van de landbouwtelling 1995*. Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen. Digitaal bestand.

PD (Plantenziektenkundige Dienst), 1998. *Uitvoerbestanden per gemeente van de Regulering Grondontmetting, 1997*. Plantenziektenkundige Dienst. Digitaal bestand.

Klepper, O., T. Jager, A.M.A. van der Linden en A.A.M.F.R. Smit, 1998. An assessment of the effect on natural vegetations of atmospheric emissions and

transport of herbicides in the Netherlands, Internal Eco-Memo 98/05, december 1998, RIVM, Bilthoven, The Netherlands.

Smidt, R.A., G. Bor, R.C.M. Merkelbach, J. Denneboom en R. Kruijne, 2000. *Conceptuele beschrijving van het InformatieSysteem BESTrijdingsmiddelen ISBEST 3.0*. Interne mededeling 569 (in voorbereiding), Alterra, Wageningen.

Aanhangsel 1 Lijst van verschenen rapporten in de Reeks Milieuplanbureau

De in de lijst vermelde rapporten zijn verkrijgbaar bij het uitgevende instituut

- Kruijne, R. en R.C.M. Merckelbach, 1977. Ontwikkeling van het prototype instrumentarium PEGASUS. Pesticide Emission to Groundwater And Surface WaterS. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 25,-).
- Smit, A.A.M.F.R., F. van den Berg en M. Leistra, 1997. Estimation method for the volatilization of pesticides from fallow soil. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 25,-).
- Kros, J., 1998 De modellering van de effecten van verzuring, vermistig en verdroging voor bossen en natuurterreinen ten behoeve van de milieubalans, milieuverkenning en natuurverkenning. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 25,-).
- Smit, A.A.M.F.R. M. Leistra en F. van den Berg, 1998. Estimation method for the volatilization of pesticides from plants. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 25,-).
- Leistra, M., 1998. Extent of photochemical transformation of pesticides on soil and plant surfaces. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 25,-).
- Steenvoorden, J.H.A.M., W.J. Bruins, M.M. van Eerdt, M.W. Hoogeveen, N. Hoogervorst, J.F.M. Huijsmans, H. Leneman, H.G. van der Meer, G.J. Monteny en F.J. de Ruijter, 1999. Monitoring van nationale ammoniakemissies uit de landbouw, op weg naar een verbeterde rekenmethodiek. Dlo Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands, (f 25,-).
- Leneman, H., J.P.P.J. Welten en B.W. Zaalmink, 1999. Milieukosten gewasbescherming voor de land- en tuinbouw. Landbouw-Economisch Instituut, Den Haag (f 22,-).
- Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, A. van der Giessen, M.J.H. Pastoors en J. Huygen, 2000. Hydrologie voor Stone; Schematische en Parametrisatie. Alterra, Wageningen (f 67,50).
- Steenvoorden, J.H.A.M., J.J. Neeteson, J.G.A.M. Noij, C. van Bruchem en G.J. Monteny, 1999. Een doorkijk van het Nationaal Milieubeleidsplan 3 op het LNV-werkterrein. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 35,-).
- Hoogeveen, M.W., 2000. Graslandgebruikssystemen in Nederland. Landbouw-Economisch Instituut, Den Haag.
- R.A. Smidt, M.F.R. Smit, F. van den Berg, J. Denneboom, J.C. van de Zande, H.J. Holterman en J.F.M. Huijsmans., 2000. Beschrijving van de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht bij bespuiting van bodem of gewas in ISBEST 3.0. (f 40,-).

