

H. Timmermans
H. Leneman
J. Dijk
M.Q. van der Veen

Interne Nota 425

MOGELIJKHEDEN TOT MODELLERING VAN DE EMISSIE VAN GEWASBESCHERMINGSMIDDELEN

April 1994



SIGN: L5-425
EX. NO: A
MLV:

Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO)
Conradkade 175
Postbus 29703
2502 LS Den Haag

2181302

H. Timmermans
H. Leneman
J. Dijk
M.Q. van der Veen

Interne Nota 425

MOGELIJKHEDEN TOT MODELLERING VAN DE EMISSION VAN GEWASBESCHERMINGSMIDDELEN

April 1994

Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO)
Conradkade 175
Postbus 29703
2502 LS Den Haag

INHOUD

	Blz.
WOORD VOORAF	5
1. INLEIDING	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Samenvatting overheidsbeleid	7
1.3 Beleidsinstrumenten	9
1.4 Probleemstelling van het onderzoek	10
1.5 Doelstelling van het onderzoek	11
1.6 Aanpak van het pilot-onderzoek	12
1.7 Afbakening	13
1.8 Indeling rapport	13
2. CHEMISCHE STOFFEN IN DE AGRARISCHE SECTOR	15
2.1 Indeling agrochemische stoffen	15
2.2 Gewasbescherming en milieu	17
2.3 Stofeigenschappen	18
3. STOFSTROMEN OP BEDRIJFSNIVEAU	20
3.1 Inleiding	20
3.2 Stofstromen	21
3.3 Het landbouwsysteem	22
3.4 De grenzen van het systeem	25
3.5 De vorm van het model waarnaar wordt toegewerkt	26
3.6 Taakgebied van het onderzoek	27
4. MODELONDERZOEK	28
4.1 Afbakening	28
4.2 Modellen, hun input en hun output	29
4.2.1 Algemeen	29
4.2.2 Immissie- en emissiemodellen	29
4.2.3 Selectiestrategie voor bouwstenen voor het Stofstromenmodel	30
4.3 De beschreven stromen in de modellen	31
4.3.1 Verwaaiing tijdens toepassing/transport van gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater	32
4.3.2 Adsorptie aan het gewas/afvoer van gewasbeschermings- middelen op geoogst gewas	33
4.3.3 Bodemadsorptie en uitspoeling van gewasbeschermings- middelen naar het grondwater	33
4.3.4 Vervluchting van gewasbeschermingsmiddelen vanaf bodem en gewas	34
4.3.5 Samenvatting deelstroombeschrijving in de beschreven modellen	34
4.4 Beschreven processen in de deelstromen	35
4.4.1 Afbraak	37
4.4.2 Verwaaiing tijdens de toediening	38
4.4.3 Adsorptie aan het geoogst gewas (interceptie)	39
4.4.4 Afspoeling naar het oppervlaktewater	40

	Blz.
4.4.5 Adsorptie aan het bouwvoormateriaal	41
4.4.6 Vervluchtiging vanaf het gewas	41
4.4.7 Vervluchtiging vanaf het bodemoppervlak	42
4.4.8 Uitspoeling naar het grondwater	43
4.5 Voorbeeld van inbouw en opstelling van een balans	43
5. DATAVERZAMELINGEN	46
5.1 Inleiding	46
5.2 Gegevensbestanden op het LEI-DLO	46
5.2.1 De Boekhoudnet-registratie (BKH)	46
5.2.1.1 Bedrijfstypering	47
5.2.1.2 Management-technische gegevens	48
5.2.1.3 Produktie- en verbruiksgegevens	48
5.2.2 Gegevenslijst voor stofkenmerken	49
5.3 Gegevens afkomstig van andere (DLO-)instituten	49
5.4 Ontwikkelingen	50
6. EVALUATIE	51
6.1 Welke doelstellingen zijn haalbaar?	51
6.2 Kwaliteit beschikbare informatie: leemten en omissies	52
6.2.1 Inleiding	52
6.2.2 Kwaliteit en omissies in de beschikbare databases	53
6.2.2.1 De database van de Boekhoudnet-registratie	53
6.2.2.2 De databases naast de Boekhoudnet-registratie	53
6.2.3 De leemten in kennis	54
6.2.4 Conclusie	56
6.3 Is koppeling tussen stroommodellering van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen mogelijk, nodig en nuttig?	56
6.3.1 Modeltechnische mogelijkheid voor koppeling	56
6.3.2 Verschillen tussen de stroommodellering van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen	56
6.3.3 Overeenkomsten in de stroommodellering van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen	58
6.3.4 Interactie tussen bemesting en plaagbestrijding: het nut van koppeling	58
6.3.5 Conclusie	60
7. SAMENVATTING	61
7.1 Inleiding	61
7.2 Chemische stoffen in de agrarische sector	61
7.3 Stofstromen op bedrijfsniveau	62
7.4 Modelonderzoek	62
7.5 Dataverzamelingen	63
7.6 Evaluatie	63
LITERATUUR	65
LIJST VAN AFKORTINGEN, DEFINITIES EN BEGRIPPEN	74
1. Afkortingen	74
2. Definities	75
3. Begrippen	77

WOORD VOORAF

Reeds enige tijd geleden werd er bij LEI-DLO gestart met het opzetten van een stofstromenmodel voor nutriënten, werkend aan de hand van gegevens uit het LEI-Boekhoudnet, met aggregatiemogelijkheden vanaf bedrijfsniveau. Vanwege goede ervaringen met dit "model-in-ontwikkeling" en vragen vanuit de omgeving kwam de behoefte op dit model uit te breiden naar andere stofstromen. In de zomer van 1992 werd daarom intern opdracht gegeven te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn voor de ontwikkeling van een stofstromenmodel voor gewasbeschermingsmiddelen. Dit rapport is het resultaat van die opdracht.

Omdat het een interne opdracht was werd geen externe begeleidingscommissie benoemd. In samenspraak met ir. M.Q. van der Veen, leider van het nutriëntenstromen-onderzoek, werd een opzet van het onderzoek geformuleerd. Haar werk werd in de loop van het onderzoek overgenomen door ir. H. Leneman. Het eigenlijke onderzoek werd gedaan door drs. H. Timmermans en hij schreef ook het merendeel van de tekst van het rapport. De projectleiding was in handen van drs. J. Dijk.

Dit rapport beoogt de communicatie met technische (DLO-) instituten te vereenvoudigen: de medewerkers van het LEI-DLO kunnen vertrouwd raken met termen, begrippen en denkpatronen die zich in het werkveld voordoen, zonder de pretentie te voeren zelf een technisch model te willen ontwikkelen. Binnen het LEI-DLO is het bewustzijn groeiende dat effecten van maatregelen van de overheid tot stand komen door een mix van economische en technische factoren. Dat betekent dat noch een technisch, noch een economisch model in staat zal zijn de effecten van overheidsmaatregelen op emissie- en afvalstromen te berekenen: de modellen ter vaststelling van de grootte van de milieubeïnvloeding door de landbouw zullen moeten gebouwd worden door de kennis van deze factoren, aanwezig in de verschillende instituten, te koppelen.

De schrijvers wensen hun dank uit te spreken aan medewerkers van LEI-DLO, te weten:

dr. F.M. Brouwer, afdeling AEOS,

ing. J. van Gemert, afdeling TB,

ing. S.R.M. Janssens, afdeling LB,

ing. H.H. Luesink, afdeling LB,

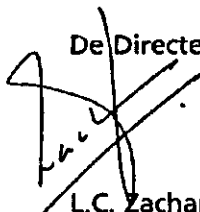
ir. M.J.G. van Onna, afdeling LB,

ir. H.H.W.J.M. Sengers, afdeling LB,

ing. C.J.M. Vernooij, afdeling TB,

die de conceptfase van de rapportage van zeer constructief commentaar hebben voorzien.

Den Haag, april 1994

De Directeur,

L.C. Zachariasse

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

De Nederlandse landbouwproductie verdrievoudigde in de laatste dertig jaar, en het gebruik van bestrijdingsmiddelen nam in die periode exponentieel toe. Het economisch belang van gewasbescherming was oorspronkelijk geen opbrengstverhoging, maar het afweren van het risico op misoogst. In de wetenschap van het eenvoudig en goedkoop beschikbaar zijn van chemische middelen ontstonden teeltwijzen (monocultuur), rassenveredeling (selectie op hoge produktie, kwetsbaarheid door geringe genetische variatie) en continueelt (bodemontsmetting) die bijdroegen tot een verhoging van dat risico, en daarmee tot een volledige afhankelijkheid van de chemie. Deze steeds duurdere en steeds gevaarlijker tendens dient te worden doorbroken (Klep, 1989).

Het verbruik van bestrijdingsmiddelen in Nederland is hoog in vergelijking met enkele ons omringende landen. Het bedraagt momenteel gemiddeld ongeveer 10 kg actieve stof per hectare cultuurgrond. Wordt alleen het bouwland bekeken dan is dat cijfer nog aanzienlijk hoger. Het jaarlijkse verbruik van de diverse soorten bestrijdingsmiddelen is als volgt:

grondontsmettingsmiddelen	8.578.000 kg actieve stof;
insecticiden/acariciden	575.000 kg actieve stof;
fungiciden	4.147.000 kg actieve stof;
herbiciden	3.639.000 kg actieve stof;
overige middelen	1.233.000 kg actieve stof;

(gegevens NEFYTO, 1988).

Hierin kan de groep insecticiden/acariciden, hoewel in kilogram actieve stof de kleinste in omvang, als meest gevaarlijk worden beschouwd. Ten gevolge van dit hoge verbruik worden grote hoeveelheden bestrijdingsmiddelen of hun residuen in het milieu aangetroffen: in 1988 trof het RIVM bij metingen concentraties van 21 verschillende residuen van bestrijdingsmiddelen aan in het bovenste grondwater, waarvan twintig boven de geldende Europese norm (Salomons en Stol, 1992).

1.2 Samenvatting overheidsbeleid

Sprekend over bestrijdingsmiddelen en overheidsbeleid hebben we in Nederland te maken met twee gestructureerde beleidsplannen. In de eerste plaats is dat het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP) (Ministerie VROM, 1989b), door de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), mede namens de ministers van Economische Zaken (EZ), Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV) en Verkeer en Waterstaat (V&W), in mei 1989 aan de Tweede Kamer aangeboden. Dit plan kreeg, namens dezelfde ministeries, in juni 1990 een aanvulling (verbetering) in het Nationaal Milieubeleidsplan Plus (NMP+) (Ministerie VROM, 1990). Het tweede plan werd in juni 1991 vanwege LNV, mede namens Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW), VROM en Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur (WVC) aan de Tweede Kamer aangeboden onder de aanduiding Meerjarplan Gewasbescherming (MJP-G) (Ministerie LNV, 1991).

Het NMP(+) inventariseert de in Nederland spelende milieuproblemen, en is driedimensionaal opgebouwd. De eerste dimensie wordt gevormd door de reikwijdte van het probleem, van lokaal tot mondiaal. In de tweede dimensie wordt de aard van het probleem in acht categorieën (beleidslijnen) onderscheiden: ver-

andering van klimaat, verzuring, vermesting, verspreiding van milieugevaarlijke stoffen, verwijdering van afval(stoffen), verstoring, verdroging en verspilling. In de derde dimensie worden de doelgroepen die de problemen veroorzaken, en waarvan een zekere inspanning verwacht mag worden, op het nemen van maatregelen aangesproken.

Het gebruik en de emissie van bestrijdingsmiddelen valt in de categorie "verspreiding van milieugevaarlijke stoffen" (kortweg "verspreiding"). Milieugevaarlijke stoffen worden in het milieu gebracht door met name de landbouw, de industrie en de consument, en de reikwijdte van de milieu-effecten varieert van lokaal tot mondiaal. De doelstellingen die met betrekking tot bestrijdingsmiddelen bij de landbouw worden aanbevolen zijn beperking van het gebruik van bestrijdingsmiddelen (uitgedrukt in kilogram actieve stof een reductie van 50% in het jaar 2000), ontwikkeling van hanteerbare (bedrijfsinterne) milieuzorgsystemen en de overgang naar duurzame landbouwmethoden (geïntegreerde landbouw). Ook de aard van de stoffen wordt in beschouwing genomen: de in 2000 in gebruik zijnde bestrijdingsmiddelen moeten mens- en milieuvriendelijk zijn. In die sanering zullen in eerste instantie de uitspoelende middelen worden aangepakt (Ministerie VROM, 1989b).

Het NMP verwijst bij de behandeling van bestrijdingsmiddelen naar de (bij uitkomen van het NMP+ nog toekomstige) nota Meerjarenplan Gewasbescherming, waarin de uitwerking van de maatregelen ex-NMP betreffende bestrijdingsmiddelen zullen worden uitgewerkt en gespecificeerd. De doelstellingen van NMP en MJP-G liggen dus in elkaars verlengde.

De Structuurnota Landbouw (SNL) (Ministerie LNV, 1990b) legt de verbinding tussen het NMP(+) en het MJP-G. Het is in zekere zin een verkennende nota, waarin de mogelijkheden voor maatregelen conform het NMP worden onderzocht. Er wordt sterk de nadruk gelegd op de economische omgeving waarin deze maatregelen zullen gaan ingrijpen: landbouw is een economische activiteit die ondernemingsgewijs plaatsvindt en die veilige voedselproducten voortbrengt zonder het fysieke milieu als natuurlijke hulpbron onomkeerbaar aan te tasten. Vastgesteld wordt dat algemene milieukwaliteitseisen niet kunnen worden beschouwd als randvoorwaarden, maar geïntegreerd onderdeel uitmaken van het beleid. De realisatie van de milieudoelstellingen en het tempo waarin dit geschiedt, moeten daarom geïntegreerd worden in de meer economische doelstellingen van het landbouwbeleid. Om een economisch gezonde landbouw ook in de toekomst te handhaven moeten milieudoelstellingen en economische doelstellingen op elkaar afgestemd zijn. Er wordt gepleit voor een sterkere integratie van informatiesystemen op bedrijfsniveau zodat de meetbaarheid van productieprocessen groter wordt, wat van belang is in verband met de evaluatie van milieu-effecten. Dit kan voor de primaire producenten leiden tot een verhoging van de produktiviteit, betere en meer op de vraag afgestemde produkten en minder gebruik van chemische gewasbeschermings- en diergeneesmiddelen. De grondstoffen zullen zuiniger gebruikt worden en de mogelijkheden voor geïntegreerde bedrijfssystemen worden vergroot (Ministerie LNV, 1990b).

De taakstelling van het MJP-G (Ministerie LNV, 1991) voor vermindering van de totale omvang van het verbruik bedraagt voor het jaar 1995 ruim 35% en voor het jaar 2000 ongeveer 55% van het huidige bestrijdingsmiddelenverbruik (dit is het gemiddeld jaarverbruik over de periode 1984-88). Daartoe zal zowel de gevoeligheid voor ziekten en plagen als de structurele afhankelijkheid van chemische middelen moeten worden verminderd.

Het MJP-G geeft de aanzet voor een ombuiging in de richting van productie-, verwerkings- en verhandelingsystemen die met beduidend minder bestrijdingsmiddelen toe kunnen (Volumebeleid). Deze systemen betekenen niet alleen een veilige productie-omgeving en een verantwoorde voedselkwaliteit maar daardoor ook duurzaamheid voor de agrarische sector. Het MJP-G heeft drie strategische hoofdlijnen:

- vermindering van de afhankelijkheid van chemische gewasbescherming;
- vermindering van de omvang van het verbruik van chemische bestrijdingsmiddelen;
- vermindering van de emissie van chemische bestrijdingsmiddelen naar het milieu, met name naar grondwater, oppervlaktewater en lucht.

Daarnaast is sprake van een stofgerichte aanpak via het toelatingsbeleid van bestrijdingsmiddelen (Stoffenbeleid).

De eerste hoofdlijn zal moeten worden bereikt door krachtige stimulering van geïntegreerde bedrijfssystemen en van biologische land- en tuinbouw. In de geïntegreerde systemen is de input van kunstmest en bestrijdingsmiddelen beduidend lager dan in de gangbare, intensieve produktiesystemen.

De realisatie van de tweede hoofdlijn zal met name moeten komen via het nemen van technische maatregelen: voor verschillende agrarische sectoren zullen grondontsmettingsmiddelen nog slechts op recept verkrijgbaar zijn, er wordt gestreefd naar combinatie van chemische en niet-chemische onkruidbestrijdingsmethoden, en het verbruik van fungiciden en insecticiden zal verminderen door toepassing van geleide bestrijding, biologische bestrijding en verbeterde toedieningsapparatuur.

Vermindering van het verbruik zal leiden tot een overeenkomstige vermindering van de emissie van bestrijdingsmiddelen naar het milieu. De emissieroutes naar het milieu zijn in principe bekend, evenals de orde van grootte van die routes. Daarbij valt op dat emissie plaatsvindt zowel door goed landbouwkundig gebruik als door onzorgvuldig handelen. Kwantitatief de belangrijkste routes zijn 1) vervluchtiging, uitspoeling, lozing van spuit- en spoelwater, run-off, verwaaiing, lozing van dompelbadwater en afvloeien van lek- en condenswater. Onzorgvuldig handelen moet worden uitgebannen en toedieningsapparatuur zal zodanig moeten worden verbeterd dat zoveel mogelijk bestrijdingsmiddel het beoogde doel raakt en niet voortijdig naar het milieu ontsnapt.

In het toelatingsbeleid zal bij de sanering van middelen rekening worden gehouden met het beschikbaar blijven van een voldoende breed middelenbestand, teneinde de duurzame omschakeling naar een maatschappelijk verantwoorde gewasbescherming niet in de weg te staan.

1.3 Beleidsinstrumenten

Beleidsinstrumenten die ter realisatie van de doelstellingen van het MJP-G zullen worden ingezet zijn:

- wet- en regelgeving:
 - a. verplicht spuitbrevet voor de toediening van bestrijdingsmiddelen;
 - b. kwaliteitseisen en verplichte onderhoudskeuring van toedieningsapparatuur;
 - c. receptverstrekking van grondontsmettingsmiddelen onder voorwaarden;
 - d. aanscherping gebruiksvoorschriften;
 - e. instelling bestemmingsheffing op bestrijdingsmiddelen;
 - f. verhoging van tarieven voor de beoordeling van de toelaatbaarheid van bestrijdingsmiddelen;
 - g. instelling van een verkoop- en verbruiksregistratie.
- stimuleringsmaatregelen (regulerende heffingen en subsidies, tegemoetkomingen in milieu-investeringen);
- voorlichting en onderwijs.

1) Het MJP-G is de eerste aanzet tot een overzicht over het hele terrein. Een van de gevolgen daarvan is dat met indelingen en termen niet altijd even zorgvuldig wordt omgesprongen. De terminologie in dit rapport zal daarom niet overal aansluiten met die in het MJP-G; waar nodig zal worden aangegeven wanneer en waarom er wordt afgeweken. Voor het overige wordt naar de definitielijst (bijlage) verwezen.

Van het onderzoek wordt verwacht dat op een aantal gebieden het onderzoek versneld moet worden gedaan. Het betreft detectie en bemonstering van bodemziekten, de risico's van bestrijdingsmiddelen voor het milieu (ecotoxicologie), emissiebeperkende toedieningstechnieken en de biologische bestrijding van ziekten, plagen en onkruiden (Ministerie LNV, 1991).

Wat betreft de acht beleidslijnen in het NMP is het opvallend dat per sector in de Nederlandse economie steeds drie lijnen zijn aan te wijzen die tezamen 80% van de milieubelasting door die betreffende sector uitmaken. Voor de land- en tuinbouw zijn dat verzuring (ammoniak), vermesting (fosfaat) en verspreiding (bestrijdingsmiddelen). De maatregelen die in het kader van NMP en opvolgende plannen zijn genomen hebben op alle drie de terreinen verbetering bewerkstelligd, maar het is moeilijk vast te stellen hoe belangrijk deze verbetering is. De omvang van de reductie is wel vast te stellen, maar slechts in zeer globale termen. De registratie van verbruiks- en emissiecijfers laat nog veel te wensen over (Groen, 1992).

Ook de inzet van het beleidsinstrument "regulerende heffing" blijkt nog niet voldoende onderzocht. Regulerende heffingen kunnen zeer effectief zijn mits het te beperken gedrag van een ondernemer als heffingsgrondslag wordt genomen, en er gedragsalternatieven zijn. Als gevolg van de zeer lage prijs van chemische middelen ten opzichte van de prijs van landbouwprodukten is de neiging tot overmatig gebruik groot (Oskam et al., 1992). In veel gevallen is de bedrijfsgrootte en bedrijfsstructuur zodanig dat vanuit bedrijfseconomische invalshoek te snel wordt teruggегреpen op chemische bescherming, terwijl over het voorkomen van de noodzaak van gebruik (zoals bouwplanverruiming, rassenkeuze of een alternatieve manier van bestrijding) te weinig wordt nagedacht. Ook voor bestrijdingsmiddelen vormen heffingen een veelbelovend instrument, mits dergelijke maatregelen in Europees verband worden ingevoerd (WRR, 1992). Er is dus ook behoefte aan inzicht in het bedrijfseconomisch gedrag van de ondernemer ten opzichte van bestrijdingsmiddelen.

Bij convenant is medio 1993 tussen de overheid en het Landbouwschap en andere belangenorganisaties vastgelegd dat de invoering van de wet- en regelgeving ten behoeve van het terugdringen van de structurele afhankelijkheid van gewasbeschermingsmiddelen onder gezamenlijke verantwoordelijkheid wordt gesteld. Daartoe wordt een Coördinerend Uitvoeringsorgaan (CUO) ingesteld, met een gelijk aantal vertegenwoordigers van de overheid en het bedrijfsleven. De CUO coördineert de voortgang tussen belangengroepen en sectoren, en brengt jaarlijks rapport uit. Bij onvoldoende vooruitgang kan de CUO ook aanvullende maatregelen bindend opleggen. Gedurende de looptijd (tot 31 december 2000) van het convenant worden overheidsmaatregelen opgeschort. Dit betekent dat in die periode de sectoren de gelegenheid krijgen op eigen kracht en naar eigen inzicht de voorgestelde reductie te bewerken. Als dat niet lukt zullen de voorgestelde maatregelen versneld en verscherpt alsnog worden doorgevoerd (LBS, 1993).

1.4 Probleemstelling van het onderzoek

In het MJP-G zijn de gebruikshoeveelheden en toedieningswijzen van gewasbeschermingsmiddelen geïnventariseerd. Op deze inventarisatie zijn doelstellingen geformuleerd ten aanzien van de inzet van chemische middelen in land- en tuinbouw, en van de bijbehorende emissies naar het milieu. Om dit beleid te realiseren worden diverse beleidsinstrumenten ingezet. Om na te kunnen gaan in hoeverre de verschillende te nemen maatregelen effect (zullen) sorteren is een voortdurende monitoring van verbruik en emissies van gewasbeschermingsmiddelen gewenst. Daarnaast is het van belang om inzicht te hebben in de te verwachten effecten (kosten, verbruik, emissies) van voorgenomen beleidsmaatregelen. Een instrument dat voor een dergelijke monitoring, evaluatie en analyse van het be-

leid op regionaal, nationaal en sectorniveau kan worden gebruikt, en dat gebaseerd is op praktijkgegevens van land- en tuinbouwbedrijven, ontbreekt op dit moment. De ontwikkeling van zo'n instrument is met name belangrijk om antwoorden te kunnen geven op vragen van spreiding tussen bedrijven en spreiding tussen gebieden, en om verband te kunnen leggen met milieukwaliteitsmodellen. Ook voor de communicatie op EG niveau is het belangrijk dat integrale gegevens op nationaal niveau actueel beschikbaar zijn.

Milieuproblemen veroorzaakt door de landbouw dragen een sterk lokaal karakter, en de maatregelen worden dan ook zo ontworpen dat ze een direct effect hebben op bedrijfsniveau. Daarom zijn de beleidseffecten ook daar het meest direct te meten. Sterke argumenten voor de opbouw van een model vanuit bedrijfsniveau zijn verder de doelstelling van het NMP om tot hanteerbare milieuzorgsystemen te komen, de suggestie in de SNL de maatregelen zoveel mogelijk in te bedden in gezonde bedrijfseconomische termen en de door de WRR (1992) geformuleerde eis het te beperken gedrag van de ondernemer als heffingsgrondslag te nemen.

1.5 Doelstelling van het onderzoek

Dit onderzoek is de eerste fase van een onderzoek waarin moet worden gekomen tot de bouw van een rekenmodel, waarmee de aard, de omvang en de lokatie van het verbruik en de emissies van gewasbeschermingsmiddelen kunnen worden beschreven. Daarbij gaat het zowel om monitoring van zich voordoende ontwikkelingen als om het doorrekenen van effecten van toekomstige ontwikkelingen in de landbouw mede onder invloed van te nemen beleidsmaatregelen met betrekking tot de inzet van gewasbeschermingsmiddelen in de land- en tuinbouw.

Zowel in het NMP als in de SNL worden directe relaties gelegd tussen bemesting en gewasbescherming, mede in het kader van de stimulering van geïntegreerde bedrijfsvoering. Het verdient dan ook aanbeveling de modelbouw zoveel mogelijk te laten aansluiten bij bestaande mest- en nutriëntenmodellen (Van der Veen et al., 1993), zodat de uitkomsten van beide modellen in hun samenhang beoordeeld kunnen worden.

Het beleidsondersteunend onderzoek dat zal worden gedaan aan de hand van uitkomsten van het model zal vragen om gegevens op gedetailleerd en op geaggregeerd niveau. Bij beleidsvragen gaat het niet alleen over vragen van accentverlegging en sturing van het landbouw(milieu)beleid, maar ook over vragen vanuit aangrenzende terreinen als natuurbeheer. De modeloutput zal voor onderzoeksinstituten als RIVM, SC, CABO en dergelijk uitgangsmateriaal zijn om mee te werken in milieukwaliteitsmodellen.

De eisen waaraan het model daarom zal moeten voldoen zijn:

- de uitkomsten van het model moeten beschrijvend zijn op gewas-, regionaal, sectoraal en nationaal niveau. Deze niveaus zullen ontstaan uit geaggregeerde uitkomsten;
- de variatie tussen bedrijven moet in de output van het model tot uitdrukking komen;
- met het model moeten scenario's en beleidsvoorstellen kunnen worden doorerekend om inzicht te verkrijgen in te verwachten effecten van landbouw- of milieubeleid en technische of marktontwikkeling;
- de output van het model moet bruikbaar zijn als uitgangsmateriaal voor milieukwaliteitsmodellen, die de emissiestromen omrekenen in milieubelasting in de aangrenzende compartimenten;
- het model moet draaien op uit empirisch onderzoek en praktijk vastgestelde gegevens en relaties, en moet aan de praktijk getoetst kunnen worden (validatie);
- gewijzigde inzichten moeten relatief eenvoudig middels modelaanpassingen ingevoerd kunnen worden.

- De output zal worden gegeven in termen van:
- kg actieve stof in de emissiestromen naar de onderscheiden compartimenten zowel binnen als buiten het bedrijf, en
 - economische gevolgen op bedrijfsniveau.

De scenariostudies die kunnen worden ingevoerd zijn alternatieven voor aspecten in de bedrijfsvoering zoals het spuiten met een ander middel, de overgang naar een ander bouwplan, de inzet van biologische bestrijding of de investering in milieusparende toedieningsapparatuur.

Om te bezien of en in hoeverre een dergelijk model gebouwd kan worden is een inventariserend pilot-onderzoek verricht. Aan de hand van de uitkomsten van dit pilot-onderzoek zal bekeken worden welke aanvullingen in de gegevensbanken moeten worden opgenomen, en met welke (DLO-)instituten moet worden samengewerkt voor de correcte incorporatie van technische relaties.

Tevens zal worden bezien in hoeverre aansluiting met het bestaande nutriëntenstromenmodel (SSM-nut) (Van der Veen et al., 1993) kan worden bereikt.

1.6 Aanpak van het pilot-onderzoek

Uitgangspunt in de aanpak is het modelleren van stofstromen op bedrijfsniveau (variatie tussen bedrijven, aansluiting bij SSM-nut, flexibele keuze ten aanzien van het gewenste niveau van aggregatie, bedrijfseconomische efficiëntie en verschillen daarin tussen bedrijven komen beter in beeld). Daartoe zal de invoer van data op een zo gedetailleerd mogelijk niveau (gewas- en bedrijfsniveau) geschieden. Door te aggregeren over bedrijven kunnen regionale en nationale modeluitkomsten worden verkregen.

Een andere mogelijkheid van aanpak zou zijn een benadering waarin de landbouw als één bedrijf gezien wordt. Het nadeel daarbij is echter dat (regionale of individuele) knelpunten ten aanzien van gewasrotatie, ziektedruk, mestafzetmogelijkheden en dergelijke onvoldoende in beeld komen.

Het pilot-onderzoek naar de mogelijkheid voor de bouw van een Stofstromenmodel voor gewasbeschermingsmiddelen (SSM-gbm) zal bestaan uit drie onderdelen.

In de eerste plaats zal een raamwerk voor een bedrijfssysteem worden ontworpen, dat als een basis kan dienen voor een stofstromenmodel. Dit bedrijfssysteem zal worden gevormd naar analogie van het reeds bestaande SSM-nut (Van der Veen et al., 1993).

In de tweede plaats zal een literatuuronderzoek worden gedaan ter inventarisatie van voor de modelbouw belangrijk onderzoek. Met name zal gezocht worden naar modellen die één of meer onderdelen van het bedrijfssysteem beschrijven. Verder zullen ook ontwikkelingen die voor het onderzoek belangrijk kunnen zijn in de literatuur aangewezen worden, ook als ze nog niet voor het onderzoek bruikbare resultaten hebben opgeleverd.

Tenslotte zal een databank moeten worden gevormd waarin de voor het model benodigde gegevens zullen worden ondergebracht. De structuur van deze databank zal in het pilot-onderzoek globaal moeten worden vastgelegd en er zal onderzocht worden waar welke gegevens verkrijgbaar zijn.

Uit dit pilot-onderzoek zal tevens duidelijk moeten worden welke kennis van organische of chemische relaties en van gegevens nog ontbreekt ("leemten in kennis") en hoe belangrijk deze ontbrekende kennis is.

1.7 Afbakening

De ontwikkeling van het model heeft niet als doel een instrument te ontwikkelen ter advisering van de individuele ondernemer (betreffende bijvoorbeeld een optimale bedrijfsaanpassing). De doelgroep waarvoor gewerkt wordt is in de eerste plaats het beleid (overheid en koepelorganisaties) en in tweede instantie het (landbouw)onderzoek, waarbij een verbinding moet worden gemaakt tussen het economisch en het technisch onderzoek.

Er wordt niet naar milieu-effecten gekeken. De vertaling van de grootte van de emissiestroom naar Milieu Belastings Eenheden (MBE) of naar Predicted Environmental Concentrations (PEC) wordt overgelaten aan speciaal daartoe ontwikkelde evaluatiemodellen (milieukwaliteitsmodellen, zoals ontwikkeld door onder andere RIVM en SC-DLO).

Bij de ontwikkeling van het raamwerk voor het bedrijfssysteem zal worden uitgegaan van de Stofstromenbenadering. Andere benaderingen, zoals een "life-cycle analysis", worden niet in de overweging betrokken.

De opzet van het onderzoek is specifiek gericht op de gehele landbouwsector, hoewel geen nadruk zal worden gelegd op de aanvullende overwegingen die slechts geldig zijn voor de gesloten teelten (kasteelt, champignonteelt en dergelijke). De handel en de agrarische industrie worden niet in de overwegingen betrokken. In hoofdstuk 4 wordt, omdat het hoofdstuk een illustratieve functie heeft, de begrenzing ingeperkt tot de akker.

Het onderzoek betreft organochemische stoffen specifiek in dienst van de landbouw. Het richt zich op de verdeling: als deze stoffen worden toegediend, welk gedeelte van de verbruikte hoeveelheid kan worden aangetroffen in de stromen:

- a. afbraak en desintegratie;
 - b. persistentie in de compartimenten;
 - produkt;
 - bodem;
 - grond- en drinkwater;
 - oppervlaktewater;
 - lucht;
 - omliggende percelen;
- en wat zijn de factoren die daarvoor bepalend zijn?

1.8 Indeling rapport

Dit rapport is een weergave van het bovengenoemde pilot-onderzoek. In het hierna volgende hoofdstuk wordt eerst uitleg gegeven betreffende de karakteristieken van de stoffen in kwestie, de organochemische stoffen die bij de landbouw in gebruik zijn. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de gedachtenvorming rond het hierboven genoemde raamwerk uiteengezet en worden de elementen in elkaar geschoven, waardoor het denkproces richting krijgt, uitmondend in een ideaal model als doelstelling: een Stofstromenmodel voor gewasbeschermingsmiddelen (SSM-gbm). In hoofdstuk 4 wordt een aanzet gegeven tot invulling van dit model. Omdat het bedrijfssysteem uit het raamwerk nogal omvangrijk is blijft deze invulling beperkt tot een onderdeel van het systeem, de akker. Allereerst worden de uit de literatuur bekende modellen onderzocht op bruikbaarheid voor het SSM-gbm. Vervolgens worden de processen die volgen op de toediening van het gewasbeschermingsmiddel, en die bepalend zijn voor de emissie, beschreven. Tenslotte wordt op basis van deze beschrijvingen een rekenblad ingevuld waarmee het tot stand komen van een verdelingsbalans van bestrijdingsmiddelen over de compartimenten wordt benaderd. Dit laatste is enerzijds een voorbeeld van wat een volledig uitgewerkt model uiteindelijk zou kunnen berekenen, anderzijds is het een onderzoeksmiddel, waarmee kan worden bekeken welke kennis en gege-

vens nodig zijn voor de invulling van het model. In hoofdstuk 5 worden de beschikbare gegevens in de databases van het LEI-DLO beschreven. Aan de hand van de vastgestelde gegevensbehoefte worden aanvullingen gesuggereerd vanuit databases van andere instituten. Tenslotte worden de aanvullingen die door het LEI-DLO reeds gepland zijn en enkele ontwikkelingen, die het gebruik en de aanvulling van de databases in een voor het model gunstige richting zullen stimuleren, genoemd. Hoofdstuk 6 geeft een evaluatie van de drie onderzoeksvragen: wat kan er met een SSM-gbm bereikt worden, welke kennis en welke gegevens ontbreken nog om de gewasbeschermingsmiddelen in stromen te kunnen modelleren en in hoeverre is het mogelijk, nodig en nuttig om de modellering te koppelen aan de reeds bestaande modellering van nutriëntenstromen? Het rapport wordt afgesloten met een samenvatting.

In de bijlagen worden gebruikte afkortingen en termen nader omschreven en wordt een lijst van aangehaalde literatuur gegeven.

2. CHEMISCHE STOFFEN IN DE AGRARISCHE SECTOR

2.1 Indeling agrochemische stoffen

Agrochemische stoffen worden in het productieproces van het agrarisch bedrijf veelal in de vorm van "middelen" gebruikt. Een "middel" is een mengsel van een aantal stoffen die in die samenstelling voor een bepaald doel kunnen worden ingezet. In die samenstelling, de zogenaamde "formulering", van zo'n middel wordt onderscheid gemaakt tussen hulpstoffen en actieve stoffen. NEFYTO, de grootste koepelorganisatie voor de ontwikkeling en handel van plantebescheringsstoffen, werkt met een lijst van zo'n drie- á vierhonderd actieve stoffen, maar het middelenbestand bevat zo'n zeventienhonderd middelen.

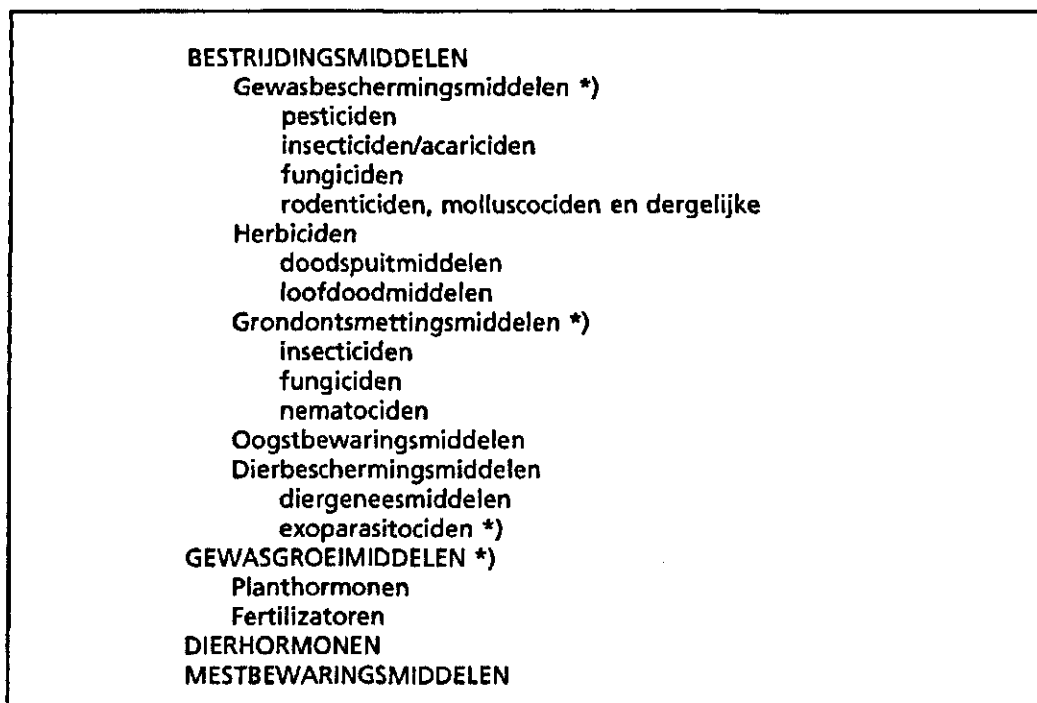
De hulpstoffen die in een middel door de fabrikant worden toegevoegd bepalen de bruikbaarheid en de wijze van toediening van het middel. Bijvoorbeeld: met behulp van een hulpstof kan een bepaalde actieve stof in het voedsel van vretende larven worden gebracht, terwijl een andere hulpstof dezelfde actieve stof in de luchtwegen van niet-vretende adulten brengt. De term hulpstoffen duidt op een zeer gevarieerd scala van stoffen: ze kunnen dienen voor de verhoging van oplosbaarheid van actieve stoffen, voor de vertraging van vervluchtiging, voor oppervlaktespanningverlaging zodat het middel beter uitvloeit op het blad, voor betere hechting aan het blad en vele andere doelen. Dit rapport gaat met name over de actieve stoffen, maar het is van belang op te merken dat ook de hulpstoffen (bijvoorbeeld detergentia) ecotoxicologische eigenschappen kunnen hebben (Lewis and Hamm, 1986; Nyberg, 1988), temeer daar deze stoffen doelbewust worden ingebracht vanwege de synergetische effecten met de actieve stoffen.

Een middel kan meerdere actieve stoffen bevatten. Ook is in verschillende formuleringen eenzelfde actieve stof inzetbaar tegen verschillende target-groepen en in verschillende toedieningswijzen. Om het middel te kunnen karakteriseren en in te delen is daarom de actieve stof niet de meest geëigende ingang. De wijze van toediening van een middel is in hoge mate bepalend voor de manier waarop actieve stof in het milieu komt. Indeling van de middelen, waarin die wijze van toediening tot uitdrukking komt, is dáárom belangrijk, omdat dan klassen kunnen worden onderscheiden waarvan de kenmerken invloed hebben op de emissie. Bijvoorbeeld: of een middel in de bodem of in het gewas wordt toegediend geeft niet alleen informatie over de plaats van de emissiebron, maar ook over de tijd van toediening, over de mogelijkheden te kiezen tussen preventief of curatief gebruik, enzovoort. Bij de indeling van actieve stoffen in het MJP-G zijn stoffen ingedeeld op basis van toepassingsgebied en groep te bestrijden organismen (target-groep). NEFYTO hanteert een indeling waarbij de stoffen worden ingedeeld per target-groep, waarbij iedere stof wordt ingedeeld in die groep waarin het grootste gedeelte van de toepassing plaatsvindt (P.B. van Tilburg, persoonlijke mededeling). Voor de handel is dat mogelijk de meest handzame indeling, voor de formulering van onderzoeksvragen is een meer gedetailleerde indeling noodzakelijk.

Een voorstel tot indeling wordt gegeven in figuur 2.1. Klasseringsvragen, waarop deze indeling gebaseerd is, zijn:

- wat is de reden van toepassing?
- wat is de plaats van toepassing?
- wat is de aanleiding van toepassing?
- wat is de target-groep?

Wanneer we de agrochemische stoffen op basis van deze vragen indelen wordt een klassering in vier niveaus verkregen, zoals getoond in figuur 2.1. Hierin is, bij wijze van voorbeeld, de overlap met het MJP-G uitgewerkt.



Figuur 2.1. Indeling Agrochemische stoffen

Plaatsbepaling van de verschillende, van het gebruik van de betreffende stof afgeleide, termen in het geheel van organochemische stoffen in gebruik bij de landbouw.

De met * gemerkte categorieën worden door MJP-G onder "gewasbeschermingsmiddelen" gerekend.

In figuur 2.1 is gebruik gemaakt van bestaande termen. "Bestrijdingsmiddelen", "gewasbeschermingsmiddelen" en "pesticiden" worden wel als synoniemen gebruikt, en daarover kunnen dus misverstanden ontstaan. Zorgvuldige terminologie is daarom belangrijk (het MJP-G maakt bijvoorbeeld geen onderscheid tussen gewasbeschermingsmiddelen en bestrijdingsmiddelen). Deze benaming, gekozen naar de letterlijke betekenis van de termen, geeft een onderscheidbare inhoud bij de begrippen, en kan daardoor deze spraakverwarring helpen voorkomen.

Desgewenst kunnen eventueel nog niveaus worden toegevoegd: bijvoorbeeld een niveau waarin de vorm van toediening aangeduid wordt (dampvorm, korrelvorm, vloeibaar), een niveau waarin de wijze van aangrijping tot uitdrukking komt (insecticiden in te delen in nervo-toxinen, gastrotaxinen en dergelijke), en een niveau waarin de chemische benaming van de stof(groep) wordt genoemd. De klassen genoemd in de verschillende niveaus zijn voorbeelden, en zouden op ieder niveau met andere voorbeelden kunnen worden aangevuld.

De koppeling naar andere indelingen kan geschieden via het "toelatingsnummer" van het middel. De CTB geeft ieder door de commercie aangeboden bestrijdingsmiddel bij toelating op de markt een nummer. De producent mag daarna onder dat nummer de receptuur en de gebruiksvorschriften niet meer wijzigen (Van Vliet (red.), 1992).

2.2 Gewasbescherming en milieu

Het boek "Silent Spring" van Rachel Carson uit 1962 was een aanklacht tegen het gebruik van bestrijdingsmiddelen (toen nog met nadruk op stoffen als DDT), en wordt algemeen aangemerkt als het begin van de milieubeweging, en van het massaal milieubewust worden van de westerse wereld. Met het terugdringen van deze stoffen en de (h)erkenning van andere milieuproblemen (zure regen, zware metalen, "global warming" en dergelijke) raakte het probleem van de gewasbeschermingsmiddelen wat op de achtergrond, en is pas betrekkelijk recent, in een wat meer geïntegreerde samenhang, weer in de belangstelling gekomen. Er moet iets gedaan worden aan het (te) hoge bestrijdingsmiddelengebruik in Nederland. Niemand beseft dat beter dan de boer, maar hij is daarvoor niet alleen verantwoordelijk of zelfs maar in staat (Sterrenburg, 1992). Dat het zover heeft kunnen komen daaraan is de consument tenminste medeschuldig, en de oplossing zal dan ook mede uit die hoek moeten worden ondersteund. De overschakeling naar milieuvriendelijker produktiemethoden heeft consequenties van mentale- en financiële aard voor zowel de producent als de consument (Klep, 1989).

Bestrijdingsmiddelen zijn milieuvervuilers bij uitstek. Het zijn stoffen die worden ontworpen om natuurelementen, die de (landbouw)productie nadelig kunnen beïnvloeden, zo efficiënt mogelijk te doden (Faasen, 1988). Een aantal ervan zijn stabiele verbindingen, die zich gemakkelijk in dood en levend organisch materiaal verspreiden, en daarbij compartimentsgrenzen gemakkelijk overschrijden. De wijze van toediening van met name gewasbeschermingsmiddelen (gbm) maakt deze verspreiding ook ruimtelijk betrekkelijk eenvoudig. Bij landdieren en longademende waterdieren (andere waterdieren blijken via de kieuwen en huid de stoffen tot op zekere hoogte naar het water te kunnen uitscheiden (Coats & O'Donnel-Jeffery, 1979; Bruggeman, 1985)) blijkt de concentratie van actieve stoffen uit gewasbeschermingsmiddelen in het lichaam door accumulatieverschijnselen hoge waarden te kunnen bereiken (Opperhuizen & Stokkel, 1988).

Plagorganismen worden door gewasbeschermingsmiddelen in principe gedood, of in andere zin in hun populatieontwikkeling geremd. Maar er is, aangenomen dat het op de meest effectieve manier wordt toegediend, altijd een klein deel van de populatie dat een behandeling met gewasbeschermingsmiddelen overleeft, omdat de dieren niet met een dodelijke dosis in aanraking komen. Dit kan zijn vanwege een gedragsaanpassing (bijvoorbeeld zich ophouden op plaatsen waar het middel minder goed doordringt) of een genetische aanpassing (een verhoogde weerstand tegen het middel) (Oppenoorth, 1987). Dit verschijnsel heeft twee kwalijke gevolgen: in de eerste plaats hebben de nakomelingen van deze individuen, wanneer deze in hun genen deze aanpassingen overnemen, een hoge weerstand tegen dat specifieke middel, en wordt de werking van het middel doorbroken. Daarin zit de moeilijke positie van de landbouwer: een "beetje" spuiten werkt averechts, het is veel spuiten of niet spuiten. In de tweede plaats maken plagorganismen die een behandeling met gewasbeschermingsmiddelen overleven een korte herstelperiode door waarin ze zich anders, meestal trager, maar in ieder geval opvallend gedragen. De natuurlijke predator van het organisme reageert daarop, krijgt daardoor buiten proporties veel actieve stof binnen en wordt selectief terug gedrongen (Kuiper, 1985; De Kort, 1987). Het terugdringen van natuurlijke predatoren is op zich ook al gevaarlijk in verband met secundaire plagontwikkeling: potentiële plagorganismen, die door predatoren worden afgeremd, ontwikkelen zich direct tot een nieuwe plaag als de predatoren wegvallen.

Daar komt nog bij dat het target-organisme heel vaak niet het meest gevoelige organisme voor een bepaald actieve stof is. Zeer regelmatig worden in aangrenzende of op andere wijze communicerende compartimenten bij veel lagere doseringen dan die op het veld plaatsvinden grote effecten waargenomen (Kooijman, 1987). Dit kan veroorzaakt zijn door accumulatieverschijnselen, maar

vaak is het ook een gevolg van een veel grotere gevoeligheid (Birmingham & Colman, 1983; Kumaguru & Beamish, 1981).

Het gebruik van deze middelen en daarmee de verspreiding in het milieu moet dus zo veel mogelijk beperkt worden. Dat kan gelukkig op vele manieren. In willekeurige volgorde en zeker niet uitputtend: vermindering van de stabiliteit van gewasbeschermingsmiddelen (verbieden van stabiele middelen), teelt van resistente- en tolerante rassen, verruiming van het bouwplan, snelle rotatie, mechanische- en fysieke gewasbescherming (bijvoorbeeld schoffelen, gewasisolatie), hergebruik van het drainagewater, verbetering van de spuitapparatuur, kiezen tussen curatief of preventief spuiten (met name een mogelijkheid tot beperking van verspoten volume), maar bovenal: verstandig gebruik! Geen van deze methoden is op zich afdoende, maar door de methoden te combineren kunnen "synergetische effecten" bereikt worden (Boerma & Hofmeester, 1992; Sterrenburg, 1992).

2.3 Stofeigenschappen

Bestrijdingsmiddelen (zie figuur 2.1) behoren, chemisch gezien, bij de organische microverontreinigingen, een groep van sluipende killers. Het probleem met dit soort stoffen is dat ze werken bij concentraties die niet of nauwelijks detecteerbaar zijn, en dus al helemaal niet zichtbaar (Karickhoff et al., 1979). Dat is enerzijds een probleem bij de motivatie om emissie te voorkomen: de verhouding tussen de enorme ruimte en de handvol gif die daarin wordt vrijgegeven gaat het voorstellingsvermogen, dat zo'n klein beetje zo'n groot effect heeft, te boven, en de verleiding medevervuilers een grote rol toe te schrijven is groot. Anderzijds is het ook een probleem bij de controle: je kunt niet zien wat er gebeurt, waar en wanneer het gebeurt en door wie, je ziet alleen de effecten, en de effectveroorzakende stoffen zijn slechts zelden terug te volgen naar de bron (Hrubec, 1988).

Onder de bedrijfstakken die organische microverontreinigingen emitteren zijn de (chemische) industrie en de land- en tuinbouw zonder meer de twee grootste. Bij de industriële emissie gaat het om een zeer gevarieerd scala van stoffen die in het algemeen, ongelukken daargelaten, in betrekkelijk kleine hoeveelheden vrijkomen. Bekende groepen van stoffen in dit verband zijn PCB's, PAK's en dioxinen. Bij de landbouw gaat het om een veel kleiner scala (minder dan vijf honderd verschillende stoffen), die echter wel in relatief grote hoeveelheden worden gebruikt (Wiederholm, 1984). En de wijze van toediening van gewasbeschermingsmiddelen rechtvaardigt de veronderstelling dat, afgezien van het zeer kleine gedeelte dat in het produkt terecht komt, het totale verbruik als een emissie naar het milieu kan worden gezien.

Verspreiding en persistentie van stoffen in het milieu hebben te maken met de chemische kenmerken van die stoffen (Swann et al., 1981). Organische microverontreinigingen hebben een aantal eigenschappen gemeen: in de eerste plaats zijn ze in het algemeen sterk tot extreem hydrofoob, dat wil zeggen de oplosbaarheid in water is slecht tot nihil en opneembaarheid in vet is groot tot extreem. Consequentie hiervan is dat de stoffen zich concentreren in een niet-waterige omgeving, organismaal weefsel of de organische fractie van bodemdeeltjes of sediment, en daaruit moeilijk uitspoelbaar zijn (Bruggeman et al., 1981; Gallassi & Migliavacci, 1986). Deze eigenschap bepaalt mede de schadelijkheid voor mens en dier: in kort tijdsbestek zijn deze stoffen in staat door te dringen tot in de cellen, waar zij de celstructuur dusdanig verstoren dat de cel sterft, en op langere termijn nestelen deze stoffen zich in vetweefsel, en komen massaal vrij op het moment dat het vet wordt aangesproken, bijvoorbeeld bij extra energiebehoefte ten behoeve van de voortplanting (Lal & Singh, 1987).

Vervolgens zijn organische microverontreinigingen toxisch. De giftigheid is vaak terug te voeren op een gelijkenis met stoffen die in levensprocessen een rol spelen. Enzymen die zich eraan hechten worden daardoor weggevangen, aange-

zien de reactie die bewerkt moet worden niet plaats vindt (Oppenoorth, 1987). Door deze eigenschap kan de toxiciteit sterk variëren in specificiteit: binnen de groep komen stoffen voor die gelijkenis hebben met een algemene stof die in elke levenscyclus voorkomt, en daardoor toxisch zijn voor elk organisme dat ermee in aanraking komt. Er zijn echter ook stoffen die gelijkenis vertonen met een stof die slechts in één orgaan van één soort organisme wordt aangemaakt, en daardoor slechts toxisch zijn voor dat specifieke organisme (Kooijman, 1985; Wynne, 1986).

En tenslotte zijn deze stoffen afbouwbaar, met name door afbraak, de biologische vorm van afbouw (tegenover desintegratie, afbouw door chemisch-fysische factoren als thermische energie en lichtenergie): het giftige molecuul breekt in kleinere onderdelen uiteen, waarbij de giftigheid gewoonlijk afneemt (maar niet altijd: sommige intermediären in de afbraak zijn zelfs giftiger dan het moederprodukt (Conrad and Olsen, 1992)), en waarbij energie kan vrijkomen die dan door micro-organismen benut kan worden (Krahn et al., 1984). De snelheid van de afbraak is afhankelijk van de enzymatische mogelijkheden van het micro-organisme om energie uit de stof vrij te krijgen en van de levensvoorwaarden van het organisme: temperatuur, vochtigheid, zuurstof en dergelijke (Fannin et al., 1981; Alexander, 1981).

De gemeenschappelijke eigenschappen van de stoffen leiden ertoe dat ze in de bodem en in organismen worden geconcentreerd in dezelfde fysieke ruimte. Wanneer dit gebeurt kunnen de effecten van de individueel gevaarlijke stoffen elkaar versterken zodanig dat het gezamenlijk effect (enkele malen) groter is dan de gesommeerde effecten van de deelnemende stoffen (synergetische effecten). Met name de combinatie van PCB's met DDT (respectievelijk een industrieel- en een landbouwgif!) is in dit opzicht berucht, en ze zijn mede om die reden inmiddels beide verboden (Halter & Johnson, 1974; Caron et al., 1985).

Bij de beoordeling van de milieubelasting door organische microverontreiniging die een bepaalde bedrijvigheid met zich meebrengt is het dus niet alleen belangrijk te weten hoeveel en wat er geëmitteerd wordt, maar ook waar, wanneer en waarnaartoe (in welke vorm) (Abel, 1980). In het industriële bedrijfsleven wordt dit op grote schaal, vrijwillig en opgelegd, aangepakt men behulp van milieuzorgsystemen (Ministerie VROM, 1989b). In de land- en (opengronds)tuinbouw is de opzet van zo'n milieuzorgsysteem veel moeilijker (maar niet onmogelijk), omdat de wijze van emissie naar zijn aard diffuus is, dat wil zeggen niet tot één punt terug te voeren ("non-point sources") (Faasen, 1988). Bovendien is de belasting sterk discontinu van aard en multicompartimenteel van opbouw (Reus, 1991). De tuinbouw onder glas staat wat betreft wijze van emissie tussen de industrie en de landbouw in.

In het MJP-G (Ministerie LNV, 1991) zijn maatregelen aangekondigd om de afhankelijkheid en het gebruik van de landbouw van gewasbeschermingsmiddelen te verminderen, en om de emissie en het gevaar van de geëmitteerde stoffen terug te brengen. Om deze maatregelen te effectueren is behoefte aan een integraal informatiesysteem, waarin enerzijds de economische en de milieu-effecten van de voorgenomen maatregelen kunnen worden ingeschat, en anderzijds de onderlinge afhankelijkheid van de verschillende emissie-stromen tot uitdrukking komt. Dit laatste om te voorkomen dat een afname in één stroom een toename in één of meer andere stromen veroorzaakt. Enige jaren geleden werd een dergelijk probleem bij de behandeling van nutriënten tegemoet getreden door de ontwikkeling van een Stofstromenmodel voor nutriënten (SSM-nut). Een soortgelijk model voor bestrijdingsmiddelen zou ook in de beoordeling en aanpak van de verschillende emissiestromen van gewasbeschermingsmiddelen vanuit de landbouw in een behoefte kunnen voorzien.

3. STOFSTROMEN OP BEDRIJFSNIVEAU

3.1 Inleiding

Om de aard, de omvang en de lokatie van het verbruik en de emissies van gewasbeschermingsmiddelen te beschrijven kan in principe worden volstaan met een schatting van het totale verbruik per middel op basis van bijvoorbeeld verkoopstatistieken van NEFYTO. Deze verbruiksschatting kan naar regio worden uitgesplitst op basis van de registratie van arealen van verschillende gewassen per regio. Uit dit totale verbruik kan de emissie worden berekend op basis van veronderstellingen over toedieningstechnieken en -tijdstippen. In het MJP-G is een dergelijke benadering gevolgd (zie Ministerie LNV, 1991 tabel 3.1, 3.2 p. 48, 49).

Ook voor een toekomstig jaar kan het verbruik en de emissie op deze wijze geschat worden, met behulp van scenarioberekeningen op basis van een schatting van het Nederlandse bouwplan in het betreffende jaar, het verwachte middelenverbruik per gewas en de wijze van toediening.

Een dergelijke benadering gaat echter voorbij aan de variatie tussen bedrijven. Variatie is waarneembaar in de beschrijving van de huidige bedrijfssituatie, maar ook in het gedrag van landbouwers. Vooral waar het gaat om reacties van ondernemers op allerlei ontwikkelingen en maatregelen is de variatie tussen bedrijven van belang. Gemiddeld genomen kan bijvoorbeeld het Nederlandse bouwplan zodanig zijn dat er geen behoefte is aan grondontsmettingsmiddelen. Maar achter dat gemiddelde liggen verschillende groepen bedrijven, sommige zeer intensief, andere meer extensief. Voor de ene groep is grondontsmetting vrijwel onontkoombaar, voor de andere groep lost ruime vruchtwisseling het probleem van ziektedruk op. Zouden grondontsmettingsmiddelen verboden worden dan zijn de gevolgen voor de intensieve bedrijven veel heftiger dan die voor de extensieve bedrijven. Parallel aan wijzigingen in het bouwplan en het middelenverbruik veranderen ook de kosten en de opbrengsten. Reacties van bedrijven zullen niet alleen samenhangen met de intensiteit van het bouwplan, maar ook met de bedrijfsomvang, de grondsoort, de ligging, de leeftijd van de ondernemer en dergelijke.

Een benadering die start op het bedrijfsniveau - het niveau waar beslissingen over de land- en tuinbouwproductie en over de bijbehorende inputs worden genomen - en die vervolgens de informatie over verbruik, kosten en emissies naar een hoger niveau aggregaat, geeft de mogelijkheid om de genoemde variatie tussen bedrijven wel in te brengen (Van der Veen et al., 1993). Het bezwaar van een dergelijke bottom-up benadering is dat vrij veel gedetailleerde informatie op bedrijfsniveau beschikbaar moet zijn. Uiteraard is het ondoenlijk om van de honderdtwintig duizend land- en tuinbouwbedrijven in Nederland afzonderlijk in te schatten wat het verbruik en de emissies zijn, nu en in de toekomst. Dat is ook niet nodig.

Van alle bedrijven is uit de landbouwtelling bekend wat het bouwplan is, hoe de veestapel is samengesteld, wat de leeftijd van de ondernemer is enzovoort. Verder is meer gedetailleerde informatie (zoals verbruik van gewasbeschermingsmiddelen) op bedrijfsniveau van 1.500 steekproefbedrijven beschikbaar in het LEI-boekhoudnet. Op basis van laatstgenoemde informatie kan per groep bedrijven een inschatting worden gemaakt van (wijzigingen in) het gebruik, van bijbehorende kosten en van emissies. Deze schattingen kunnen weer "losgelaten" worden op bedrijven in de landbouwtelling.

Er bestaan dus mogelijkheden om door een benadering die werkt vanaf het bedrijfsniveau naar hogere aggregatieniveaus (regio, sector, gewas) een betere onderbouwing te geven van het (verwacht) verbruik van gewasbeschermingsmiddelen en de bijbehorende emissies, kosten en opbrengsten.

Uiteraard moet worden nagegaan of de inspanning van deze meer gedetailleerde benadering opweegt tegen de resultaten die deze werkwijze kan opleveren. Voor de modellering van de emissies van nutriënten is deze benadering werkbaar en vruchtbaar gebleken (Van der Veen et al., 1993). Een belangrijk punt daarbij is dat informatie over emissie kan worden gebruikt als invoer voor modellen die emissies vanuit land- en tuinbouw vertalen in milieu-effecten. Door de modellering van land- en tuinbouwactiviteiten op een laag aggregatieniveau te laten aangrijpen ontstaat de mogelijkheid, onder andere via GIS, om informatie op ieder gewenst aggregatieniveau aan te leveren.

In dit onderzoek is, op basis van de hiervoor genoemde overwegingen, gekozen voor de benadering die op bedrijfsniveau start. Daarbij wordt voorlopig in het midden gelaten of het wenselijk is om alle honderdtwintig duizend land- en tuinbouwbedrijven expliciet door te rekenen of dat met een beperkte steekproef uit de landbouwtelling kan worden volstaan.

3.2 Stofstromen

Het probleem bij de vergelijking van de economische en de milieu-effecten van het productieproces is dat er in verschillende eenheden wordt gemeten: milieuschade is over het algemeen slecht in geld uit te drukken. Weliswaar geeft de Milieumeetlat voor Bestrijdingsmiddelen (Reus, 1991, 1992) een redelijk goede maat in de vergelijking van de milieu-effecten van verschillende middelen, maar het geeft geen integratie met investeringen en bedrijfsresultaten. Daarom is het ook moeilijk een kosten-baten analyse te geven voor milieumaatregelen (volgens Van der Veen et al., 1993). Milieumaatregelen kosten geld: investering in apparatuur, toevoeging van bepaalde grondstoffen, extra arbeidsinzet, onderhoud van extra apparatuur, en dergelijke. Aan de andere kant leveren milieumaatregelen ook winst op: besparing in grondstoffen en energie, soortendiversificatie buitengebied, afname corroderende werking buitenlucht, goedkopere waterzuivering, en dergelijke (Sun et al., 1992). De winsten zijn gedeeltelijk wel en gedeeltelijk niet in geld uit te drukken, en ze vallen deels binnen en deels buiten het landbouwbedrijf. Een van de instrumenten die de overheid ter beschikking staan om de milieuwinst en de noodzakelijke investeringen in bedrijfseconomische termen te vatten is het instellen van een systeem van regulerende heffingen en subsidies. Om de hoogte daarvan goed te kunnen vaststellen is een referentie naar de kosten van het beperken van de emissiestromen noodzakelijk (WRR, 1992; zie ook de Notitie Bedrijfsinterne Milieuzorg (Ministerie VROM, 1989b)). De benadering die, zoals boven beschreven, door het MJP-G wordt gevolgd biedt deze mogelijkheid van referentie niet, omdat uitgegaan wordt van vaste emissieverdeelsleutels over gewasopname, vervluchtiging enzovoort. Iedere maatregel heeft echter gevolgen op verschillende punten in het productieproces. Bovendien staat het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen op een bedrijf niet op zichzelf. Het is onderdeel van een productieproces waarin inputs en outputs in *samenhang* worden bepaald door de ondernemer, gegeven de produktiemogelijkheden en -beperkingen en zijn (economische) doelstellingen.

Een mogelijkheid tot het bieden van zo'n referentiekader is het opzetten van een stofstromenmodel voor de betreffende bedrijfstak. De idee van een stofstromenmodel is ontleend aan de ecologie, waar binnen een stabiel ecosysteem stoffen en energie circuleren. De stroom gewasbeschermingsmiddelen die het bedrijf binnenkomt en weer verlaat, is onderdeel van het totaal van stofstromen die door het bedrijf circuleren (mest, krachtvoer, diergeneesmiddelen, ruwvoer, gewasbeschermingsmiddelen, zaai-, plant- en pootgoed enzovoort). Een goede modelle-

ring van deze stofstromen geeft een sterke basis voor de modellering van stromen actieve stof in, door en uit het landbouwsysteem. Mede vanwege de interactie tussen het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen en de bemesting is ook voor de modellering van organochemische middelen gekozen voor een stofstromenbenadering. Voor nutriënten is een dergelijke benadering al uitgewerkt (Van der Veen et al., 1993).

In het algemeen is een stofstromenmodel een schematische weergave van een productieproces waarin aangegeven wordt welke materialen op welke plaats het proces binnenkomen en op welke plaats ze het proces weer verlaten, en in welke vorm. Het is direct gekoppeld aan de economie van productiebedrijven en wordt onder andere gebruikt bij het opsporen van (mogelijke) materiaallekken naar het milieu, en bij het bepalen van risicovolle handelingen (risico voor mens, milieu of kwaliteit). Tevens wordt het gebruikt bij de bepaling van de kostprijs per eenheid produkt, bij het opsporen van infrastructurele mankementen of ter verbetering van de efficiëntie van het materiaal gebruik. Daarmee staat een stofstromenmodel in het algemeen aan de basis van een milieu-, veiligheids- of kwaliteitszorgsysteem (volgens Mushak and Piver, 1992). Een te bouwen stromenmodel voor bestrijdingsmiddelen moet worden toegesneden op het agrarisch productieproces en moet inzicht gaan verschaffen over vragen betreffende verbruik, verliesposten en kosten-baten analyses, en kan mogelijk ook informatie geven betreffende vragen over efficiëntie van toedieningsmethoden en over keteneffecten.

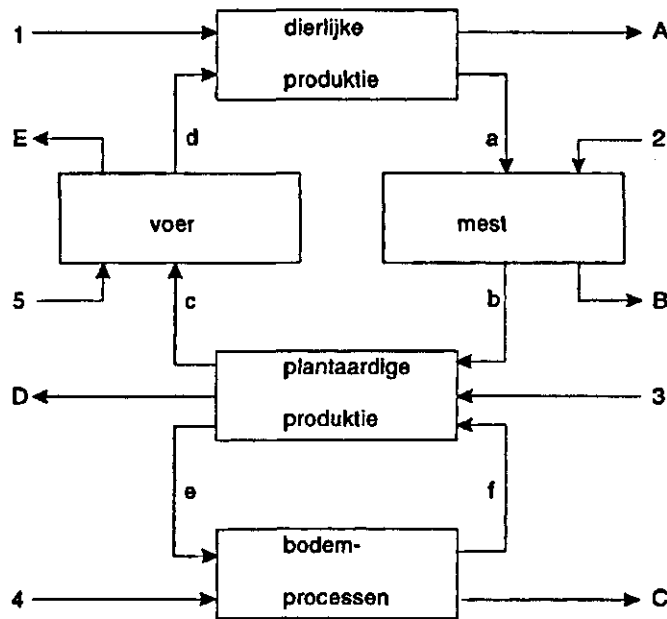
De basale stofstroom, en zonder meer de grootste, op het agrarisch bedrijf is de stroom van organisch materiaal. Andere stofstromen worden, vaak zelfs letterlijk, ingebouwd in deze stroom en "draaien daarin mee". De stroom van gewasbeschermingsmiddelen heeft al heel lang de belangstelling van met name de milieubeweging. Verder krijgen belangrijke stromen als die van nutriënten, zware metalen en energie(dragers) veel aandacht. Een compleet Stofstromenmodel (SSM) voor het agrarisch bedrijf zal al deze stromen integraal gaan bevatten. Er is echter nog een lange weg te gaan voordat (om maar één van de toepassingen te noemen) bepaald kan worden wat de milieu-impact is van een bepaald produkt op de acht thema's van het NMP, en deze kan worden afgezet tegen de impact van een alternatief produkt. Het opzetten van modellen voor de deelstromen, zoals het Nutriëntenstromenmodel (Van der Veen et al., 1993), kan het inzicht in een bepaalde stroom vergroten, maar interacties met andere stromen blijven buiten beeld, hoewel vooraf duidelijk is dat die er (moeten) zijn. Bijvoorbeeld: bedrijfsaanpassingen om aan milieu-eisen op het gebied van nutriënten te voldoen zullen ook het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen en energie beïnvloeden. Om ook deze interacties in kaart te (kunnen) brengen is het nodig de deelmodellen zoveel mogelijk op dezelfde manier op te bouwen, zodat een integratie, waarmee interacties zichtbaar worden, tussen twee of meer deelstromen betrekkelijk eenvoudig is aan te brengen. Een op het SSM-nut geïnspireerd SSM-gbm is een stap in die richting.

3.3 Het landbouwsysteem

Bij het ontwerpen van stofstromenmodellen zoekt men naar ontsnappingspunten en karakterisering van verliesstromen. Materiaalefficiëntie wordt betracht wanneer men mogelijkheden vindt deze verliesstromen via een cyclus weer in het proces terug te brengen. Het basispatroon van stofstromen op het landbouwbedrijf kan worden weergegeven als in figuur 3.1.

Deze systeemweergave is in principe de weergave van het denkmodel betreffende de basale stofstroom van het landbouwbedrijf: de organische stofstroom. In dit denkmodel organische stofstromen (SSM-org) worden twee productieprocessen aan elkaar gekoppeld via het (afval)produkt mest en het (bij)produkt voer. Beide processen zijn, oorspronkelijk, geheel van elkaar afhankelijk, terwijl de plantaardige productie daarnaast ook afhankelijk is van omzettingsprocessen in de bodem.

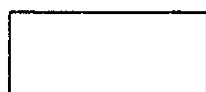
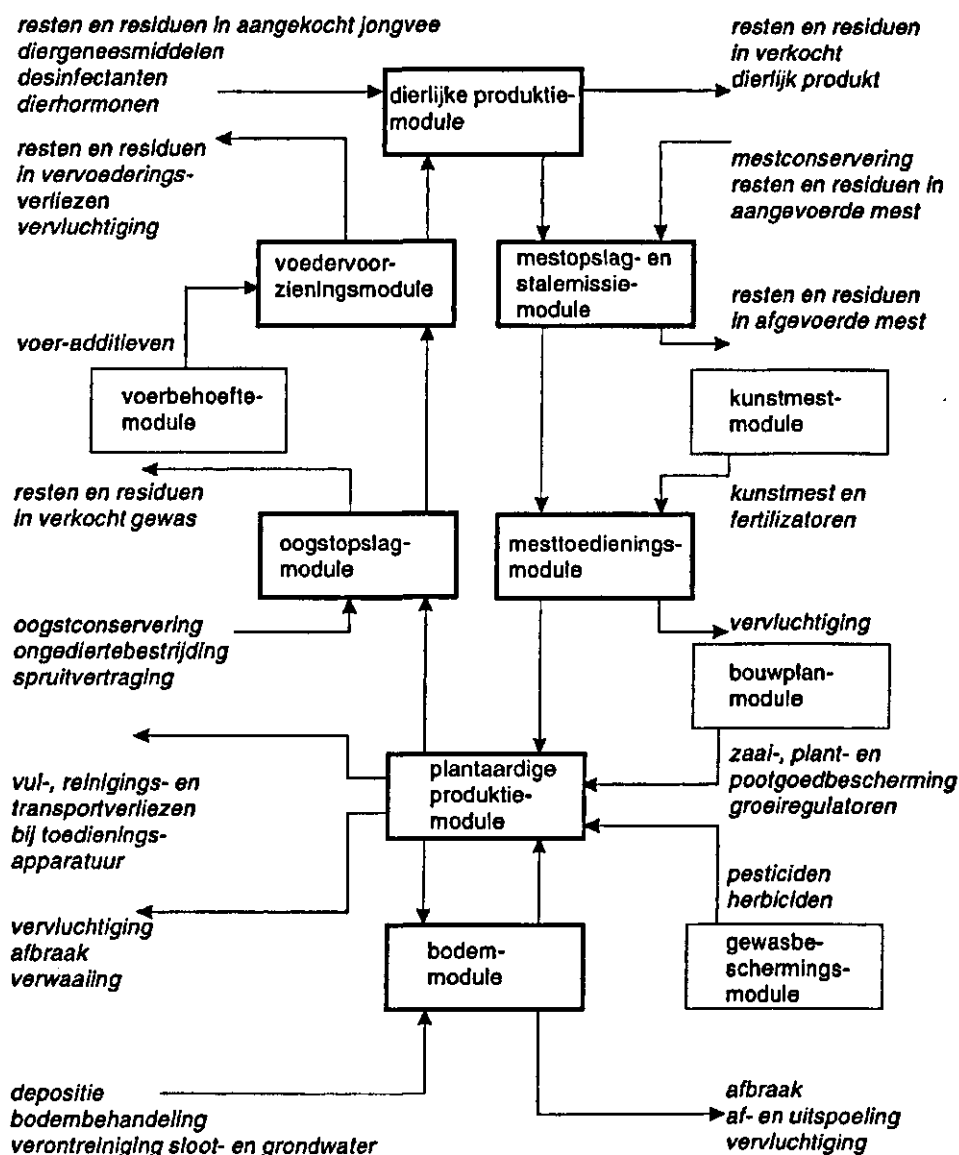
De kracht voor de produktie van dierlijke en plantaardige goederen is gelegen in het feit van externe inputstromen: (zonne)energie, water en vastlegging van atmosferisch koolzuur. Het is dus niet een gesloten systeem, en dat betekent dat er ook lekstromen kunnen optreden. Om de produktiekracht te verhogen worden artificiële input-stromen toegevoegd. Als de input-stroom echter groter is dan de mogelijkheden tot verwerking in de cyclus, ontstaat automatisch een output-stroom, waarvan tenminste een deel gekarakteriseerd moet worden als verlies-stroom.



Figuur 3.1 Basis-stroommodel landbouwbedrijf. Voor verklaring zie tekst

Zonder nu verder te diep in te gaan op het SSM-org kan gesteld worden dat het, zo al mogelijk, niet nuttig is een SSM-gbm te tekenen buiten het SSM-org om: net als het SSM-nut draait het SSM-gbm mee in de stromen van het SSM-org. Een van de doelen van dit onderzoek is te bekijken of het SSM-gbm het best zelfstandig of gekoppeld aan het SSM-nut kan draaien.

De blokken in figuur 3.1 zijn "zwarte dozen" waarin de inputstromen (1 - 5) samenkomen met de interne stromen (a - f) en zich verdelen over de outputstromen (A - E). De letters en cijfers staan per stuk voor een "uitgang uit het blok" en kunnen dus geheel verschillende stromen bevatten. Zo staan in interne stroom e (van plantaardige produktie naar bodemprocessen) onder andere de stromen "oogstverliezen", "afstromend regenwater" en "overschot insecticiden". Deze vermengen zich met externe inputstroom 4 (waaronder capillair water en grondontsmettingsmiddelen), er vindt afbraak van actieve stof en plantaardig materiaal plaats, en de materie verdeelt zich over interne stroom f (opgenomen water, opgenomen N en residuen van gewasbeschermingsmiddelen) en externe outputstroom C die dezelfde produkten afvoert naar grond- en oppervlaktewater, maar tevens vluchtige afbraakprodukten (gewasbeschermingsmiddelen en -residuen, N_2 , NH_3) afvoert naar de lucht. In dit geval bestaat de externe outputstroom dus in z'n geheel uit verliesstromen, maar dat is niet altijd het geval: externe outputstroom A bevat bijna uitsluitend verkocht produkt en stroom D bevat een mengsel: verkocht gewas en oogst- en transportverliezen, verdrijving en dergelijke. In deze cyclusweergave is het gemengd bedrijf herkenbaar, maar het systeem kan ook worden toegepast op het zuivere akkerbouw- of zuivere veeteeltbedrijf. Bij deze bedrijven, in de cyclus geplaatst, worden enkele cyclus-interne lijnen bedrijfs-externe lijnen.



beslissingsmodule: aan de hand van in- en externe factoren wordt beslist wat de inflow in het systeem zal zijn.



verdelingsmodule: aan de hand van in- en externe factoren wordt bepaald hoeveel materiaal in het systeem blijft en hoeveel aan het systeem onttrokken wordt c.q. zich aan het systeem onttrekt.

Figuur 3.2 STOFSTROMENMODEL: Agrochemische stoffen in de organische stofstromen

In figuur 3.2 wordt de bedrijfscyclus uit figuur 3.1 nader gespecificeerd. Er is aangesloten bij de schematisering die wordt gebruikt ten behoeve van het SSM-nut (Van der Veen et al., 1993). De aan- en afvoerposten hebben specifiek betrekking op chemische beschermingsmiddelen. Verder zijn in dit schema ten opzichte van het schema in figuur 3.1 een aantal aanpassingen doorgevoerd. In de eerste plaats zijn de "blokken" vervangen door "modules". Dit is om aan te geven dat er wordt toegewerkt naar een rekenmodel. De aaneenschakeling van modules vormt de rekenkundige benadering van de stofstroom door het bedrijf: waar een "blok" in figuur 1 staat voor een samenhangende set van handelingen en processen, de beschrijvende benadering, staat een "module" in figuur 3.2 voor een samenhangende set van data en relaties, een rekenkundige benadering dus.

In de tweede plaats zijn er twee soorten modules: een verdelingsmodule in de cyclus en een beslissingsmodule buiten de cyclus. Een verdelingsmodule is zuiver rekenkundig: aan de hand van de huidige stand van de wetenschap, techniek en gegevens worden de inkomende stromen volgens een vaste verhouding verdeeld over de uitgaande stromen. Niet-materiële stromen zijn niet ingetekend, maar het is duidelijk dat iedere module werkt op basis van een voortdurende stroom van gegevens. De verdeling kan slechts wijzigen ten gevolge van externe factoren: een nieuwe techniek, een beter inzicht en dergelijke. Een beslissingsmodule heeft geen materiële input, doch slechts de wensen, doelen en plannen van de landbouwer en de informatie die hem ter beschikking staat. In de gewasbeschermingsmodule wordt het beslissingsgedrag van de boer beschreven aan de hand van weer-, bodem-, mest- en bouwplangegevens, risico-inschattingen en leveringsverplichtingen hoeveel gewasbeschermingsmiddelen hij gaat gebruiken, en hoeveel kan worden vervangen door mechanische methoden.

Tenslotte zijn de vijf blokken uit figuur 3.1 in figuur 3.2 weergegeven in zeven verdelingsmodules. In het uiteindelijke simulatiemodel zal dit aantal waarschijnlijk nog uitgebreid worden.

3.4 De grenzen van het systeem

De grenzen van het systeem zijn dezelfde als in SSM-nut (Van der Veen et al., 1993). Het landbouwsysteem wordt beschreven als dat deel van de ruimte dat in principe door de boer beïnvloedbaar is. Omdat echter het SSM-nut het landbouwbedrijf beschrijft met vooral het veeteeltbedrijf als achtergrond, en het SSM-gbm deze complete cyclus invult voor bestrijdingsmiddelen, is het goed een nadere precisering te geven.

In horizontaal opzicht wordt een bedrijf begrensd door andere bedrijven, wegen, sloten en dergelijke, doch die wegen, bermen, sloten, slootkanten, hagen en bossen, met andere woorden alles wat géén cultuurland is valt buiten het systeem, zodat bestrijdingsmiddelen die daarin terecht komen als emissie vanuit het systeem kunnen worden beschouwd. (Dit geldt ook als dit soort elementen binnen de uiterste (juridische) begrenzing van het bedrijf liggen.)

In verticaal opzicht moet een onder- en een bovengrens gesteld worden. Dezelfde argumenten die de ondergrens bij het SSM-nut bepalen gelden ook voor stromen van gewasbeschermingsmiddelen. Beluchting van de bodem (bijvoorbeeld door middel van ploegen) en gewaskeuze hebben ook invloed op de in de bodem opgeslagen actieve stof uit gewasbeschermingsmiddelen, zij het op een andere wijze dan nutriënten: ze beïnvloeden de afbraak (Wood, 1982; Tu, 1988). Daarom kan voor de ondergrens eveneens de bewortelde zone genomen worden. Voor de bovengrens wordt in het SSM-nut de hoogte van het gewas gebruikt. Daar echter gewasbeschermingsmiddelen van boven op het gewas kunnen worden gespoten, en de extra emissie die daardoor ontstaat door de toediener kan worden beïnvloed (tijdstipkeuze, niet spuiten bij ongunstige wind) (Berends, 1988; Hanegraaf et al., 1992) moet in het SSM-gbm de bovengrens gesteld worden op spuithoogte, zodat gewasbeschermingsmiddel dat verdrift boven het gewas als emissie vanuit

het systeem kan worden beschouwd (Davis et al., 1993). Als echter aan de wortelvoet wordt gespoten, en het gewas dus boven de spuithoogte uitsteekt blijft de bovengrens de gewashoogte. Voor het SSM-nut zal dit geen verschil maken, daar toediening van bemesting vrijwel altijd op of beneden gewashoogte zal zijn.

Alle bestrijdingsmiddelen die van buiten deze grenzen in onverpakte vorm binnenkomen moeten gezien worden als toediening dan wel immissie. Onder toediening wordt verstaan alle vormen van bewuste verspreiding binnen het bedrijfssysteem, van injectienaald tot vliegtuigbesproeiing. Bij immissie kan gedacht worden aan stromen als depositie uit verwaaiing van naastgelegen percelen en verontreiniging in grond- en slootwater. Alle stromen van bestrijdingsmiddelen of residuen die, nadat zij binnen het systeem zijn geweest, op enigerlei wijze buiten de systeemgrenzen raken, hetzij horizontaal (afspoeling) hetzij verticaal (uitspoeling tot onder de wortelzone of verwaaiing en vervluchtiging naar de lucht) moeten gezien worden als afval- dan wel emissiestroom. Onder afvalstroom wordt verstaan het bewust en verantwoord verzamelen en ter verwerking aanbieden van verontreinigd materiaal (lege fusten, afgevoerd dompelbad- of spoelwater), emissiestromen zijn stromen die ongecontroleerd het systeem verlaten. Met enige nadruk wordt gewezen op het feit dat binnenbrengen in het systeem plaatsvindt nadat de fabrieksverpakking verbroken wordt: anders zou bijvoorbeeld doorverkoop van bestrijdingsmiddel onder afvalstromen vallen.

3.5 De vorm van het model waarnaar wordt toegewerkt

Het simulatiemodel zoals dat hier beoogd wordt is een model dat berekeningen uitvoert op bedrijfsniveau. In het algemeen zijn in het model drie delen te onderscheiden: een invoerdeel, een rekendeel (het eigenlijke SSM) en een uitvoerdeel (de resultaten). Het invoerdeel is op zich weer te onderscheiden in een bedrijfsafhankelijk en een bedrijfsonafhankelijk onderdeel.

Het bedrijfsafhankelijke invoeronderdeel voert de bedrijfsafhankelijke variabelen, afkomstig uit de registratie- en boekhoudgegevensbanken in het model in. Deze gegevens zijn in principe verschillend voor elk te onderscheiden bedrijf. Ook omgevingsfactoren, zoals weersgegevens, zullen door dit onderdeel worden ingevoerd.

Het bedrijfsonafhankelijke invoeronderdeel voert de bedrijfsonafhankelijke variabelen, bestaande uit technische coëfficiënten (stofkenmerken, gewasgroeigegevens en dergelijke) en variabelen die één of meerdere scenario's aangeven, in het model in. De voor de berekening benodigde technische coëfficiënten, die in principe constant zullen zijn, worden door het invoerdeel uit de achter het model liggende databases opgezocht.

In het rekendeel bevinden zich uit het onderzoek afkomstige rekenkundige benaderingen van de stofstromen. In die benadering komt de wederzijdse beïnvloeding van bedrijfskenmerken en het gedrag van landbouwers, van opbouw van concentraties van gewasbeschermingsmiddelen in plantaardige- en dierlijke producten en van gedrag van stoffen in het milieu, tot uiting.

Het uitvoerdeel tenslotte bestaat uit een combinatie van bedrijfsgegevens en gegevens betreffende de emissies en de afbraak, zoals dit ook door Van der Veen et al. (1993) is gedaan.

Vanaf bedrijfsniveau kunnen resultaten door aggregatie tot op elk gewenst niveau (regio, gemeente, provincie) worden berekend. De emissiegegevens kunnen worden gebruikt als input voor aan het model te koppelen milieu-kwaliteitsmodellen (bijvoorbeeld expositiemodellen voor zoetwaterorganismen: Sloopbox-model (Linders et al., 1990)).

3.6 Taakgebied van het onderzoek

Reeds eerder (figuur 2.1) is vastgesteld dat de taakgebieden van het MJP-G en van dit onderzoek niet naadloos op elkaar aansluiten. Het hierboven voorgestelde systeem omvat in principe alle chemische hulp- en beschermingsstoffen die in het agrarisch productieproces worden aangewend. Het MJP-G ziet zijn taakgebied enerzijds breder, doordat ook biotische middelen worden ingesloten, en doordat ook niet-agrarisch gebruik (Openbaar Groen) wordt bekeken, en anderzijds smaller vanwege de uitsluiting van systemische geneesmiddelen, en het negeren van mestbehandelingsmiddelen (beide groepen zijn, hoewel gering in volume, belangrijk in verband met microbiële activiteit in de bodem).

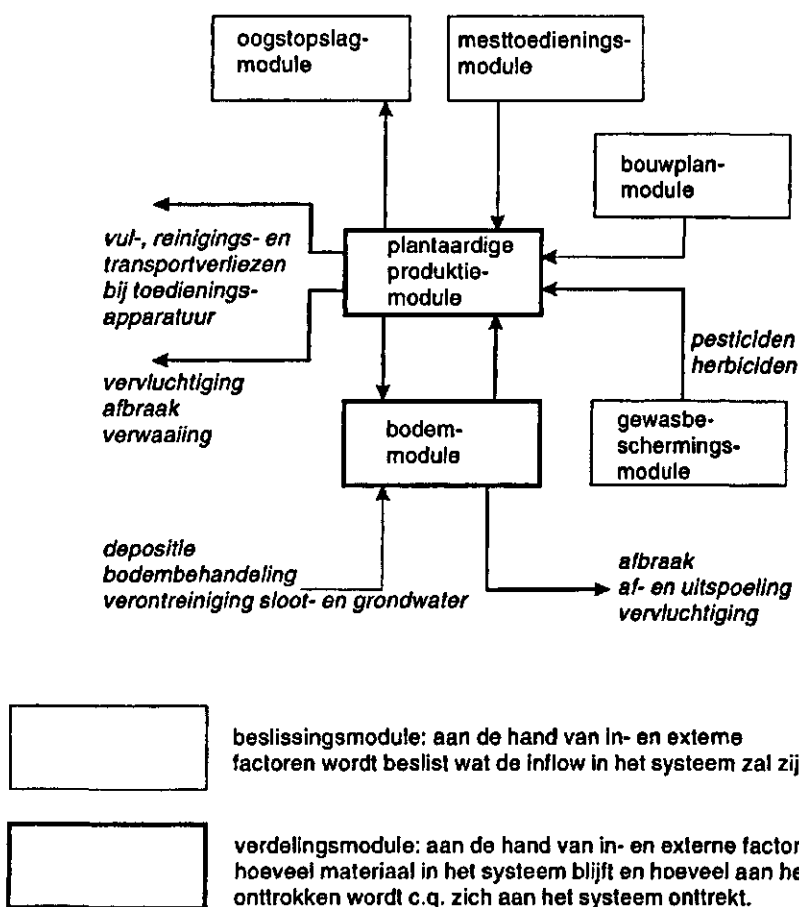
Gekozen werd dan ook prioriteit te geven aan het gebied waar overlap optreedt: chemische middelen die worden toegediend ter bescherming of stimulering van het te velde staande of opgeslagen plantaardig produkt. Een bijkomende reden hiervoor is dat van de milieu-effecten van dier- en mestbehandelingsmiddelen (nog) erg weinig bekend is (Van Gool, 1993).

4. MODELONDERZOEK

4.1 Afbakening

De scope van dit hoofdstuk beperkt zich tot een klein, maar belangrijk gedeelte van het bedrijfssysteem zoals dat in het vorige hoofdstuk is gedefinieerd: de akker. De akker is bij uitstek de plaats waar interactie tussen verschillende stofstromen plaatsvindt: hier komen de stromen van nutriënten van zware metalen en van bestrijdingsmiddelen samen en hebben hun individueel en gezamenlijk effect op het bodemleven en op de produktie.

Voor zover mogelijk wordt de stroom gewasbeschermingsmiddelen in figuur 3.2 vanaf de GEWASBESCHERMINGSMODULE, zoals in figuur 4.1 vet aangegeven, gevolgd.



Figuur 4.1 Stroom van gewasbeschermingsmiddelen door het akkergedeelte van het landbouw-bedrijfssysteem

Aan de hand van deze stroom zal een analyse van de beschikbare literatuur worden gedaan. Er zijn een aantal modellen ontwikkeld die (gedeelten van) de stroom beschrijven. Er kunnen binnen deze stroom deelstromen worden onderscheiden, die ieder uit één of meer processen bestaan. De verdeling van de actieve stof zoals die ten gevolge van die processen in de deelstromen tot stand komt zal worden bekeken aan de hand van gegevens en relaties zoals beschreven in de

genoemde modellen. Dit enerzijds om te onderzoeken welke gegevens bekend zijn en waar en op welke wijze er aanvullingen moeten worden gezocht, en anderzijds om te tonen hoe een model dat gegevens uit zowel de technische als de bedrijfseconomische sfeer betreft en verwerkt er zou kunnen gaan uitzien.

4.2 Modellen, hun input en hun output

4.2.1 Algemeen

Rekenkundige relaties, voor zover bekend, zijn gewoonlijk vastgelegd in handboeken of in modelbeschrijvende publikaties. De betekenis van het begrip "model" kan variëren van een samenhangend theoretisch geheel, inclusief verhoudingen gebaseerd op coëfficiënten en rekenrelaties, tot nauwelijks meer dan een vuistregel: één verhouding (percentage) tussen toediening en emissiestroom, gebaseerd op schattingen uit de praktijk zonder theoretische achtergrond. Er wordt gewoonlijk gerekend aan één emissiestroom, en andere stromen worden genegeerd, of wel herkend maar niet in de berekening opgenomen (Boehnke et al., 1990). Deze modellen zijn het voorlopige uitgangsmateriaal waaruit het SSM-gbm gebouwd zal moeten worden. Idealiter zal het SSM uiteindelijk bestaan uit modules die, geheel of gedeeltelijk, als zelfstandig model zijn ontwikkeld.

De vastgelegde relaties zijn niet altijd en voor alle gevallen betrouwbaar: het is eigen aan modelontwikkeling dat de te beschrijven realiteit een complexiteit kent die in een model niet gevolgd kan worden (en (meestal) zelfs geheel niet gewenst is, omdat een te ingewikkeld model niet meer te overzien of te controleren is, terwijl een eenvoudiger model aan het doel van de ontwikkelaar voldoet). Er moet daarom sterk gesimplificeerd worden en daarbij worden soms belangrijke factoren en relaties (bewust en onbewust) over het hoofd gezien. Onbewust als de factor niet als zodanig herkend wordt, bewust als de factor voor het compartiment waarvoor, of waarnaartoe men modelleert niet van belang geacht wordt (bij Boesten & Van der Linden (1991) ontbreekt bijvoorbeeld het compartiment "bodemplucht" geheel), of als er geen gegevens over beschikbaar zijn (volgens Smith & Aubin, 1993).

De output van een model kan principieel nooit beter (dat wil zeggen in volledigheid, accuraatheid en betrouwbaarheid) zijn dan de inputgegevens. Als het gebrek aan goede gegevens oorzaak is van de onzekerheid bij de inschatting van de relatie (Hanegraaf et al., 1992), is het in principe mogelijk met betere gegevens een meer accurate inschatting te geven. Ook als de inschatting, na erkenning van de zwakte van de gegevens, neerkomt op een "educated guess" (zie bijvoorbeeld Berends, 1988; Van Vliet (red.), 1992) kan deze verbeterd worden men behulp van betere gegevens. Er kan dan gebruik worden gemaakt van de overwegingen die tot de eerste inschatting leidden: een "more educated guess" dus (zie bijvoorbeeld Linders et al., 1990; Reus, 1991, 1992).

4.2.2 Immissie- en emissiemodellen

Stroombeschrijvende modellen zijn op grond van het gezichtspunt vanwaaruit geredeneerd wordt te verdelen in immissiemodellen en emissiemodellen. Een immissiemodel legt in de beschrijving van het compartiment of systeem waarvoor het modelleert de nadruk op inkomende stromen, hoe ze het systeem binnenkomen en hoe ze binnen het systeem verwerkt worden. Hoe en waar de inkomende stromen ontstaan is slechts van belang in zoverre deze gegevens bepalend zijn voor de wijze waarop de stroom het te beschrijven systeem binnenkomt. In emissiemodellen ligt de nadruk op de beschrijving van processen die uitgaande stromen genereren. Wanneer dus een immissiemodel en een emissiemodel dezelfde stroom beschrijven, is de beschrijving als emissiestroom noodzakelijkerwijs veel gedetailleerder dan in het immissiemodel.

De hierna te bespreken modellen zijn in het algemeen gemaakt om een immissie in kaart te brengen. Dat betekent dat ze een compartiment buiten het landbouwsysteem centraal stellen. Er wordt berekend hoeveel van het bestrijdingsmiddel uit het landbouwsysteem in dat ene compartiment overgaat, volgens welke route, en hoeveel tijd daarmee gemoeid is. Een immissiestroom naar een bepaald compartiment kan echter binnen het landbouwsysteem bestaan uit enkele stromen die niet noodzakelijkerwijs gekoppeld zijn. Zo onderscheidt Sloopbox (Linders et al., 1990) als immissiestromen naar het oppervlaktewater depositie vanuit de lucht, horizontale instroom, te onderscheiden in diffuse belasting en puntbelasting, en verontreinigde kwel. Hoe en onder welke omstandigheden deze stromen tot stand komen wordt echter nauwelijks behandeld, er wordt slechts aangegeven welke handelingen voor de stromen verantwoordelijk zijn: of en in welke mate depositie vanuit de lucht gegenereerd wordt door verwaaiing, verfluchtiging of verdamping is voor Sloopbox van geen belang.

Als output geven de modellen dus concentraties buiten het landbouwsysteem, gebaseerd op volumeschattingen in routes binnen het systeem. Deze volumeschattingen vormen de basis voor de routemodellerings binnen het SSM. Concentraties binnen het systeem, berekend door een module, kunnen door een volgende module als input worden gebruikt. Voorbeeld: de interceptie van gewasbeschermingsmiddel door het gewas, berekend uit gegevens betreffende de toediening, is een aftrekpost tussen toediening en bodemadsorptie, en de input voor de Module "Gewasopslag" (zie 4.5 pagina 44/45).

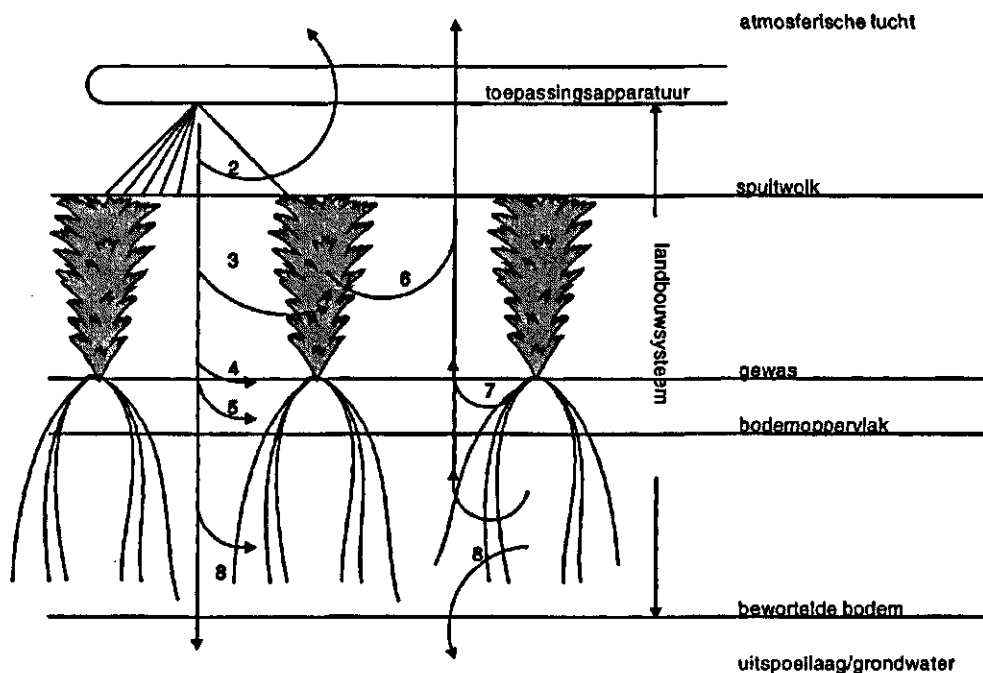
4.2.3 Selectiestrategie voor bouwstenen voor het Stofstromenmodel

Het zoeken van bouwstenen voor het SSM beslaat vier fasen: 1) uit het denkmodel van hoofdstuk 3 moeten de stromen benoemd worden die in SSM gemodelleerd dienen te worden, 2) uit publikaties moeten modellen geselecteerd worden die deze stromen modelleren, 3) uit analyse van die modellen kan worden afgeleid welke gegevens als input benodigd zijn, en 4) analyse van deze inputbehoefte moet uitwijzen welke van deze gegevens kunnen worden afgelezen uit databestanden als de Bedrijven Databank LEI-DLO (BDL) (maar ook uit andere databestanden), en welke gegevens moeten worden berekend in andere modules (volgens de Groot & Murk, 1986).

Voor de te selecteren relaties geldt als eis dat ze:

- de stroom binnen het landbouwsysteem (3.4) oppakken;
- een berekend gedeelte van die stroom in tenminste één compartiment een bestemming toebedelen;
- achterhaalbare factoren voor de berekening gebruiken;
- duidelijk zijn in wat er met de rest van de stroom gebeurt.

De deelstromen in het akkergedeelte van het SSM zijn weergegeven in figuur 4.2. De verticale grenzen, als in 3.4 gesteld, zijn ingetekend. De inkomende stroom verdeelt zich over een aantal "compartimenten": allereerst verwaait een gedeelte van het middel nog voordat het in contact met het gewas is gekomen. Van het overblijvend volume komt een (groot) gedeelte op het gewas. Een deel daarvan adsorbeert aan het bladoppervlak, een ander deel druppelt van het blad af of loopt via de stam van het gewas (stemflow) af naar het bodemoppervlak, waar het zich mengt met het gedeelte dat direct op de bodem terecht komt. Van dit volume loopt een deel, al dan niet via een drainagesysteem, af naar het oppervlaktewater (run-off), een gedeelte adsorbeert aan bodemdeeltjes in het bodemoppervlak, en een gedeelte wordt in het bodemwater meegevoerd naar de bewortelde zone. In de bewortelde zone kan de actieve stof door ad- of absorptie in de wortels worden opgenomen, het kan worden geadsorbeerd aan bodemdeeltjes of het kan uitspoelen naar het grondwater. Op het bladoppervlak, het bodemoppervlak en in de bewortelde zone treedt afbraak op, en zowel de intacte actieve stof als de afbraakprodukten daarvan verdampen en verfluchtigen voor een gedeelte naar de atmosferische lucht.



Figuur 4.2 Compartimenten en stromen bij toediening gewasbeschermingsmiddelen op de akker

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1. - afbraak (niet ingetekend) | 5. - adsorptie aan bouwvoormateriaal |
| 2. - verwaaiing tijdens toediening | 6. - vervluchtiging vanaf gewas |
| 3. - adsorptie aan geoogst gewas | 7. - vervluchtiging vanaf bodemoppervlak |
| 4. - afspoeling naar oppervlaktewater | 8. - bodemprocessen (uitspoeling naar grondwater, adsorptie, afbraak) |

Binnen het landbouwsysteem is op de akker een module(complex) nodig die het verband legt tussen het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen, de tijd en de afvoer van gewasbeschermingsmiddelen in:

- afbraak;
- verwaaiing tijdens de toediening;
- adsorptie aan het geoogst gewas;
- afspoeling naar het oppervlaktewater;
- adsorptie aan het bouwvoormateriaal;
- vervluchtiging vanaf het gewas;
- vervluchtiging vanaf het bodemoppervlak;
- uitspoeling naar het grondwater.

4.3 De beschreven stromen in de modellen

In de literatuur zijn verwijzingen gevonden naar modellen die het gedrag van actieve stoffen in de verschillende compartimenten beschrijven. De waarde van deze modellen (voor een breed overzicht zie Cohen, 1986; Van der Heide, 1988) zal onderzocht worden. De modellen die hier geselecteerd zijn beschrijven het ontstaan van concentraties ten gevolge van één of meer van de volgende immissiestromen:

- gbm-depositie na verwaaiingsemissie naar de lucht;
- gbm-concentratie na verwaaiing/afspoeling naar het oppervlaktewater;
- gbm-verdunning in het grondwater na uitspoeling.

Er is een emissiemodel betreffende:

- gbm-concentratieverdeling in de bouw voor (de dunne oppervlaktelaag van de bodem) direct na toediening;
- gbm-concentratie in de bodem één jaar na toediening.

schermingsmiddel de bodem bereikt. Het model rekent namelijk met een standaard toediening, waarbij van het gewasbeschermingsmiddel 1 kg/ha in de bodem terecht komt. Ook wordt uitdrukkelijk gezegd dat gasvormig transport (H -waarde $> 10^{-5}$), zowel in de lucht als in de bodem, niet in de berekeningen wordt meegenomen. Er wordt echter wel aangegeven dat aanpassing van het model voor dit doel mogelijk is.

Kortom: PESTLA is een model dat de routes 5 en 8 uit figuur 4.2 beschrijft. Bij benadering is dat de verdelingsmodule "Bodemprocessen" uit figuur 3.2, en het is daarom potentieel van grote waarde voor het SSM. Voor zover het nog niet volledig is kan het op eenvoudige wijze gecompleteerd worden. De gegevens benodigd voor input zijn:

stofgegevens: H -waarde, DT_{50} , K_{om} ;

toedieningsgegevens: bodemdoserings actieve stof;

bedrijfsgegevens: bodem-organisch stofgehalte, bodemwatergehalte;

klimaatgegevens: neerslagoverschot;

hetgeen leidt tot output:

uitspoeling bovenste grondwater;

geadsorbeerd aan bouwvoormateriaal;

afbraak in de bodem.

Van de Berg et al. (1990) geven in een immissiebenadering een uitwerking van PESTLA. Hun doel is de concentratie actieve stof in, voor drinkwaterbereiding opgepompt, diep grondwater. Daarom worden slechts een beperkt aantal gebieden bekeken, met name zandgebieden, maar er wordt een kansberekening bij betrokken voor het al dan niet bereiken van de bodem door gewasbeschermingsmiddel. In die kansberekening zit het gewas, het teeltareaal, de toedieningsfrequentie en de kans dat het betreffende middel wordt toegediend. De berekeningen geven een overschatting, omdat er (bewust, omdat er geen inzicht in is) geen rekening wordt gehouden met interceptie van het gewas, drift en andere toedieningsverliezen, omzetting op of boven de bodem en vervluchtiging. Ook wordt erop gewezen dat de constante factoren: bodemtype, organisch stofgehalte, neerslag, bodemtemperatuur en verdamping, grondwaterspiegel en gewaswaterverbruik, in de praktijk niet constant zijn, en een grote invloed kunnen hebben.

Kortom: dit model geeft geen extra inputreductie of extra output. Het is een milieukwaliteitsmodel dat eventueel later achter het SSM gehangen kan worden om de uitspoeling om te rekenen naar drinkwaterkwaliteit. Wel worden heel expliciet factoren gesuggereerd die moeten worden berekend voordat de ruwe gegevens in PESTLA kunnen worden ingebracht.

4.3.4 Vervluchtiging van gewasbeschermingsmiddelen vanaf bodem en gewas

Voor de vervluchtiging is nog geen model gevonden. Het kan echter nooit moeilijk zijn om vanuit een Henry's Law constante (H) een vervluchtigingssnelheid te berekenen. Buurveld et al. (1988) geven een berekening van de afvoersnelheid van vervluchtigde bestrijdingsmiddelen (in dit geval grondontsmettingsmiddelen), in relatie tot windsnelheid. Daarbij wordt berekend de verdunning in de lucht en de afgelegde afstand. Omdat er slechts gerekend wordt met actieve stof die reeds in de lucht vrijgekomen is, is deze methode ook toepasbaar voor op andere wijze in de lucht vrijgekomen gewasbeschermingsmiddel.

Er wordt ook een berekening van de bronsterkte gegeven. Deze berekening is echter alleen toepasbaar voor grondontsmettingsmiddelen waarbij geen gewas op het veld aanwezig is.

4.3.5 Samenvatting deelstroombeschrijving in de beschreven modellen

De deelstromen uit figuur 4.2 worden dus verspreid door de geheel of gedeeltelijk beschreven modellen. Per deelstroom geeft dat het volgende beeld:

deelstroom 1 (afbraak) wordt beschreven in PESTLA (Van der Linden en Boesten, 1989) voor wat betreft afbraak in de bodem. Uitgaande van de gegeven DT_{50} en een standaard organisch gehalte in de bouwvoor, temperatuur, vochtigheid en zuurstofbeschikbaarheid kan een omzettingssnelheid worden bepaald. Afbraaksnelheden op het blad en in de plant (systemische middelen, door de plant via bladoppervlak en/of wortels opgenomen) worden op een onduidelijke wijze beschreven bij Van Vliet (red.), (1992);

deelstroom 2 (verwaaiing) wordt beschreven door Berends (1988) en Linders et al. (1990). Daar het in deze modellen om immissiestromen gaat en er wordt uitgegaan van een "worst-case" benadering, wordt gerekend met een volumepercentage per type toedieningsapparatuur en worden factoren die op de verwaaiing invloed hebben niet in de berekening betrokken;

deelstroom 3 (gewas-adsorptie) wordt in geen van de modellen afdoende beschreven. De CTB gaat in haar risicoschatting voor gewasetende (wilde) dieren uit van een dosering die op het gewas wordt aangebracht, verrekend met een halfwaardetijd (Van Vliet (red.), 1992). Zowel de gewasdosering als de gebruikte halfwaardetijd zijn echter van onduidelijke herkomst;

van *deelstroom 4 (afspoeling)* wordt geen beschrijving gegeven, doch slechts een belofte dat een modellering zo spoedig mogelijk zal worden opgezet (Linders et al., 1990; Reus, 1991, 1992);

deelstroom 5 (bouwvooradsorptie) wordt beschreven in PESTLA (Van der Linden en Boesten, 1989). Uitgaande van de gegeven K_{om} en een standaard organisch gehalte in de bouwvoor kan worden berekend hoeveel van de toegediende dosering onder standaardcondities (temperatuur, bodemvochtigheid) aan de bodemdeeltjes wordt vastgelegd. Onduidelijk blijft echter hoeveel van de op het gewas toegediende dosering ook daadwerkelijk op de bodem terecht komt (PESTLA gaat uit van een standaard van 1 kg/ha);

voor *deelstroom 6 (gewasvervluchtiging)* is geen modelbeschrijving gevonden;

voor *deelstroom 7 (bouwvoorvervluchtiging)* is een bronsterkteberekening te vinden bij Buurveld et al. (1988). Zij werken met vluchtige grondontsmettingsmiddelen, en gaan dus uit van de veronderstelling dat er geen gewas op het veld staat. De afvoer van vervluchtigde actieve stof beïnvloedt de vervluchtiging volgens een evenwichtsreactie, en gewas verlaagt de afvoersnelheid. Bij aanwezigheid van gewas zal dus nog een correctie moeten worden aangebracht;

deelstroom 8 (uitspoeling) wordt beschreven door PESTLA (Van der Linden en Boesten, 1989) en door Van de Berg et al. (1990). PESTLA berekent de uitspoeling aan de hand van standaardcondities, waarbij Van de Berg et al. een aantal kritische en relevante kanttekeningen plaatsen. De factoren die genoemd worden dienen bij de modellering een belangrijke relativerende rol te spelen.

4.4 Beschreven processen in de deelstromen

De in de vorig paragraaf besproken modellen vallen voor een groot deel buiten het gedefinieerde landbouwsysteem. Bovendien worden deelstromen vanuit dit systeem in die modellen gecombineerd. Dit heeft tot gevolg dat de beschrijvingen van de stromen zoals weergegeven in figuur 4.2 slechts onderdelen van de beschreven modellen bevatten.

In figuur 4.3 zijn de deelstromen uit figuur 4.2 weergegeven als ketens van processen. Het verloop van deze processen is afhankelijk van de aard van het middel, de toedieningswijze, klimatologische factoren en het substraat waarmee contact wordt gemaakt (gewas, bodem, lucht). Er is uitgegaan van goede landbouwkundige praktijk, en stromen als afvoer van lek- en spoelwater en afvoer van lege fusten zijn niet als emissiestroom opgenomen: deze worden verondersteld in de afvalstroom terecht te komen. Er zijn vanaf de toediening van gewasbeschermingsmiddel op het gewas drie stromen te beschrijven: naar de lucht, naar het gewas en naar de bouwvoor.

De stroom naar de lucht verdwijnt in principe direct uit het landbouwsysteem, maar wanneer gekozen wordt voor een kleine spuitdruppel waardoor de spuitnevel zeer traag tussen het gewas uitzakt, zou de vervluchtiging van actieve stof uit de druppel voordat het gewas bereikt is van enige betekenis kunnen zijn. Strikt genomen is dat een vervluchtiging vanuit het systeem, maar voor de eenvoud van de toch al ingewikkelde figuur wordt vervluchtiging vanuit de druppels gesitueerd buiten het systeem, na verwaaiing.

De stroom naar het gewas verdeelt zich over drie deelstromen: wederom naar de lucht, via vervluchtiging vanaf het bladoppervlak, naar het gewas, door ad- en absorptie aan het bladmateriaal en naar de bouwvoor ten gevolge van afdruppelen van een overschot aan middel. Afhankelijk van de stof en de plant wordt de actieve stof op het bladoppervlak in het blad opgenomen (systemische middelen) of vastgelegd in de bladhuid. In beide gevallen wordt de stof in de loop der tijd afgebroken.

De stroom naar de bouwvoor verdeelt zich eveneens over drie deelstromen: wederom naar de lucht via vervluchtiging, naar het oppervlaktewater via run-off en naar de wortelzone door inspoeling. In de wortelzone zijn er vervolgens weer drie mogelijkheden: de actieve stof kan via de wortels door de plant worden opgenomen en als systemisch middel haar werk doen, de actieve stof kan worden geadsorbeerd aan bodemdeeltjes of de actieve stof kan via het neerslagoverschot worden afgevoerd naar het grondwater. Zowel geadsorbeerd aan bodemdeeltjes als tijdens het uitspoelen in de waterfase kunnen bestrijdingsmiddelen het bodemleven ernstig verstoren.

In deze paragraaf wordt een poging gedaan om, aan de hand van delen van de besproken modellen en relaties uit de literatuur (met name enkele hoofdstukken uit het Handbook of Chemical Property Estimation Methods), deze processen te beschrijven en te combineren tot een verdelingsmodule ("Plantaardige Productie" uit figuur 3.2) waarmee kan worden nagegaan hoe de verdeling tot stand komt.

4.4.1 Afbraak

Van afbraak kan inderdaad gezegd worden dat vrijwel 100% van de toegediende stof in deze "stroom" terecht komt. Er wordt wel gesuggereerd dat bepaalde vormen van ad- of absorptie afbraak verhinderen, omdat de stof niet meer biobeschikbaar zou zijn (Hasset & Anderson, 1979; Smith & Aubin, 1993). In dat geval is echter het agrarisch/milieukundig effect gelijk aan afbraak. Uiteindelijk wordt alles afgebroken, het is slechts een kwestie van tijd. Na zes halfwaardetijden is nog 1,5% van de oorspronkelijke hoeveelheid actieve stof over (Hanegraaf et al., 1992). Hoelang dat duurt is geheel afhankelijk van de DT_{50} (bijvoorbeeld: van een gift van 2 kg actieve stof met een DT_{50} van twee maanden is na twaalf maanden nog 30 g aantoonbaar). Maar wáár dit restant gebleven is, hoe het verspreid is, hoe het verdeeld is, is afhankelijk van het gedrag van de stof in het milieu, van de wijze waarop het gewasbeschermingsmiddel werd toegediend en van de omstandigheden in de tijd tussen toediening en waarneming.

Op het benaderen van een grootheid als de DT_{50} als een vaste waarde is genoeg af te dingen. De DT_{50} is in hoge mate afhankelijk van de activiteit van micro-organismen. Deze activiteit is sterk afhankelijk van omstandigheden als temperatuur, substraat, zuurgraad, aanwezigheid van voedingsstoffen, beschikbaarheid van zuurstof enzovoort. (Alexander, 1981), en wanneer afbraak op het gewasoppervlak wordt vergeleken met afbraak in de bodem, dan zijn de omstandigheden zo verschillend dat het onlogisch is te veronderstellen dat de afbraak vergelijkbaar zou zijn. De DT_{50} wordt veelal gegeven voor afbraak in de bodem, maar ook binnen dat compartiment kunnen grote variaties optreden: in de eerste plaats blijkt de microbiële activiteit sterk beïnvloed te worden door bodemvochtigheid, temperatuur en nutriënten, kortom hoezeer wordt de ideale groeitoestand van het micro-organisme benaderd (Scow, 1982; Capri & Walker, 1993). In de tweede plaats

blijkt dat bodemsystemen zich aan een bepaalde stof kunnen adapteren: met name bij grondbehandeling wordt geklaagd dat een hoeveelheid die vroeger bescherming bood voor bijvoorbeeld drie maanden, tegenwoordig reeds na twee weken uit de bodem verdwenen is (Wood, 1987). Dit is een vorm van resistentie-ontwikkeling, hetgeen als zeer bezwaarlijk wordt gezien (Salomons & Stol, 1992). In de derde plaats worden veel stoffen afgebroken in co-metabolisatie, dat wil zeggen twee of meer soorten micro-organismen werken samen in de afbraak van één stof (Richards & Shieh, 1986). Als één van de deelnemende soorten in die samenwerking niet aanwezig is heeft dat uiteraard grote gevolgen voor de DT_{50} .

Desalniettemin zal de DT_{50} hier voorlopig toch als een vaste waarde worden gebruikt. En dat niet omdat bovenstaande bezwaren niet serieus te nemen zijn, maar voor de eenvoud van het model. Er moet vanuit worden gegaan dat de door de CTB gepubliceerde DT_{50} 's goede gemiddelden zijn voor wat er in de Nederlandse bodems gebeurt: er is niets beters. Mocht dat in de toekomst veranderen dan zal die verandering in het model moeten doorwerken.

Dit betekent dat er hier gekozen wordt voor een DT_{50} -afhankelijke factor per compartiment: per compartiment worden de DT_{50} en de verblijftijd met elkaar verrekend. De minder gecompliceerde rekenwijze wordt afgewezen: één DT_{50} toegepast op de totale verblijftijd in alle compartimenten is niet meer hanteerbaar op het moment dat de differentiatie in DT_{50} 's kan worden gehonoreerd.

De berekening van de afbraak zelf is eenvoudig:

$$hwt_i = (md - di) / DT_{50,i} \quad (1)$$

$$ast_{i,md} = ast_{i,0} * 0.5^{hwt_i} \quad (2)$$

waarin: ast_{md} = actieve stof op de meetdag in het compartiment aanwezig
 ast_0 = actieve stof in het compartiment direct na toediening
 hwt = aantal halfwaardetijden sinds intreding in compartiment
 md = meetdagnummer
 di = dagnummer intreden gbm in compartiment
 DT_{50} = halfwaardetijd uitgedrukt in dagen
 i = het betreffende compartiment

De hoeveelheid actieve stof die in deze "route" terecht komt is gelijk aan:

$$afbraak = ast_0 - ast_{md} \quad (3)$$

4.4.2 Verwaaiing tijdens de toediening

Verwaaiing treedt op tijdens de vlucht die de spuitdruppel aflegt tussen spuitkop ("nozzle") en de target, dat is in vrijwel alle gevallen het gewas. Afhankelijk van het type spuitapparatuur dat gebruikt wordt krijgt de druppel een zekere omvang en snelheid mee. Hoe kleiner de druppel hoe meer tijd nodig is voor het uitzakken van de spuitwolk. Tijdens het uitzakken heeft de wind de gelegenheid aan die wolk een horizontale snelheid te geven (Ministerie LNV, 1990a). De horizontale snelheid tenslotte bepaalt hoeveel van het langs de benedenwindse zijde van het veld verspoten middel de target niet bereikt, maar buiten het veld terecht komt ten gevolge van verwaaiing (Davis et al., 1993). Hoeveel de factoren spuitdruk, spuitkoptype, spuitafstand, windsnelheid en afstand tot de rand van het veld bijdragen is echter onbekend (Berends, 1989). Voor percentages van de toegediende hoeveelheid actieve stof wordt vooralsnog uitgegaan van de tabel uit Linders et al. (1990):

vliegtuigtoediening	100%	
fruitteelt	10%	
standaardspuiten	5%	
aardappel, granen	2%	
kale grond	1%	
kasteelt	0,1%	(4)

Hier moet verder onderzoek duidelijk een nadere precisering bewerken (volgens Trevisan et al., 1993). Een literatuuronderzoek (Pompe et al., 1992) gaf aan dat met name luchtondersteuning tijdens de toediening belangrijke reductie van de drift kan bewerken. Ook de dichtheid van het gewas bleek van invloed op de drift (in een onderzoek bewerkte luchtondersteuning 50% driftreductie op kale grond en 90% reductie bij gesloten gewasdek). Andere factoren die van invloed bleken te zijn waren de druk van de luchtondersteuning, de hoogte van de sproei-boom boven het gewas en de hoek waaronder het middel uit de spuitkop geblazen werd ten opzichte van de luchtsnelheid rondom de sproeiboom (gegenereerd door zowel wind als rijsnelheid).

4.4.3 Adsorptie aan het geoogst gewas (interceptie)

Van interceptie door het gewas is nog geen goed beeld te vormen. Afgezien van het gedeelte dat door bacteriën, schimmels en zonlicht wordt afgebouwd, wordt interceptie, gedefinieerd als dat gedeelte van de dosering dat op of in de bovengrondse delen van het gewas vastgehouden wordt, als geheel afgevoerd in geoogst gewas. Adsorptie, het fysisch-chemische proces dat aan interceptie ten grondslag ligt, vanuit een waterige oplossing is een snel proces (Zheng et al., 1993), en dus kan gesteld worden dat de actieve stof van het gewasbeschermingsmiddel dat het gewas bereikt geheel voor adsorptie beschikbaar is. Adsorptie wijzigt de activiteit en de biobeschikbaarheid van de actieve stof (Scow, 1982; Birmingham & Colman, 1983), en wijzigt dus de DT_{50} . Interceptie is ook het proces waarlangs systemische middelen door het blad geabsorbeerd worden. Adsorptie aan het bladoppervlak leidt dan tot absorptie in de oppervlaktecellen.

Er zijn twee processen die adsorptie voorkomen: vervluchtiging en afdruppelen. Als de H-waarde te hoog is vervluchtigt de actieve stof uit de druppel voordat adsorptie kan plaatsvinden. Als de spuitdruppel om verwaaiingsredenen wat grover wordt gehouden, treedt er in het gewas geen werveling in de spuitwolk op, waardoor de onderkant van het blad niet bereikt wordt (Ministerie LNV, 1990a). De druppels die het gewas wel bereiken zullen voor een groot gedeelte door hun eigen gewicht van de niet-horizontale delen afdruppelen naar de bodem. Bij regen tijdens of vlak na het spuiten treedt dit effect ook op bij kleine druppels: door de hoge luchtvochtigheid sluiten de op het oppervlak verdeelde druppels zich aaneen en spoelen af.

Het is echter (nog) niet geheel duidelijk hoeveel van het verspoten volume gewasbeschermingsmiddel op het gewas terecht komt en erop blijft liggen. Als factoren die daarop van invloed zijn kan gedacht worden aan de wijze van spuiten (boven het gewas, in het gewas of aan de wortelvoet), de druppelgrootte (kleine druppels verdelen zich gemakkelijk over het gewas en geven een goede hechting, grote druppels druppelen voor een groot gedeelte naar de bodem af) en de bodembedekkingsgraad (gewashoogte * gewasdichtheid). De inschatting van deze factoren is niet bekend. De interceptie-factor I , het percentage van het spuitvolume dat op het gewasoppervlak wordt vastgehouden, zal daarom volgens een aanname worden ingeschat:

$$I = \text{bodembedekking} * \text{spuitdruppelhechting} \quad (5)$$

De mate waarin een stof zich verdeelt tussen de oplossing en aanhechting aan organisch materiaal wordt bepaald door verschillende fysische en chemische

eigenschappen van zowel de stof als het adsorberend oppervlak (Karickhoff et al., 1979). De affiniteit voor organisch materiaal door adsorptie kan worden uitgedrukt in een parameter, K_{oc} , die onafhankelijk is van de overige eigenschappen van dit materiaal (levend of dood, in de bodem of in het gewas) (Kenaga & Goring, 1980). Deze parameter, een zogenaamde partitie-coëfficiënt, is de verhouding tussen de hoeveelheid geadsorbeerde stof per gram organische koolstof aanwezig in het adsorberend oppervlak en de hoeveelheid stof die in oplossing achterblijft,

$$\text{in formulevorm: } K_{oc} = \frac{\mu\text{g geads stof/g org koolst}}{\mu\text{g opgel stof/ml oplosmiddel}} \quad (6)$$

en is per stof als een vaste waarde te bepalen (Lyman, 1982; Van der Heide, 1988). Andere partitie-coëfficiënten in de literatuur zijn direct met de K_{oc} te koppelen:

$$K_{om} = 0.58 K_{oc} \quad (7)$$

$$\log P_{oct} = 1.39 \log K_{oc} - 0.9 \quad (8)$$

De hoeveelheid actieve stof die op het gewas achterblijft is dus afhankelijk van de hoeveelheid actieve stof per liter spuitvloeistof (C_{gbm}), het percentage van die spuitvloeistof dat door het gewas wordt opgevangen (I), het organisch koolstofgehalte van het gewas ($f_{oc, \text{gewas}}$) en de coëfficiënt (K_{oc}), in formule:

$$\frac{\text{gewasadsorptie}}{\text{kg gewas}} = C_{\text{gewas}} = K_{oc} * C_{gbm} * f_{oc, \text{gewas}} * I \quad (9)$$

Uit de definitie van de K_{oc} is af te leiden dat, wanneer de op het gewas aanbrechte hoeveelheid spuitvloeistof is ingedampt tot volume 0 de volledige hoeveelheid actieve stof in de door het gewas gevangen liters gewasbeschermingsmiddel wordt geadsorbeerd. Dan blijkt de verdunning met water slechts een tijdelijke zaak, en wordt de hoeveelheid gewasbeschermingsmiddel dat op het gewas achterblijft bepaald door de uitgereden hoeveelheid gewasbeschermingsmiddel en de interceptiefactor:

$$\text{gewasadsorptie (kg/ha)} = \text{hoeveelheid gbm} * \text{gehalte ast} * I \quad (10a)$$

$$= C_{gbm} * \text{spuitvolume} * I \quad (10b)$$

4.4.4 Afspoeling naar het oppervlaktewater

Afspoeling ("run-off") bestaat uit twee "compartimenten": de concentratie gewasbeschermingsmiddel in het aflopend water en het aan meegevoerd bodem-materiaal geadsorbeerde gewasbeschermingsmiddel (volgens Bruggeman et al., 1985). Factoren die geacht kunnen worden de run-off te beïnvloeden zijn de bodemdichtheid, de accidentering van de akker, al dan niet aanwezige drainage, en de adsorptietijd tussen toediening van het gewasbeschermingsmiddel en de eerstvolgende regenbui. Er zijn voor de Nederlandse situatie geen run-off modellen voor gewasbeschermingsmiddelen gevonden. Verklaring daarvoor is dat het Nederlandse landbouwareaal zo horizontaal wordt geacht dat run-off niet plaatsvindt (Berends, 1989), en dat er vlak voor een zware regenbui niet zal worden gespoten. Deze argumenten zijn aanvechtbaar, maar de run-off factor wordt desalniettemin, bij gebrek aan gegevens, op 0 gesteld.

4.4.5 Adsorptie aan het bouwvoormateriaal

De bouwvoor onderscheidt zich van de bewortelde bodem door een hoge bodemlucht/bodemvochtverhouding en een hoog gehalte organisch materiaal (Salomons & Stol, 1992). Analoom met de gewasadsorptie is de verdeling van actieve stof tussen het vast en vloeibaar gedeelte van het bouwvoormateriaal afhankelijk van het organisch koolstofgehalte in de bodem, de adsorptiecoëfficiënt, de concentratie actieve stof in de spuitvloeistof en de hoeveelheid vloeistof die op de bodem terecht komt. Dat betekent dat de concentratie gewasbeschermingsmiddel in het bouwvoormateriaal uit vier gegevens is te berekenen:

$$C_{\text{bodem}} = C_{\text{gbm}} * K_{\text{oc}} * f_{\text{oc}} * D \quad (11)$$

waarin C_{bodem} = concentratie gbm in bouwvoormateriaal ($\mu\text{g gbm/g bodem}$)
 C_{gbm} = concentratie gbm in spuitvloeistof ($\mu\text{g/l}$)
 f_{oc} = gehalte organisch koolstof in het bouwvoormateriaal (kg/kg)
 D = doorslagfactor (= 1 - verwaaiing - interceptie)

Anders dan in het gewas verdwijnt het water van de spuitvloeistof niet in eerste instantie door verdamping, maar door opname via capillairwerking in de bodem, waardoor vervluchtiging ten opzichte van adsorptie veel minder kans krijgt (McCall et al., 1981).

4.4.6 Vervluchtiging 1) vanaf het gewas

Eenmaal geadsorbeerd wordt een stof geacht niet meer in gasfase over te gaan. Dit is niet helemaal reëel, maar verdamping vanuit droge geadsorbeerde toestand is verwaarloosbaar ten opzichte van afbouw van de actieve stof op het bladoppervlak (Pompe et al., 1992). Zolang echter de dragervloeistof niet geheel verdampt is kan de actieve stof vanuit opgeloste toestand naar de lucht ontsnappen. Of dit ook werkelijk gebeurt is afhankelijk van de H-waarde: stoffen met een $H < 10^{-7} \text{ atm.m}^3/\text{mol}$ zijn niet vluchtig. Bij deze H-waarde is de vervluchtigingssnelheid trager dan de verdampingssnelheid van water (Yurteri et al., 1987). De concentratie van actieve stof in de druppel neemt daarom snel toe, en de actieve stof wordt aan het water onttrokken ten gevolge van adsorptie. Bij hogere H-waarden vervluchtigt de stof met een snelheid afhankelijk van het molecuulgewicht, de H-waarde en de (absolute) temperatuur (de invloed van de laatste is zeer gering) (Thomas, 1982a). Bij vervluchtiging neemt de concentratie actieve stof in de druppel dus af, en aangezien adsorptie een evenwichtsproces is neemt deze even snel af als de concentratie van actieve stof. Als de concentratie de waarde 0 bereikt voordat het water is verdampt treedt dus ook geen adsorptie op. Vervluchtiging vanuit de druppel kan worden tegengegaan door als hulpstof minerale oliën toe te voegen (Pompe et al., 1992).

Vanaf het gewas (dat wil zeggen vanuit water) geldt:

$$\text{vloeistofuitwisselingscoëfficiënt:} \quad k_l = 20 * (44 / M)^{1/2} \quad (12)$$

$$\text{gasuitwisselingscoëfficiënt:} \quad k_g = 3000 * (18 / M)^{1/2} \quad (13)$$

1) Verdamping = het uit vaste of vloeibare vorm in gasvorm overgaan van een stof; vervluchtiging = het in gasvorm overgaan van de opgeloste stof.
De termen zijn verwarend, omdat nadat de dragervloeistof, meestal water, is verdampt de actieve stof ook zelf kan verdampen. Het MJP-G maakt geen onderscheid en gebruikt de termen door elkaar.

$$\text{massa-overdrachtscoëfficiënt:} \quad K_L = \frac{(H/RT) * k_g * k_i}{(H/RT) * k_g + k_i} \quad (14)$$

$$\text{flux:} \quad N = K_L * C \quad (15)$$

waarin M = molecuulgewicht
 H = Henry's Law constante
 R = gasconstante $8.2 * 10^{-5} \text{ atm.m}^3/\text{mol.K}$
 T = absolute temperatuur ($x \text{ } ^\circ\text{C} = (x + 273) \text{ K}$)
 C = concentratie gbm in spuitvloeistof

Gezien de geringe invloed van de (absolute) temperatuur wordt gewoonlijk uitgegaan van een standaardtemperatuur ($20 \text{ } ^\circ\text{C}$), waarbij de factor RT de waarde 0.024 heeft (Thomas, 1982a). Flux wordt gegeven in gram vervluchtiging per seconde per cm^2 bespoten bladoppervlak.

Uit bovenstaande formules wordt duidelijk dat actieve stof met een $H > 10^{-7}$ uit het aanhangend water vervluchtigt naar de tussen het gewas hangende lucht voordat de plant drooggewaaid is. Met een met de flux evenredige snelheid diffundeert het naar de atmosferische lucht boven het gewas en verlaat het systeem. De 100% emissie naar de lucht wordt bereikt in een tijdsbestek in de orde van minuten tot uren (Boehnke et al., 1990). Op de schaal waarop dit model geacht wordt te werken betekent dit dat $H = 10^{-7}$ een omslagpunt vormt tussen gewasadSORPTIE en gewasvervluchtiging.

Voor het model is dus de fluxberekening niet belangrijk. Het wordt echter wel belangrijk wanneer een aansluiting wordt gezocht op modellen die de uit het systeem komende emissies evalueren. Met name de aansluiting met Buurveld et al. (1988) lijkt erg goed.

4.4.7 Vervluchtiging vanaf het bodemoppervlak

Vervluchtiging vanaf de bodem betreft slechts de grenslaag van bodem en lucht. Evenals bij gewasvervluchtiging kan, zolang de draagvloeistof niet geheel verdampt of in capillairen opgenomen is, de actieve stof vanuit opgeloste toestand naar de lucht ontsnappen (Thomas, 1982b). In de bodem treden allerlei adsorptieprocessen in werking die de vervluchtiging beperken of geheel verhinderen, terwijl afbraak- en uitspoelprocessen de stof voorgoed aan de vervluchtiging onttrekken. De concentraties die zich in het bodemwater bevinden worden verwerkt in de module "Bodemprocessen" gebaseerd op PESTLA (Van der Linden & Boesten, 1989).

Vanaf het bodemoppervlak geldt:

$$\text{de vervluchtigingssnelheid (per dag):} \quad k_v = 4.4 * 10^7 (P_{vp}/K_{oc} * WS) \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \text{de halfwaardetijd (in dagen):} \quad t_{1/2} &= 1.58 * 10^{-8} (K_{oc} * WS/P_{vp}) \\ &= 0.693 / k_v \end{aligned} \quad (17)$$

waarin: P_{vp} = de dampdruk van de stof (atm of kg/cm^2)
 K_{oc} = de adsorptiecoëfficiënt van de stof ($(\mu\text{g/g})/(\mu\text{g/ml})$)
 WS = de wateroplosbaarheid van de stof (mg/l)

De dampdruk staat in direct verband met de H-waarde van de stof:

$$\text{Per definitie:} \quad H = P_{vp} / WS \text{ ofwel } P_{vp} = H * WS \quad (18)$$

$$\text{Daaruit volgt:} \quad t_{1/2} = 1.58 * 10^{-8} K_{oc}/H \quad (19)$$

hetgeen betekent dat bij een H/K_{oc} verhouding $< 10^{-7}$ de bodemvervluchtiging binnen een dag de 100% bereikt. Evenals bij de gewasvervluchtiging wordt dit gehanteerd als een omslagpunt tussen bodemadsorptie en bodemvervluchtiging. Als vuistregel gaat men uit van een $H = 10^{-5}$ (Boesten & Van der Linden, 1991) waaronder men uitgaat van bodemadsorptie, en daarboven van bodemvervluchtiging.

$$\text{Net als bij afbraak geldt: } hwt = (md - di) / t_{1/2} \quad (20)$$

$$ast_{md} = ast_0 * 0.5^{hwt} \quad (21)$$

waarin: ast_{md} = actieve stof op de meetdag in het compartiment aanwezig
 ast_0 = actieve stof in het compartiment direct na toediening
 hwt = aantal halfwaardetijden sinds intreding in compartiment
 md = meetdagnummer
 di = dagnummer intreden gbm in compartiment
 $t_{1/2}$ = vervluchtigings-halfwaardetijd uitgedrukt in dagen

De hoeveelheid actieve stof die dus in deze route terecht kwam sinds toediening is gelijk aan:

$$\text{vervluchtiging} = ast_0 - ast_{md} \quad (22)$$

4.4.8 Uitspoeling naar het grondwater

Als alle bovengrondse "verliezen" zijn afgetrokken wordt de rest van het gewasbeschermingsmiddel afgevoerd naar de bodem. De bodem bestaat, voor zover voor het systeem interessant, uit twee lagen: binnen het systeem de bewortelde bodem, waar adsorptie en afbraak plaatsvindt, en vanwaaruit in principe nog vervluchtiging, via de bodemlucht, en opname door het gewas mogelijk is, en buiten het systeem de uitspoellaag, waarin slechts plaats is voor adsorptie, desintegratie en uitspoeling naar het grondwater. Er kan worden aangenomen dat in het groeiseizoen, als het gewas water verbruikt, er geen netto watertransport van de bewortelde bodem naar de uitspoellaag plaatsvindt. Dientengevolge zal de uitspoeling naar het grondwater met name plaatsvinden na de oogst. De berekeningen voor de verdeling tussen al deze stromen worden gedaan in de verdelingsmodule "Bodemprocessen" (figuur 3.2) gebaseerd op PESTLA (Van der Linden & Boesten, 1989).

4.5 Voorbeeld van inbouw en opstelling van een balans

Een en ander betekent dat we kunnen uitrekenen, met behulp van enkele aannamen, wat de verdeling is tussen de verschillende compartimenten boven, op en onder de akker direct na toediening van het gewasbeschermingsmiddel. Vervolgens hebben we ook een drietal tijdsafhankelijke verliesposten geïdentificeerd: afbraak, vervluchtiging vanaf het gewas en vervluchtiging vanaf de bodem.

De verdelingsstromen verwaaiing, interceptie, run-off, bouwvooradsorptie en afvoer naar bodemprocessen komen in de verdelingsbalans, en tellen op tot 100% van de toegediende hoeveelheid gewasbeschermingsmiddel. Wanneer de tijdfactor wordt ingebracht, worden op de hoeveelheden in de verschillende compartimenten correcties aan de hand van de betreffende DT_{50} 's toegepast.

Hoewel we er vrijwel zeker van kunnen zijn dat de achterliggende rekenformules nog bijgewerkt dienen te worden (bijstellen/toevoegen van factoren en constanten) geeft het hierna volgende rekenblad in tabel 4.1 een goed idee hoe een output van de verdelingsmodule eruit zou kunnen gaan zien. De inspringende trappen staan voor "model-delen" zoals beschreven in 3.5.

Gekozen is, als voorbeeld, voor een situatie waarin een akkerbouwer consumptie-aardappelen verbouwt. Bij het opkomen van het gewas spuit hij één keer met een herbicide ter bestrijding van akkerkruiden, tijdens de teelt moet hij twee keer spuiten tegen insektenaantasting, en alvorens te rooien spuit hij het loof dood met herbicide. Voor het spuiten van het herbicide gebruikt hij een grove standaardspuit, met een druppelgrootte van 250 µm, voor het insecticide spuit hij in het gewas met een nevelspuit, druppelgrootte 150 µm. Pootdatum is 1 april, rooidatum is 1 september. (Voor de eenvoud is afgezien van andere bestrijdingen en maatregelen). DNOC is een herbicide met tevens insecticide eigenschappen. Deltamethrin is een insecticide.

TOEDIENINGSVERDELING AKKERCOMPARTIMENTEN

Bespuiting I : DNOC versus akkerkruiden
 Bespuiting II : Deltamethrin versus insekten
 Bespuiting III : Deltamethrin versus insekten
 Bespuiting IV : DNOC ten behoeve van loofdoding

opgegeven waarden/ha:

aard opgave	verwijzing	besp. I	besp. II	besp. III	besp. IV
toelatingsnummer	*tabel 1	5814	9730	9730	5814
hoeveelheid gbm		3 kg	3 kg	5 kg	10 kg
spuitvloeistof		500 ltr	500 ltr	500 ltr	500 ltr
toedieningswijze	*tabel 2	standaard	fijnsput	fijnsput	standaard
gewas	*tabel 3	c-aardapp.	c-aardapp.	c-aardapp.	c-aardapp.
gewashoogte	*tabel 3	0,2 m	0,4 m	0,6 m	0,8 m
org geh bodem		3%	3%	3%	3%
toedieningsdatum	*tabel 4	03/05	01/06	01/08	28/08
meet/oogstdatum	*tabel 4	01/09	01/09	01/09	01/09

TABEL 1. RECORDS UIT DE DATABASE STOFKENMERKEN

toel.nr.	akt.stof	gehalte	H-cons	K _{oc}	DT ₅₀ gewas	DT ₅₀ bodem
5814	DNOC	0,46	3,10 ⁻⁵	35,5	13	13
9730	Deltamethrin	0,025	3,10 ⁻⁶	820,7	40	40

TABEL 2. RECORDS UIT DE DATABASE TOEDIENINGSKENMERKEN

toepwijze	spuitdruk	druppelø	spuithgte	hechting	verwaai%
standaard	1,5	250	+10	0,5	0,05
fijnsput	2,0	150	-5	0,75	0,02

TABEL 3. RECORDS UIT DE DATABASE GEWASGEGEVENS

gewas	hoogte	dichtheid	org.geh.
c-aardapp.	0,2	0,08	0,045
c-aardapp.	0,4	0,5	0,045
c-aardapp.	0,6	1,2	0,045
c-aardapp.	0,8	1,8	0,045

TABEL 4. RECORDS UIT DE DATABASE DATUMNUMMERS

datum	dagnr.
03/05	123
01/06	152
01/08	213
28/08	240
01/09	244

Tabel 4.1 Spreadsheet-presentatie van de verdeling tussen stofstromen in de bovengrondse akkercompartmenten na bespuiting met bestrijdingsmiddelen

FACTOR-BEREKENINGEN					
		besp. I	besp. II	besp. III	besp. IV
sputconcentratie		0,00276	0,00015	0,00025	0,0092
interceptiefactor	(5)	0,00177	0,03333	0,12	0,16
DT _{so} vervluchtiging	(19)	0,18697	432,235	432,235	0,18697
H/K _{oc}		8 * 10 ⁻³	4 * 10 ⁻¹¹	4 * 10 ⁻¹¹	8 * 10 ⁻⁸
HWT _{afb} gewas	(1)	9,3076	2,3	0,775	0,3077
HWT _{afb} bodem	(1)	9,3076	2,3	0,775	0,3077
HWT _{verv}	(20)	647,17	0,2128	0,0717	21,394
VERDELINGSSBALANS (kg/ha)					
op toedieningsdatum					
		besp. I	besp. II	besp. III	besp. IV
Verwaaiing	(4)	0,069	0,0015	0,0025	0,23
Gewasadsorptie	(10)	0,00245	0,0025	0,015	0,736
Gewasvervluchtiging		0	0	0	0
Run-off (per aanname)		0	0	0	0
Bouwvooradsorptie	(11)	0,00279	0,00349	0,00529	0,00774
Bouwvoorvervluchtiging		0	0	0	0
Bovengrondse afbraak	(2)	0	0	0	0
Bodeminspoel		1,30576	0,06750	0,10221	3,62626
Totaal					
(= hoeveelheid * gehalte)		1,38	0,075	0,125	4,6
VERDELINGSSBALANS					
(kg/ha) op oogstdatum					
		besp. I	besp. II	besp. III	besp. IV
Verwaaiing	(4)	0,069	0,0015	0,0025	0,23
Gewasadsorptie	(10-2)	3,8*10 ⁻⁵	0,00051	0,00877	0,59464
Gewasvervluchtiging		0	0	0	0
Run-off (per aanname)		0	0	0	0
Bouwvooradsorptie	(11-2)	4,3*10 ⁻⁵	0,00071	0,00309	0,00625
Bouwvoorvervluchtiging		0	0	0	0
Bovengrondse afbraak	(2)	0,00523	0,00478	0,00843	0,14285
Bodeminspoel		1,30576	0,06750	0,10221	3,62626
Totaal					
(= hoeveelheid * gehalte)	1,38	0,075	0,125	4,6	

Tabel 4.1 Spreadsheet-presentatie van de verdeling tussen stofstromen in de bovengrondse akker-compartmenten na bespuiting met bestrijdingsmiddelen (vervolg)

Er kunnen nog geen input-gegevens voor scenario-onderzoek worden ingevoerd, en daarom zijn drie delen van het model in inspringende trappen gegeven. In trap I staan de gegevens die verondersteld worden vanuit de boekhouding te kunnen worden geleverd. In trap II zijn records vermeld die door het model aan de hand van opgegeven waarden (kolom "verwijzing") uit de achterliggende databases worden opgezocht. In trap III worden de gegevens uit de voorliggende trappen verwerkt in de modelrelaties. De tussen haakjes geplaatste cijfers verwijzen naar de in paragraaf 4.4 genoemde formules.

Dit leidt tot een mogelijkheid tot inschatting van emissiestromen uit en verdelingsstromen binnen het landbouwsysteem, gescheiden naar middel:

Emissiestromen (kg/ha):	DNOC	deltamethrin
naar atmosferische lucht	0,299	0,004
naar oppervlaktewater	0	0
Verdelingsstromen (kg/ha):		
naar Module Gewasopslag	0,595	0,009
naar Module Bodemprocessen	4,938	0,174
Afbraak en desintegratie:	0,148	0,013
Totaal	5,98	0,2

5. DATAVERZAMELINGEN

5.1 Inleiding

De voorbeeld modellering, zoals die is uitgewerkt in tabel 4.1, draait op basis van de in hoofdstuk 4 gevonden of gepostuleerde rekenkundige relaties en op gegevens in "records uit achterliggende databases". In dit hoofdstuk wordt onderzocht of deze databases bestaan, en zo ja waar deze bestanden gevonden kunnen worden en in hoeverre ze nog aanvulling behoeven.

Uitgegaan wordt van de bestanden zoals die op het LEI-DLO zijn aangelegd. Deze zijn met name afkomstig uit de Landbouwtelling, een gegevensverzameling van landbouwcijfers die jaarlijks per 1 mei worden verzameld (en daarom ook wel "Meitelling" wordt genoemd) van alle landbouwbedrijven in Nederland, en uit het Boekhoudnet, een gegevensverzameling van meer specifieke landbouw-economisch getinte cijfers uit een steekproef van de landbouwbedrijven in Nederland. Deze gegevensverzamelingen worden in 5.2.1 nader bekeken. De bestanden van Boekhoudnet en Landbouwtelling zijn te koppelen aan bestanden met meer vaste gegevens, zoals de in 5.2.2 genoemde Gewasbeschermingsmiddelenlijst, een bestand met codes voor de toegelaten middelen en een aantal basale kenmerken daarvan. Op gelijke wijze als deze "vaste-gegevensbestanden" zouden ook andere bestanden voor het model toegankelijk moeten zijn. In 5.3 worden een aantal suggesties gedaan betreffende gegevens die nodig dan wel nuttig zijn voor het model, en waar ze mogelijk gevonden kunnen worden. In 5.4 worden tenslotte een paar ontwikkelingen gesignaleerd die de ontwikkeling en koppeling van databases op een voor het model gunstige manier zouden kunnen gaan beïnvloeden.

In de gegevensbestanden van het LEI-DLO is het landbouwbedrijfsleven in zijn gehele breedte vertegenwoordigd. Daarom is het niet meer nodig de scope te beperken tot een klein gedeelte van het bedrijfssysteem. Het voorbeeld in hoofdstuk 4 heeft duidelijk gemaakt wat de aard van de gegevens is die nodig zijn. In dit hoofdstuk wordt dat uitgebreid tot het onderzoek naar de levering van dit soort gegevens betreffende het gehele bedrijfssysteem.

5.2 Gegevensbestanden op het LEI-DLO

5.2.1 De Boekhoudnet-registratie (BKH)

Voor het voeren van een landbouwbeleid hebben overheid en belangenorganisaties behoefte aan informatie vanuit het landbouwbedrijfsleven om te gebruiken in voorbereiding, implementatie, monitoring en evaluatie van het beleid. Ook het onderzoek heeft behoefte aan betrouwbare informatie ter beschrijving van ontwikkelingen. Om in deze behoefte te voorzien wordt, in samenwerking met het CBS, jaarlijks een landbouwtelling gehouden, mede in het kader van EG-verplichtingen. In deze telling worden alle landbouwbedrijven betrokken. In de registratie hiervan worden de totalen van de arealen per gewas en het aantal dieren en enkele gegevens betreffende arbeid en bedrijfsgebouwen vastgelegd. Behalve dat dit bestand veel te groot is om effectief mee te werken is het ook niet specifiek genoeg: ruimtelijke spreiding is er bijvoorbeeld niet goed aan af te lezen. Hiertoe heeft LEI-DLO de beschikking over (een computerregistratie van) een boekhoudnet, waarin bedrijfseconomische gegevens van landbouwbedrijven, in de

breedste zin van het woord, worden bijgehouden. Deze boekhouding is te zien als een specifieke steekproef uit het totale bestand van landbouwbedrijven, als vertegenwoordigd in de landbouwtelling. Voor een uitgebreide beschrijving van de verzameling, registratie en verwerking van deze gegevens zij verwezen naar Poppe (red.) (1992). Een aantal van deze bedrijfseconomische gegevens vertonen een directe samenhang met de milieuproblematiek verbonden met het landbouwbedrijfsleven (Mulder en Poppe (red.), 1993).

De informatie in BKH is in te delen in drie hoofdgroepen (voor de inventarisatie van de voor dit onderzoek interessante informatie wordt in dit hoofdstuk teruggegrepen naar de gehele bedrijfscyclus zoals weergegeven in figuur 3.2.), te weten:

- bedrijfstypering, waarin zaken naar voren komen als de aard en omvang van het bedrijf, de lokatie, regio, provincie waarin het bedrijf gelegen is, de leeftijd en opleiding van de ondernemer(s) op het bedrijf en de vermogenspositie van het bedrijf;
- management-technische gegevens, waarin zaken naar voren komen als bouwplan, veestapel, areaal per gewas, machinepark en omvang en onderhoudstoestand van de bedrijfsgebouwen;
- productie- en verbruiksgegevens, waarin zaken naar voren komen als het verbruik van bestrijdings- en ontsmettingsmiddelen, zo mogelijk toegerekend aan het gewas waarvoor het gebruikt wordt, productie/verbruik van dierlijke mest, nutriënten en kunstmest, de inzet van loonwerk en, uiteraard, de hoeveelheid en opbrengst van het verkocht produkt (Poppe (red.), 1992).

Een aantal van deze gegevens zijn ook reeds in het nutriëntenstromenmodel gebruikt (Van der Veen et al., 1993). Bij eventuele koppeling met SSM-gbm ligt hier dus een punt van efficiëntieverhoging.

5.2.1.1 Bedrijfstypering

Het bedrijfsnummer waaronder een bedrijf geregistreerd wordt is gekoppeld aan een ondernemer of een maatschap. Voor een economische registratie is dat gebruikelijk, en het lijkt onhandig voor een technisch onderzoek, maar in de praktijk valt dat erg mee dankzij het feit dat agrarische bedrijvigheid zich moeilijk laat verplaatsen.

Uit het bedrijfsnummer zijn echter verder geen gegevens af te leiden. Dientengevolge moeten alle bedrijfstyperingsgegevens actief aan het bedrijfsnummer gekoppeld worden. Voor de typering van de aard van het bedrijf wordt de zogenaamde NEG-typering gebruikt, waarin vijf "categorieën" zuivere bedrijfsvormen (akkerbouw, tuinbouw, blijvende teelt, graasveehouderij, intensieve veehouderij) worden onderscheiden, elk in drie graden van specialisatie (sterk gespecialiseerde, gespecialiseerde en overige bedrijven). Daarnaast zijn er in deze typering drie categorieën van mengvormen vastgelegd. Binnen de acht categorieën zijn uiteraard alle bedrijven naar soort beschreven (Poppe, 1992).

Bovengenoemde indeling in categorieën is functioneel, maar heeft zo zijn beperkingen. Als voorbeeld daarvan kan genoemd worden de teelt van mais. Mais wordt beschouwd als een akkerbouwgewas, maar komt op akkerbouwbedrijven hoegenaamd niet voor. Het wordt met name geteeld op veeteeltbedrijven op de zandgrond. De registratie van bestrijdingsmiddelen op veeteeltbedrijven is echter veel minder ver gevorderd dan die op akkerbouwbedrijven. Dit heeft als consequentie dat voor een belangrijk akkerbouwgewas als mais wat betreft de toediening van bestrijdingsmiddelen nog betrekkelijk weinig bekend is (J.H. Jager, persoonlijke mededeling).

De grootte van het bedrijf wordt in BKH weergegeven in economische termen (standaard bedrijfseenheden (sbe) of nederlandse grootte eenheden (nge); het verschil tussen deze eenheden is hier niet relevant, zie daarvoor Poppe (1987)). De grootte van het bedrijf wordt daarmee bepaald aan de hand van de netto opbrengsten die het bedrijf oplevert. Dit kan een struikelblok zijn, want

opbrengsten van een bedrijf zijn afhankelijk van vele factoren die onderling kunnen verschuiven. De opbrengst van een hectare doperwten is anders dan die van een ha aardappelen, en als dus wordt overgestapt naar een ander teeltplan (of een wijze van bestrijding, bewerking en dergelijke) wijzigt daarmee de economische grootte van het bedrijf (Poppe, 1987). Dit zou kunnen betekenen dat voor groottevergelijking en -ontwikkeling in dit onderzoek een andere maatstaf moet worden gezocht. De economische eenheden blijven natuurlijk wel interessant ter vergelijking van bovengenoemde verschuivingen in het bedrijf of de regio.

De lokatie van het bedrijf blijkt te kunnen worden gekoppeld aan een grid op basis van de postcodes, die op zijn beurt weer gekoppeld kan worden aan bestanden die gegevens bevatten betreffende grondsoort, grondwatertrap en dergelijke (Van der Veen et al., 1993). De genoemde bedrijfstyperende factoren verschaffen evenzovele aangrijpingspunten bij de keuze tussen beleidsinstrumenten. De gemeente, regio en grotere eenheden kunnen bovendien worden gebruikt voor aggregatiedoeleinden. Daarin kunnen gegevens uit de landbouwtelling voor nadere invulling zorgen.

5.2.1.2 Management-technische gegevens

Deze gegevens hebben een redelijk constant karakter, en de veranderingen die erin optreden hebben met name te maken met investeringen, of, in geval van bouwplanwijzigingen, met de omschakeling naar bijvoorbeeld een ander teeltsysteem. Ze worden jaarlijks bijgewerkt (Kavelaars en Poppe, 1993).

Wat betreft de registratie van het machinepark per bedrijf moet opgemerkt worden dat wel de aanwezigheid (en de afschrijving) van machines bekend is, maar niet de intensiteit van gebruik. Ook het machine-onderhoud is niet per machine terug te rekenen, zodat de intensiteit van gebruik van een bepaalde spuittechniek niet via deze weg is te achterhalen, evenmin als de gebruikte spuitdoppen. Er zijn berichten dat hier in de toekomst een nadere specificatie zal worden gevraagd (C.J.M. Vernooy, persoonlijke mededeling).

In geval van loonwerk wordt op de bon aangegeven of er gebruik wordt gemaakt van machines van het loonwerkbedrijf of van de eigen machines van het bedrijf.

5.2.1.3 Produktie- en verbruiksgegevens

De boekhouding van het gebruik van chemische middelen wordt bijgehouden aan de hand van aankoopbonnen. Door het natrekken van afleveringsbonnen wordt van iedere aankoop de afleveringsdatum, de hoeveelheid per middel (de complete formulering dus!, exclusief het nog toe te voegen sproeiwater en/of de minerale olie), het toelatingsnummer en de prijs die ervoor betaald wordt geregistreerd. Zo mogelijk moet worden aangegeven aan welk gewas het middel toegerekend wordt. In deze registratie komt alles te staan dat een toelatingsnummer krijgt: ziekte- en vraatbeschermingsmiddelen (pesticiden), herbiciden, grondontsmettingsmiddelen, anti-spruit- en conserveringsmiddelen (oogstbewaringsmiddelen), en groeiregulatoren (gewasgroeimiddelen). Niet geregistreerd worden voeradditieven, diergeneesmiddelen, ongediertebestrijdingsmiddelen, stalontsmettingsmiddelen, mestconserveringsmiddelen en zaadbehandelingsmiddelen. Voor voeradditieven en diergeneesmiddelen is er een goede kans dat de registratie in de komende twee jaar opgestart wordt (J.P.M. van Dijk, persoonlijke mededeling).

In geval van een loonwerkbbon voor bestrijdingswerkzaamheden wordt het verspoten middel in de middelenregistratie opgenomen. De loonwerkbbon betreft dus alleen de arbeidsuren en het machinegebruik, maar is niet meer terug te rekenen naar de hoeveelheid verspoten middel.

De mestproduktie op het bedrijf wordt vastgelegd volgens een normberekening die uitgaat van een gemiddelde produktie per dier. Dit is uiteraard erg on-

nauwkeurig, en kan een ernstige belemmering vormen bij berekening van concentraties van geneesmiddelen(resten) in de mest. Met behulp van het SSM-nut kan, aan de hand van gegevens van de samenstelling van de veestapel en de aanvoer van ruw- en krachtvoer, de hoeveelheid mest berekend worden. De specifieke samenstelling is dan te berekenen met behulp van gegevens betreffende aangekochte kunstmest. Nog meer duidelijkheid is er op bedrijven die zelf geen mest produceren, zodat alle gebruikte (kunst)mest via aankoopbonnen geregistreerd kan worden.

5.2.2 Gegevenslijst voor stofkenmerken

Het model zal werken aan de hand van stofkenmerken. Op het LEI-DLO is naast het Boekhoudnet een database Gewasbeschermingsmiddelen aanwezig. Deze database is nog niet direct bruikbaar, maar vormt een goed startpunt om de stofkenmerken op een overzichtelijke wijze op te slaan.

De ingang voor de database is het "toelatingsnummer". Dat nummer is een constante factor, en geeft, zoals ook in de database is opgeslagen, informatie over de actieve stof, het gehalte, de chemische groep en de targetgroep.

Aan deze database moeten nog worden toegevoegd de coëfficiënten voor de stofkenmerken (Kenaga & Goring, 1980): DT_{50} (persistentie), K_{om} (bodem-adsorptie), P_{oct} (organismale absorptie), H (verdamping), LD_{50} (toxiciteit). Deze coëfficiënten worden gegeven in het toelatingsfiche (de beschrijving van het gewasbeschermingsmiddel, met stoffen, verhoudingen en omstandigheden waaronder gebruik en/of opslag van het middel is toegelaten, afgegeven door de CTB). Deze fiches worden nog uitgewerkt, en zijn reeds voor ongeveer de helft van de toegelaten middelen beschikbaar (N.M. van Straalen, persoonlijke mededeling). Hoe de coëfficiënten moeten worden toegevoegd is nog niet geheel duidelijk: er zijn twee mogelijkheden, 1) een aparte database met als ingang de code voor de actieve stof(fen) van het gewasbeschermingsmiddel, of 2) een aanvulling per record in de database Gewasbeschermingsmiddelen. Gezien het feit dat er gewerkt wordt met ongeveer driehonderd actieve stoffen verdeeld over ongeveer 1.700 middelen lijkt de eerste mogelijkheid de meest voor de hand liggende.

5.3 Gegevens afkomstig van andere (DLO-)instituten

In aansluiting hierop moet nog worden gezocht naar bestanden betreffende fysieke stromings- en bodemgegevens, mogelijk van SC-DLO:

- grondsoort;
- vochtleverend vermogen;
- grondwaterstand en -stroming;
- organische stofgehalte;
- zuurgraad enzovoort.

Gewassenmerken in relatie met de tijd, mogelijk van CABO-DLO (AB-DLO):

- bedekkingsgraad;
- waterbehoefte;
- waterverdamping;
- ziektegevoeligheid enzovoort.

Toedieningsapparatuur, mogelijk van IMAG-DLO:

- karakteristieken verschillende typen spuitapparatuur;
- karakteristieken verschillende typen spuitdoppen;
- karakteristieken luchtondersteuning;
- verwaaiingsgevoeligheid;
- alternatieve apparatuur (loofbranders, schoffelmachines en dergelijke).

Klimaatgegevens, mogelijk van KNMI en/of MeteoConsult:

- temperatuur;
- neerslag;
- wind.

Stof- en middelgegevens, mogelijk van CTB/RIVM:

- verdampingssnelheid (H-waarde);
- partiticoëfficiënten;
- hulpstoffen;
- afbraakprodukten.

Lang niet alle genoemde gegevens zullen direct nodig of zelfs inpasbaar blijken, maar in de samenwerking tussen de genoemde instituten en de koppeling van de respectievelijke bestanden opent zich een veelbelovend onderzoeksveld. Het gebruik van externe gegevens bij oa de bedrijfstypering kan ook binnen het LEI-DLO voor een nuttige uitwisseling tussen de verschillende modellen (SSM-nut, SSM-gbm, LCA) zorgdragen.

5.4 Ontwikkelingen

De uitbreiding van de gegevens in het Boekhoudnet wordt jaarlijks vastgesteld aan de hand van vragen vanuit het onderzoek. De laatste jaren heeft deze vooral betrekking op milieu en energie. Milieu-relevante gegevens worden voor zover mogelijk vastgelegd. De komende uitbreiding zal met name op het gebied van diergeneesmiddelengebruik en dierziekten zijn. Verder wordt een verdergaande specificatie van gewasbeschermingsmiddelengebruik en een voortgaande verzameling door middel van enquêtes van gegevens betreffende onder andere grondwaterkwaliteit verwacht.

Op het SC wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een Informatiesysteem Bestrijdingsmiddelen (ISBEST). ISBEST is een data-informatiesysteem waaraan een geografisch informatiesysteem gekoppeld is. Hiermee kan bestrijdingsmiddelengebruik per teelt ingelezen worden, zodat de spreiding en de regionale verschillen zichtbaar kunnen worden gemaakt. ISBEST kan gekoppeld worden aan andere geografische of databestanden, zoals een stofkenmerkenbestand of een grondsoortenkaart. De kleinste eenheid waarmee op dit moment gerekend kan worden zijn de gemeenten. Onderzoek zal moeten uitwijzen welke aanpassingen in BKH en/of in ISBEST gemaakt moeten worden zodat een koppeling met BKH en de achterliggende databases kan worden gemaakt waarmee de eenheid kan worden teruggebracht naar bedrijfsniveau, en welke voordelen in het functioneren van beide stofstroommodellen met de koppeling kunnen worden bereikt.

In samenwerking met CML en CLM wordt op het LEI-DLO gewerkt aan het toepasbaar maken van een levenscyclusanalyse (LCA) op agrarische produktiemethoden. Een LCA heeft als doelstelling de totale milieu-impact van een produkt te bepalen, om die eventueel te kunnen verminderen en/of te kunnen vergelijken met de impact van een alternatief produkt (Heijungs et al., 1992). Zoals de LCA op dit moment is vormgegeven heeft ze vooral betrekking op industriële produktie en is ze op de agrarische produktiemethode minder goed toepasbaar. Bij het omvormen van de LCA naar de agrarische bedrijfspraktijk moet beschikt kunnen worden over gegevensbestanden die veel gelijkenis vertonen met de databases zoals die in dit hoofdstuk worden voorgesteld. Omgekeerd kan het nadenken over een LCA voor landbouwprodukten zeer inspirerend werken bij de ontwikkeling van een integraal Stofstromenmodel.

6. EVALUATIE

6.1 Welke doelstellingen zijn haalbaar?

De modellen die in het onderzoek naar voren zijn gekomen hebben zonder uitzondering al hun plaats gekregen in de ondersteuning van het beleid, met name op de hogere bestuurlijke niveaus (model PESTLA (Van der Linden & Boesten, 1989) zelfs op Europees niveau (RIVM/RIZA, 1991)). Het SSM draait, wanneer gereed, vanaf bedrijfsniveau, en presenteert de resultaten op regionaal en nationaal niveau. Daarmee kan een veel grotere accuratesse bereikt worden dan met op hoog niveau aangrijpende modellen. Bovendien kan met een SSM het effect van een beleidsmaatregel per regio worden onderzocht, en kan "overkill" (beperkende maatregelen kunnen worden gelimiteerd tot de regio of het gewas van waaruit problemen worden gerapporteerd) en "ivoren toren effecten" (regionale en lokale problemen die in een nationaal overzicht niet worden waargenomen kunnen in de beleidsbeslissingen worden betrokken) worden voorkomen. De beleidsopties kunnen, voordat ze in maatregelen worden vertaald, met behulp van de modellen op regionaal of op gewasniveau worden doorgerekend.

De ontwikkeling van een SSM heeft voor het fundamenteel agrarisch onderzoek twee positieve resultaten. In de eerste plaats wordt het mogelijk de deelmodellen in hun verband te zien, waardoor de uitwisseling van deskundigheid tussen de verschillende deel- en aangrenzende gebieden eenvoudiger wordt. Door de systeemstructuur van het SSM wordt men gedwongen en gestimuleerd na te denken en overleg te plegen over aansluitproblemen met modelontwikkelingen in aangrenzende compartimenten. Hierdoor zal het ad hoc karakter en de verschillen in kwaliteit tussen de verschillende deelmodellen geleidelijk verdwijnen. In de tweede plaats legt de systeembenadering van het SSM deelgebieden bloot waar onderzoek verbeterd, gestimuleerd of zelfs gestart moet worden. Dat kunnen gebieden zijn binnen één stroom (bijvoorbeeld SSM-gbm: interceptie in de bovengrondse delen van het gewas) of randgebieden tussen stromen (bijvoorbeeld een geïntegreerd SSM voor nutriënten, bestrijdingsmiddelen en zware metalen: bodemeffecten van mestverontreinigingen).

Voor het beleidsondersteunend onderzoek, bijvoorbeeld emissie-onderzoek of bedrijfseconomisch onderzoek, zullen de gegevens waarvan kan worden uitgegaan kwalitatief verbeteren. Het SSM-gbm zal gegevens kunnen verschaffen ter vaststelling van de relatie tussen emissie en de teelt van een bepaalde combinatie van gewassen, beide eventueel om te rekenen in financiële termen. De emissies zullen gekwantificeerd en gekwalificeerd kunnen worden, hetgeen een mogelijkheid biedt voor de opstelling van beleidsvoorstellen en mogelijk de keus tussen beleidsinstrumenten. De (milieu- en economische) effecten van de voorgestelde maatregelen kunnen tevoren door het model worden doorgerekend en daarmee krijgt de overheid de mogelijkheid tot een effectiever gebruik van beleidsinstrumenten.

Om deze doelstellingen te realiseren is het nodig dat er een samenwerkingsverband tot stand komt tussen de verschillende instituten. De verbanden die het LEI-DLO in ieder geval zal moeten aangaan dan wel versterken voor de ontwikkeling van het SSM-gbm zijn binnen de Dienst Landbouwkundig Onderzoek met:

- CABO-DLO (AB-DLO) en/of Plantenziektkundige Dienst (PD) voor de inbouw van gewasgegevens en de inschatting van weersinvloeden op gewasgroei en plaagontwikkeling;
- SC-DLO voor de bodem- en stromingsgegevens;
- IMAG-DLO voor toedieningsgegevens.

En extern met:

- CTB/RIVM voor gegevens betreffende chemische middelen en actieve stoffen;
- Proefstations en IKC's voor de duiding van praktijkgegevens;
- Meteo Consult voor de weer- en klimaatgegevens.

Binnen het LEI-DLO zal moeten worden overlegd met de beheerders van het Boekhoudnet hoe en in welke mate aanvullende informatie in BKH kan worden opgenomen, hoe de verschillende externe databases kunnen worden gebruikt en hoe en in welke mate er behoefte is aan uitbreiding, bouw en invulling van eigen (extra) databases. Uiteraard zal de ontwikkeling van het SSM-nut en de ontwikkeling van het SSM-gbm in voortdurende uitwisseling moeten staan. Een parallelle ontwikkeling is hierbij aanbevelenswaardig, om de achterstand van het SSM-gbm niet nog verder te laten oplopen, en om dubbel werk (openbreken van structuren voor het aanbrengen van aanpassingen voor koppeling) te voorkomen.

Het onderzoek voor de ontwikkeling van SSM-gbm zal zich in de eerste plaats moeten richten op het invullen van de "leemten in kennis". Met name wordt dan gedacht aan de relatie tussen druppelvorming vanuit de spuitapparatuur en de interceptie op het gewas. Tevens zal met de modelontwikkende instituten contact moeten worden opgenomen voor een update van de ontwikkelingen, en een meer accurate inschatting van de benodigde relaties. Onderwijl kan worden door- gewerkt aan de bouw en invulling van de voor het model noodzakelijke databa- ses.

6.2 Kwaliteit beschikbare informatie: leemten en omissies

6.2.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 werd een systeem ontworpen waarin de in-, uit- en rondstro- mende chemische stoffen in het agrarisch bedrijf kunnen worden ingetekend. In hoofdstuk 4 richtte het onderzoek zich op de akker, het onderdeel van het sys- teem waarin "gewasbeschermingsmiddelen in sensu stricto" binnenkomen, in een verkenning naar de mogelijkheid een simulatiemodel te ontwerpen op basis van dit systeem. Het literatuuronderzoek naar dit onderdeel van het agrarisch bedrijf leverde een beeld op van onafhankelijk van elkaar gemodelleerde gedeelten van de stofstroom. De poging deze losse modellen aan elkaar te koppelen resulteerde in een balans van in- en uitstromende stoffen in tabel 3.2.

De getallen in de balans in tabel 3.2 hebben slechts een illustratieve waarde: in dit stadium heeft het nog geen zin om dure praktijkcijfers te gebruiken, en ook zou dit ten onrechte suggereren dat het model-ontwerp nu reeds enige voorspel- lende kracht zou hebben. Factoren, coëfficiënten en constanten zijn hiervoor ech- ter nog veel te onzeker. Wat wel goed naar voren komt is het benodigde gege- vensaanbod, de structuur van de berekeningen, en de aard van de uitkomsten.

Tabel 3.2 is gebaseerd op een ideaalbeeld van een stofstromenmodel in zijn eenvoudigste vorm. In 6.2.2 wordt de aard van de daarvoor gebruikte (en deels gefingeerde) gegevens vergeleken met de beschikbare gegevens. Uit het al dan niet sluiten van deze vergelijking kan de kwaliteit van en de omissies in de be- schikbare gegevens worden vastgesteld.

Het in hoofdstuk 4 gepresenteerde voorbeeld van modelbouw geeft duidelijk aan in welke richting de ontwikkeling van de bouw van een SSM-gbm zal gaan, maar even duidelijk zijn de obstakels die een effectieve modellering in de weg staan: de "leemten in kennis". Deze worden in 6.2.3 op een rij gezet en er wordt beoordeeld hoe ernstig deze leemten zijn en waar de prioriteit zal moeten komen te liggen bij verder onderzoek.

6.2.2 Kwaliteit en omissies in de beschikbare databases

6.2.2.1 De database van de Boekhoudnet-registratie

De gewasbeschermingsmiddelen worden in het Boekhoudnet geregistreerd met behulp van aankoopbonnen. Dit heeft tot gevolg dat in de database alleen een record aanwezig is van de totale hoeveelheid van elk te verspuiten middel. Onder de aanname dat wat aangekocht wordt nog hetzelfde jaar gebruikt wordt, is, door te combineren met andere records, maximaal te bepalen hoeveel van welk middel in een bepaald areaal verspoten is in het betreffende teeltseizoen.

In het rekenvoorbeeld in hoofdstuk 4 is uitgegaan van een andere registratie. Bij iedere spuithandeling wordt een formulier ingevuld waarop staat aangegeven de datum, welk middel (toelatingsnummer) wordt verspoten en hoeveel, met welk type apparatuur en eventueel de intensiteit (rijen- of volveldsbespuiting) er wordt gespoten en uiteraard het gewas. Met deze registratie is in ieder geval, zonder een verdere aanname, nauwkeurig bekend hoeveel van welk middel verspoten is. Bovendien is hiermee de onnauwkeurigheid of onmogelijkheid van toerekening aan een bepaalde teelt ondervangen: bij meerdere teelten op één bedrijf is bij aankoop van bestrijdingsmiddelen nooit met zekerheid te zeggen in welke teelten ze zullen worden toegepast, een probleem dat tijdens de handeling niet meer bestaat. Maar bovenal levert deze informatie de mogelijkheid om, in combinatie met andere records, te kunnen inschatten hoe de actieve stoffen uit het middel zich over de compartimenten verdelen en hoeveel ervan over is op ieder gewenst moment. Daarmee kunnen we afkomen van de "worst-case" benaderingen waarin 100% van het middel terecht komt in de bodem, het grondwater, de lucht of het oppervlaktewater, al naar gelang de scope van het onderzoek.

Met deze wijze van registreren is de nu gangbare registratie niet noodzakelijkerwijs onnodig geworden: zij kan worden gebruikt als check, bijvoorbeeld op voorraadvorming.

Een andere lijn van registratie betreft de gegevens van de lokatie. Dit type gegevens kunnen, door met andere databases op basis van het bedrijfsnummer te combineren, in de berekening worden ingevoerd. Het organisch gehalte van de bodem is een voorbeeld van een gegeven dat aan de hand van een bedrijfsnummer kan worden ingevoerd. Andere gegevens (in tabel 2 niet gebruikt) in deze categorie kunnen zijn: het gewasareaal, de windgevoeligheid van de akker, de aanwezigheid van benedenwinds oppervlaktewater enzovoort.

Een derde lijn van registratie is min of meer facultatief: gegevens die met een zekere foutenmarge berekend kunnen worden, maar ook betrekkelijk eenvoudig ter plaatse kunnen worden opgegeven. Als voorbeeld hiervan is de gewashoogte genomen: het is natuurlijk mogelijk deze met behulp van gewasgroeimodellen en klimaatgegevens uit de gegevens "gewas" en "toedieningsdatum" te berekenen. Aan de andere kant is het een eenvoudig te meten waarde, en zou het goed kunnen zijn dat de eenvoud en de accuratesse van het model zeer is gediend bij het opnemen van een gemeten in plaats van een geschatte waarde. Daartegenover staat dat bij scenario-onderzoek altijd met modelmatig geschatte waarden gewerkt moet worden, zodat de mogelijkheid tot schatten sowieso ingebouwd moet worden. Andere gegevens in deze categorie kunnen zijn: rijnsnelheid, temperatuur enzovoort.

6.2.2.2 De databases naast de Boekhoudnet-registratie

Naast de gegevens uit de Boekhoudnet-registratie, die per bedrijf en situatie verschillen, moet het model gebruik kunnen maken van databases die gegevens bevatten die onafhankelijk zijn van het bedrijf. In tabel 4.1 worden er vier met name genoemd: Stofkenmerken, Toedieningskenmerken, Gewaskenmerken en Dagnummering.

De database Stofkenmerken moet worden samengesteld uit verschillende tabellen en gegevens uit de literatuur. Er is op het LEI-DLO reeds een database Gewasbeschermingsmiddelen aanwezig. Deze database omvat de groepen gewasbeschermingsmiddelen, grondbehandelingsmiddelen en gewasgroeimiddelen (zie tabel 1) met toelatingsnummers en codes voor actieve stoffen. Het lijkt mogelijk de database Stofkenmerken aan deze laatste code te koppelen. In deze database zullen per actieve stof de fysisch-chemische stofkenmerken moeten worden ingevuld. Dit is al voor een belangrijk deel mogelijk, met uitzondering van de H-waarden of dampdrukken van de verschillende stoffen. Deze zijn echter dusdanig essentieel voor het model dat hier beslist moet worden gewerkt aan volledige invulling. Op het moment dat het model zal worden uitgebreid naar de overige modules uit figuur 2 zal ze bovendien nog een aanvulling in het aantal stoffen (conserveringsmiddelen, diergeneesmiddelen en dergelijke) moeten krijgen.

Voor de database Toedieningskenmerken is uitgegaan van een (voor zover bekend nog niet bestaande) lijst van kenmerken, waaraan het bedrijf kan refereren, waarin aan een combinatie van druppelgrootte, spuitdruk, spuithoogte en dergelijke een verwaaiingspercentage en een bladhechtingspercentage kan worden toegekend. Deze lijst zou in de toekomst een rol kunnen gaan spelen bij de beslissing welke toedieningswijze in de gegeven situatie te prefereren is, en mogelijk zelfs bij beslissingen bij aanschaf van apparatuur. De aanmaak van zo'n lijst zou op zich dus al een belangrijke spin-off van de modelbouw zijn.

De database Gewaskenmerken zal in samenwerking met CABO, IKC-AT en PAGV moeten worden samengesteld. Ideaal zou zijn als de groeicurven waarop deze gegevens gebaseerd zijn op de één of andere manier in het model oproepbaar zijn of zelfs zijn opgenomen, zoals delen van GRASMOD in SSM-nut (Van der Veen et al., 1993)

De database Dagnummering tenslotte is in deze vorm geheel in te vullen, maar zou in de toekomst kunnen worden aangevuld met meteorologische gegevens, die bijvoorbeeld bij afbraak, gewasgroei of verwaaiing een nadere precisering in de berekeningen zouden kunnen gaan geven.

6.2.3 De leemten in kennis

De berekeningen achter de balansen in tabel 4.1 zijn voor een groot gedeelte gebaseerd op "theoretisch drijfzand". Ze geven redelijk goed aan wat er met de verzamelde gegevens kan worden gedaan, maar ze moeten stuk voor stuk in samenwerking met de "technische" instituten ontwikkeld worden. Twee speerpunten daarin zijn de interceptie door het gewas en de vervluchtiging.

De interceptiefactor is een zeer centraal gegeven, per aanname berekend uit "hechting" (toedieningskenmerken), "hoogte" en "dichtheid" (gewasgegevens). Zowel de berekening als de gegevens zijn gefingeerd, maar zeker is dat voor de bepaling van deze factor nog enig werk zal moeten worden verricht.

De vervluchtigingsfactoren, DT_{50} , H/K_{oc} en HWT_{vervl} doen dienst in de beslissing of vervluchtiging dan wel adsorptie berekend moet worden. Bij een $DT_{50} > 0.8$ dagen ($H/K_{oc} < 2 \cdot 10^{-5}$) wordt vervluchtiging op 0 gesteld ten gunste van adsorptie, en omgekeerd bij een $DT_{50} < 0.8$ dagen ($H/K_{oc} > 2 \cdot 10^{-5}$) wordt adsorptie op 0 gesteld ten gunste van vervluchtiging. In feite heeft het berekenen van de HWT_{vervl} in het model in zijn huidige beoogde vorm nauwelijks zin, daar, wanneer er voor vervluchtiging moet worden besloten, ervan wordt uitgegaan dat 100% vervluchtigt. De HWT_{n} factoren tenslotte dienen bij de berekening van de afbraak van geadsorbeerde actieve stof. Het zijn er twee, zoals betoogd in 4.1.1, en totdat de DT_{50} 's in de verschillende compartimenten nader kunnen worden gespecificeerd zijn ze identiek.

De jongste modellen waarvan in dit onderzoek gebruik is gemaakt zijn gepubliceerd in 1990, en er mag verondersteld worden dat zich daarin sindsdien nog ontwikkelingen hebben voorgedaan, die echter nog niet gepubliceerd zijn, of anderszins niet in dit literatuuronderzoek zijn betrokken. Uitgaande van het voor-

handen zijnde materiaal moet gesteld worden dat de beschrijving van de relaties nog veel te wensen over laat.

Onbekend zijn de relaties tussen:

- type gewasbeschermingsmiddel en oppervlakte- dan wel systemische werking;
- ziekte per gewas en invloed van (micro/macro)klimaat;
- type spuitapparaat, spuitkoptype, spuitdruk en druppelgrootte;
- druppelgrootte, windsnelheid, verwaaiing en effect op buurpercelen;
- druppelgrootte, gewasdichtheid en interceptie;
- gebruikt volume water, interceptie en doorslag naar de bouwvoor;
- doorslag naar de bouwvoor, bodemdichtheid, helling en run-off.

Naar deze relaties zal nog gericht moeten worden gezocht, of er zal in samenwerking met deskundigen op dit gebied een gefundeerde schatting moeten worden gemaakt. Van de bovengenoemde relaties is de relatie tussen druppelgrootte, gewasdichtheid en interceptie van essentieel belang voor het model. De overige relaties zijn, voor zover ze essentieel zijn, reeds grof in te schatten, en zijn dus geen verhindering voor modellering. Een beter gefundeerde inschatting, of een rekenkundige vastlegging van de relaties zou hier echter de accuratesse van het model verhogen. Bovendien worden deze relaties mede gevoed door factoren die door de boer te beïnvloeden zijn (management): mits de relaties bekend zijn, en dus in het model kunnen worden doorgerekend, geeft dit een opening naar sturing met behulp van beleidsmaatregelen.

De laatstgenoemde relatie, die tot de inschatting van de run-off leidt, is toegevoegd omdat de run-off bij de huidige stand van zaken op 0 wordt gesteld. Op dit moment kan niet bepaald worden hoe groot de emissie via run-off is, en dus of deze emissieroute belangrijk is. Zeker als rekening wordt gehouden met kunstmatige drainage, die kan worden gezien als een vorm van run-off, lijkt een nihilstelling echter niet reëel.

De verdelingsbalansen geven het doel van deze hele modellering weer: hierin worden de acht "compartimentsstromen" uit figuur 4.2 gekwantificeerd. Verwaaiing verloopt volgens het in tabel 4.1 gegeven percentage, terwijl gewasadsorptie dan wel -vervluchtiging gelijk is aan de interceptie. De bouwvoor ontvangt het overgeschoten deel van het verspoten middel (dat overigens veel te hoog is, een teken dat de interceptiefactor veel te laag wordt ingeschat: voor akkerbouwteelten is gemeten dat tussen 8 en 31% van de dosering op de bodem terecht komt (Ministerie LNV, 1991)) en adsorbeert daaruit. De rest spoelt in de bewortelde bodem, waar de module "Bodemprocessen" het over kan nemen. In de verdelingsbalans op oogstdatum wordt een evaluatie gegeven van de afbraak van geadsorbeerde actieve stof. Op stromen buiten de scope van de module "Plantaardige Productie" wordt geen afbraak berekend.

De ontvangende modules van de module "Plantaardige Productie" zijn de modules "Gewasopslag" en "Bodemprocessen" (gebaseerd op PESTLA (Van der Linden & Boesten, 1989)). De stroom naar "Gewasopslag" wordt aangevuld met een stroom gewasconserveringsmiddelen. "Bodemprocessen" krijgt nog een aanvulling vanuit bodembehandelingsmiddelen (waarvoor delen van het model van Buurveld et al. (1988) direct te gebruiken zijn), mestverontreinigingen (een combinatie van de output van de "stalmodules" en SSM-nut), en geadsorbeerde actieve stof uit voorgaande teelten/jaren.

Misschien onverwacht belangrijk is de tijdfactor, en wel in tweeërlei opzicht: in de loop van de tijd neemt de bodembedekking van het gewas toe, waardoor de interceptie van het spuitvolume belangrijk toeneemt (DNOC in mei 94% inspoeling in de bewortelde bodem, in augustus nog slechts 78% in dit voorbeeld), en de tijd geeft ruimte aan afbraak, waardoor de uitspoeling die na de oogstperiode plaatsvindt belangrijk lager is dan zonder afbraak het geval zou zijn (DNOC in mei geeft slechts 0,2% uitspoeling per 1 september, DNOC in augustus geeft 81% uitspoeling per 1 september).

6.2.4 Conclusie

De conclusie van paragraaf 6.2 is dat er nog een aantal leemten in kennis zijn die op dit moment de complete modellering verhinderen. Een grove inschatting van deze relaties kan de modellering van emissies uit de huidige bedrijfspraktijk mogelijk maken, maar voor de bepaling van effecten van beleidsmaatregelen zullen de relaties nauwkeuriger bekend moeten worden. Wat betreft de input is vrij goed bekend wat gevraagd zal worden, zodat de databases die hiervoor noodzakelijk zijn in principe gemaakt en gevuld kunnen worden.

6.3 Is koppeling tussen stroommodellering van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen mogelijk, nodig en nuttig?

6.3.1 Modeltechnische mogelijkheid voor koppeling

Wanneer aangenomen kan worden dat de in paragraaf 6.2 gesignaleerde "leemten en omissies" in kennis en gegevens worden overwonnen, dan kan vervolgens de fase van de modellering betreden worden.

In die fase komt de vraag aan de orde of de modellering van een stromenmodel voor gewasbeschermingsmiddelen onafhankelijk van, conform met of integraal in het SSM-nut moet plaatsvinden. Het antwoord op de vraag of het mogelijk en/of noodzakelijk is de beide modellen te koppelen kan deels worden gevonden in de analyse van verschillen en overeenkomsten tussen de twee stromen. Zouden de stromen van organochemische stoffen en van nutriënten structureel andere wegen kiezen of zouden er geen gemeenschappelijke beïnvloedende factoren aan te wijzen zijn, dan zou van koppeling tussen de twee modellen geen sprake kunnen zijn. Tussen het gebruik en emissie van nutriënten en die van gewasbeschermingsmiddelen zijn een aantal overeenkomsten en een aantal verschillen aan te wijzen die in de modellering terugkomen. De verschillen tussen nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen zouden kunnen leiden tot de conclusie dat de koppeling nut-gbm moeilijk, zo niet onmogelijk is. De meest in het oog springende verschillen worden in 6.3.2 besproken. In 6.3.3 wordt aan de hand van de overeenkomsten aannemelijk gemaakt dat de koppeling van het SSM-gbm aan het SSM-nut voordelig zal zijn voor beide modellen. Daar waar overeenkomsten de vorm van interacties aannemen is het zelfs noodzakelijk de modellen, anticiperend op ontwikkelingen in het onderzoek, zodanig te ontwerpen c.q. aan te passen dat integratie mogelijk wordt. Dit laatste wordt in 6.3.4 onderstreept.

6.3.2 Verschillen tussen de stroommodellering van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen

De mogelijke verschillen tussen nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen kunnen worden gevonden in een verschil tussen de twee groepen of in een verschil van de invloed die de groepskenmerken hebben op het systeem. Deze verschillen zullen in deze subparagraaf worden geïnventariseerd, te beginnen met de groepskenmerken, en gaandeweg steeds meer naar de invloed daarvan op het systeem.

Het nutriëntenmodel werkt slechts met drie bulkstoffen, Stikstof (N), Fosfor (P) en Kalium (K). De overige meststoffen worden buiten beschouwing gelaten, omdat deze in belangrijk kleinere hoeveelheden worden toegediend, en geacht worden niet te emitteren. Voor zover ze dat wel doen (bijvoorbeeld Cd!) vallen deze spore-elementen in een andere categorie: zware metalen. Binnen deze bulkcategorieën worden weliswaar groepen onderscheiden, naar de vorm waarin het betreffende element voorkomt, maar het geheel laat zich toch vrij eenvoudig optellen tot een N-, P- of K-totaal in de verschillende compartimenten. In het

model gewasbeschermingsmiddelen is sprake van een groot aantal stoffen, die zich niet zo eenvoudig laten optellen.

Van de gewasbeschermingsmiddelen zijn er voor de landbouw zo'n vier- á vijfhonderd verschillende middelen beschikbaar, terwijl het bij mineralen om enkele tientallen gaat, waarvan slechts de bovengenoemde drie, N, P en K, qua volume belangrijk zijn. Deze tegenstelling is echter scheef getrokken: van het grote aantal beschikbare middelen wordt slechts, op basis van bijvoorbeeld aantasting(sdreiging), grondsoort en gebruikt middel in het verleden (in verband met resistentie-ontwikkeling) gekozen voor één of twee middelen, waarbij dan toedieningswijze en -dosering min of meer vastliggen. Bij nutriënten ligt het keuzemoment heel anders. Er kan niet gekozen worden tussen mineralen, het gewas vraagt een bepaalde verhouding van mineralen. Er wordt een keuze gemaakt voor dierlijke- of kunstmest en binnen die groepen tussen enkele tientallen respectievelijk honderdtallen van (kunst)mestsoorten. Daarna is er nog enige keuzevrijheid wat betreft hoeveelheid, uitrijtjdstip, en in beperkte mate toedieningswijze. Het verschil in het aantal stoffen is dus het verschil in het aantal keuzen, en dat verschil is bij nader inzien niet zo groot.

Het gedrag van stoffen in het milieu wordt bepaald door stofkenmerken en omstandigheden. Dit geldt voor meststoffen net zo goed als voor chemische middelen. Wat dat betreft zijn nutriënten en bestrijdingsmiddelen even complex. Het verschil zit hem echter daarin dat van die stofkenmerken bij bestrijdingsmiddelen veel meer bekend is dan van die bij meststoffen. De actieve stoffen in bestrijdingsmiddelen zijn (voor mens en milieu) gevaarlijke stoffen, en daarom wordt geëist dat ze gestandaardiseerd worden aangeleverd, en dat er veel gegevens over geregistreerd zijn. Dierlijke mest wordt niet gestandaardiseerd aangeleverd, en daarom zijn slechts zeer basale kenmerken, als de N-, P- en K-verhouding, bekend, terwijl gegevens als bindingsvorm worden geschat volgens de wet van de grote getallen en spore-elementen slechts steekproefsgewijs bepaald worden. Wat het gedrag betreft zijn dus nutriënten niet meer of minder complex dan bestrijdingsmiddelen, maar het grote effect dat een kleine hoeveelheid van deze middelen kan hebben en de beschikbaarheid van stofgegevens verplicht tot een hoger niveau van berekening van het gedrag van de stoffen in het milieu dan mogelijk is met de geschatte gegevens van de nutriënten.

In de nutriëntenstroom zijn ten opzichte van de bestrijdingsmiddelenstroom meer aangrijpingspunten voor te treffen emissiebeperkende maatregelen aan te wijzen. Bij gewasbeschermingsmiddelen is de belangrijkste maatregel het beperken van het verbruik. Verder is de toedieningswijze van invloed op de emissie, maar dan met name op de richting van de emissie (bijvoorbeeld een fijnere spuitnevel vergroot de interceptie ten opzichte van de uitspoeling, maar vergroot ook de verwaaiing/vervluchtiging). De mogelijkheden tot emissiebeïnvloeding blijven vrijwel beperkt tot de module waar bestrijdingsmiddel het systeem binnen komt. Bij de beperking van nutriëntenemissie is een veel groter complex van maatregelen voorhanden, variërend van stalluchtreiniging tot mestinjectie, met een aantal varianten op elke mogelijkheid. Als daarbij nog wordt opgeteld de beïnvloeding van de mestsamenstelling door middel van de voersamenstelling, dan is duidelijk dat de mogelijkheden voor emissiebeperking in de nutriëntenstroom in bijna iedere module van het SSM-nut aanwezig zijn.

De tijdfactor is in het SSM-gbm veel prominenter aanwezig dan in het SSM-nut. Bij nutriënten wordt bijvoorbeeld gesproken over N die direct, binnen het jaar of binnen twee jaar voor het gewas beschikbaar komt: fracties waarvan de grootte geschat wordt (Van der Veen et al., 1993). Bij gewasbeschermingsmiddelen is de band veel sterker, en bij de moderne middelen veel sneller: stoffen met een halfwaardetijd van meer dan zes weken worden al als bedenkelijk beschouwd, in verband met mogelijke ophopingsverschijnselen. Daarom is de toedieningsdatum in het SSM-gbm van veel groter belang dan in SSM-nut. Aangenomen kan worden dat de concentratie van actieve stof in de basale compartimenten (gewas, bodem en lucht) onmiddellijk tot stand komt. De omvang van die fractie

kan worden berekend, en in combinatie met de toedieningsdatum, kan worden berekend hoeveel er nog van die fractie over is op iedere willekeurige datum vallend na de toedieningsdatum. Daarmee is de tijdfactor slechts één, gemakkelijk te verwerken, factor in de berekening, die bovendien de grootte van de fracties en hun verdeling exacter vastlegt dan met de nutriënten het geval is.

De grenzen in het voorgestelde SSM-gbm zijn bewust afgestemd op de definiëring zoals gebruikt in het SSM-nut: de ruimte die door de boer in principe beïnvloedbaar is. In het management kan de boer rekening houden met opgeslagen actieve stof in dit systeem, en er kunnen maatregelen worden genomen, eveneens conform het nutriëntenmanagement, om emissie te voorkomen. Alleen de bovengrens is licht verschoven ten opzichte van het SSM-nut, van gewashoogte naar spuithoogte, maar zoals betoogd in 3.4 heeft dat voor het SSM-nut geen gevolgen.

6.3.3 Overeenkomsten in de stroommodellering van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen

In een aantal gevallen zijn de benodigde inputs voor SSM-gbm gelijk of gelijksoortig met de inputs die gebruikt worden voor het SSM-nut. Met name de bedrijfsgegevens zijn belangrijk voor beide modellen. Het grootste gedeelte van die gegevens komen uit de interne databases die naast het Boekhoudnet op het LEI-DLO aanwezig zijn, terwijl andere gegevens, zoals bodem- en grondwatergegevens, worden betrokken van externe databases. Tenslotte zijn een aantal factoren, zoals neerslag (impliciet) en depositie, grof geschat aan de hand van een regionaal gemiddelde. Van die gegevens wordt een database gemaakt waarop het SSM-nut draait. Bij koppeling van SSM-nut met SSM-gbm kan deze laatste van hetzelfde gegevensbestand gebruik maken. Het SSM-nut/gbm zal ten opzichte van het SSM-nut een iets ruimere gegevensverzamelingsroutine nodig hebben (bijvoorbeeld uit het bodemgegevensbestand van het SC zullen niet alleen de grondwatergegevens, het organisch-stofgehalte en de grondsoort, maar ook de bodemdichtheid ten behoeve van run-off berekening worden gevraagd). Als de bestanden, doordat ze iets groter zijn, door beide modellen kunnen worden gebruikt is dat per model een belangrijke efficiëntieverbetering. Bovendien is het niet onvoorstelbaar dat gegevens die voor het SSM-gbm essentieel zijn, zoals temperatuur-, wind- en neerslaggegevens, ook voor het SSM-nut additionele informatie opleveren.

Wanneer SSM-nut en SSM-gbm om gelijksoortige input vragen kan een koppeling extra informatie opleveren. De milieubelasting, veroorzaakt door het telen van een gewas, kan op verschillende manieren worden gemeten, bijvoorbeeld aan de hand van het nutriëntenoverschot per hectare of het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen per hectare. Een voorbeeld van wederzijds voordeel bij koppeling van SSM-nut en SSM-gbm is te zien in de keuze en/of de indeling van (groepen van) gewassen, die gemodelleerd dienen te worden. Een gewas dat, omdat het nutriëntenoverschot gering is, in SSM-nut niet apart wordt behandeld, kan vanwege het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen wel extra aandacht vragen. In de gescheiden modellen sluiten de groepen daarom niet op elkaar aan, in het geïntegreerde SSM-nut/gbm zijn de modelgroepen gelijk.

6.3.4 Interactie tussen bemesting en plaagbestrijding: het nut van koppeling

De interactie tussen bemesting en plaagbestrijding komt op twee niveaus tot uitdrukking. In termen van figuur 3.2 is dat het niveau van de beslissingsmodule en dat van de verdelingsmodule. De beslissing voor de toediening van bemesting en de toediening van plaagbestrijding wordt door de boer niet onafhankelijk genomen. Bemesting heeft een duidelijk effect op de plaagontwikkeling. Door de bemesting krijgt de plant een hogere energie-inhoud, die het plaagorganisme kan omzetten in een snellere populatiegroei (Darwinkel, 1980; Harrewijn, 1981). Aan

de andere kant zijn er ook gewassoorten die, dankzij een betere bemesting, een sterkere weerstand tegen aantastingen kunnen ontwikkelen (Parry, 1990). In de geïntegreerde landbouw wordt bemesting en plaagbestrijding op elkaar afgestemd: bij verlaging van nutriëntentoeiening moet het gewasbeschermingsmiddelen-verbruik ook worden aangepast en andersom (Wijnands et al., 1992). De relatie tussen bemesting en plaaggevoeligheid heeft kennelijk een optimum, en het vinden van dat optimum met behulp van modelberekening vergt een integraal model.

Ook op het gebied van de verdeling over de compartimenten beïnvloedt bemesting de bestrijdingsmiddelen en omgekeerd, terwijl nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen zowel bewust als onbewust in combinatie worden toegepast. Een belangrijk gedeelte van de emissie van actieve stoffen uit het systeem wordt bepaald door de verhouding van de verblijftijd en de omzettingssnelheid van de actieve stof in de bodem. De verblijftijd wordt bepaald door bodemkenmerken (organische stof, dichtheid, waterhoudend vermogen en dergelijke, eigenschappen die door bemesting sterk beïnvloed worden), klimatologische verschijnselen (temperatuur, neerslag, uitdroging en dergelijke) en stofkenmerken (bodemadsorptie-coëfficiënt K_{om}). De omzettingssnelheid van actieve stoffen wordt bepaald door spontane desintegratie en microbiële afbraak in de bodem. De aanwezigheid van micro-organismen in de bodem is evenzeer van belang voor de omzetting van meststoffen in voor de plant opneembare mineralen.

Als illustratie van een bewust gecombineerde toediening van mest- en bestrijdingsstoffen kunnen de fertilizatoren (zie tabel 4.1) worden genoemd. Fertilizatoren zijn stoffen die in een mengsel als kunstmest op de markt komen. In het nutriëntenmodel zullen ze als kunstmest verwerkt worden en zal worden berekend in hoeverre ze bijdragen aan de N-, P- en K-pool in de bodem en het gewas. In deze mengsels komen echter ook stoffen voor die naast een bemestings- ook een grondbehandelingseffect hebben. Deze stoffen, met bijvoorbeeld een schimmelgroeiremmend of -stimulerend effect, werken in op de gewasgroei. Uitspoeling echter kan ongewenste effecten hebben in grond- en oppervlaktewater. Het is nog niet geheel duidelijk wat de effecten op dit moment zijn, deze ontwikkeling is nog betrekkelijk nieuw, maar het ligt voor de hand dat, als in de toekomst chemische grondbehandeling meer en meer aan banden zal worden gelegd, deze mengsels een grotere rol zullen gaan spelen (onder de noemer "bemesting"). Op dat moment is een uitspoeling van de bulkmineralen berekend door het SSM-nut niet voldoende. Het omgekeerde komt ook voor: stoffen die worden verspoten ter bescherming van het gewas, die door de plant, via wortels of bladoppervlak, worden opgenomen en door de plant, al of niet in afgebroken vorm, als voedingsstof in het weefsel worden ingebouwd.

De onbewuste vermenging van mest- en bestrijdingsstoffen gebeurt bijvoorbeeld bij de toediening van dierlijke mest. Dierlijke mest draagt bodemactiviteitsverstorende stoffen in zich, ten gevolge van aan het veevoer toegevoegde diergeneesmiddelen. Veel van die (systemische) diergeneesmiddelen hebben een antibiotische werking. Diergeneesmiddelen worden in het lichaam opgeslagen, uitgescheiden in de mest/urine, en afgebroken. De verhouding tussen opslag en uitscheiding wordt bepaald door de P_{ocr} , een met de K_{om} samenhangende coëfficiënt. Antibiotica in de mest remmen de microbiële activiteit in de bodem (Van Gool, 1993). Dat heeft gevolgen voor de vruchtbaarheid van de bodem en de benutting van de in de bodem opgeslagen mineralen (bijvoorbeeld de N-fractie die in twee jaar beschikbaar wordt geacht kan daar belangrijk langer over doen als er geen adequate microbiële bodemactiviteit aanwezig is), maar ook voor de afbraak van actieve stoffen uit de bestrijdingsmiddelen in de bodem, en dus voor de emissie uit het systeem.

Wat betreft de koppeling tussen nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen in de geïntegreerde landbouw is een overeenkomstige koppeling in het SSM een logische stap en absoluut noodzakelijk om deze vorm van landbouw, zeker als zij in de toekomst zal worden uitgebreid (Ministerie LNV, 1992; Vereijken 1992), te

kunnen blijven programmeren. Wat betreft de gecombineerde toediening van bemesting en plaagbestrijding kunnen, indien voortschrijdend onderzoek (antibiotica in dierlijke mest) en zich doorzettende ontwikkelingen (fertilizatoren) het belang aantonen, deze argumenten sterker worden. Het verdient dan ook om die reden aanbeveling nu reeds de verschillende modellen zoveel mogelijk op elkaar te laten aansluiten zodat in de toekomst informatie-uitwisseling tussen de modellen eenvoudig zal zijn.

6.3.5 Conclusie

De conclusie uit paragraaf 6.3 is dat ondanks de verschillen tussen nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen een koppeling niet onmogelijk is, en dat de eis tot aanpassing voor de koppeling slechts bestaat uit het inbouwen van technieken om gegevens uit een groot gegevensbestand voor bijvoorbeeld stofkenmerken te kunnen lezen, het inbrengen van een toedieningsdatum en een geringe aanpassing van de systeemgrenzen. De behoefte aan basisgegevens van beide modellen vertoont een substantiële overlap. De nieuw ingelezen gegevens kunnen de kwaliteit van beide berekeningen verhogen. Bovendien is de wederzijdse beïnvloeding van de twee stofstromen van dien aard dat scheiding van de berekeningen de voorspelbare foutenmarge zal vergroten.

Dat betekent dat voor de modellering slechts één keer de organische stroom gemodelleerd hoeft te worden, waar dan vervolgens nutriënten, bestrijdingsmiddelen, zware metalen, energie(dragers) enzovoort kunnen worden ingebouwd.

7. SAMENVATTING

7.1 Inleiding

Het beleid van de Nederlandse overheid betreffende gewasbeschermingsmiddelen is vastgelegd in drie opeenvolgende regeringspublicaties: Nationaal Milieubeleidsplan, Structuurnota Landbouw en Meerjarenplan Gewasbescherming. Het beleid om de emissie van gewasbeschermingsmiddelen terug te dringen volgt twee beleidslijnen:

- het Volumebeleid, uitgesplitst in drie strategische hoofdlijnen;
 - vermindering van de afhankelijkheid van chemische gewasbescherming;
 - vermindering van de omvang van het verbruik van chemische bestrijdingsmiddelen;
 - vermindering van de emissie van chemische bestrijdingsmiddelen naar het milieu, met name naar grondwater, oppervlaktewater en lucht.
- Het Stoffenbeleid, waarin beperkingen voor toelating van de meest gevaarlijke stoffen geformuleerd worden.

De voortgang van het beleid heeft te lijden onder een gebrek aan adequate registratie: er is te weinig inzicht in de verbruiks- en emissiecijfers van bestrijdingsmiddelen, met name betreffende de verdeling van de emissies naar de te onderscheiden milieucompartimenten en de spreiding over de verschillende regio's. Ook is er behoefte aan inzicht in de gevolgen van allerlei mogelijke beleidsmaatregelen, die zich via het bedrijfseconomisch gedragspatroon van de ondernemer laten vertalen in kosten en emissie van bestrijdingsmiddelen.

Om aan die behoefte tegemoet te komen wordt een Stofstromenmodel voor gewasbeschermingsmiddelen (SSM-gbm) opgezet. In de eerste (pilot)fase wordt:

- een bedrijfssysteem omgevormd tot een stromenmodel;
- een literatuuronderzoek gedaan naar modellen of onderdelen daarvan, die mogelijkwerwijs geschikt zijn om te worden geïntegreerd in een stromenmodel;
- aan de hand van procesbeschrijvingen en een rekenvoorbeeld bezien welke gegevens en rekenregels benodigd zijn voor de beschrijving van de stromen en de verdeling van gewasbeschermingsmiddelen, en
- gesignaleerd welke gegevens en inzichten nog ontbreken.

Tevens wordt bezien of en in welke mate er een koppeling kan (en moet) worden gelegd met het reeds bestaande Nutriëntenstromenmodel (SSM-nut).

7.2 Chemische stoffen in de agrarische sector

In het MJP-G wordt in het begrippenpatroon geen consequent onderscheid gemaakt tussen gewasbeschermingsmiddelen en de actieve stoffen daarin. Dat werkt verwarrend en er wordt dan ook gepleit voor een indeling van middelen op grond van het gebruik. Het zijn de hulpstoffen in het middel die bepalen hoe het middel, dit is het mengsel van actieve en hulpstoffen, kan worden toegepast. De wijze van toediening bepaalt vervolgens waar de actieve stoffen in het milieu terecht komen.

Het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen heeft behalve de bedoelde effecten op de aantasting van het gewas negatieve bij-effecten zowel binnen de landbouwdoelstelling (bijvoorbeeld het uitroeien van natuurlijke vijanden van de gewasaantasting) als buiten het landbouwbedrijf (bijvoorbeeld verontreiniging drinkwater). De ecotoxicologische eigenschappen van een stof worden bepaald

door specifieke kenmerken van de toxische stof. Deze en dergelijke kenmerken bepalen ook de verplaatsbaarheid (mobiliteit) van de stof in het milieu.

7.3 Stofstromen op bedrijfsniveau

Het bedrijfsmodel is de kern van het Stofstromenmodel. Binnen dit model wordt inzichtelijk gemaakt dat stoffen, en dus ook bestrijdingsmiddelen, binnen het bedrijf circuleren met als drijvende kracht de circulatie van organisch materiaal. In principe wordt geteeld gewas door de landbouwdieren gegeten en wordt de mest die door de dieren geproduceerd wordt door het gewas opgenomen. Dit is echter een vereenvoudigd schema, daar zowel voer als (kunst)mest ook van buiten wordt ingevoerd. Ook treden bedoelde en onbedoelde lekstromen in deze circulatie op. De bedoelde lekstromen (bijvoorbeeld verkocht produkt) zijn reeds goed in kaart te brengen, maar het bedrijfsmodel geeft ook de mogelijkheid de onbedoelde lekstromen (bijvoorbeeld verwaaiing, uitspoeling) te traceren.

Om te kunnen definiëren waar en wanneer een lekstroom het systeem verlaat is een nauwkeurige grensbepaling van het systeem noodzakelijk. Evenals in het SSM-nut werd gekozen deze grens te bepalen op de door de boer beïnvloedbare ruimte. In verticaal opzicht is dat de ruimte tussen de spuitmond en de onderkant van de wortelzone, in horizontaal opzicht zijn dat de grenzen van het te bespuiten areaal.

7.4 Modelonderzoek

Er kan verwacht worden dat uit het bovengenoemde bedrijfssysteem reeds onderdelen in modelvorm zijn beschreven. Om dit voor het hele model na te gaan werd in de pilot-opzet te ambitieus geacht. Daarom werd, als voorbeeld, bekeken in hoeverre de bestrijdingsmiddelenstromen in en rond de akker aan de hand van reeds bestaande modellen en algemene informatie over het gedrag van deze stoffen te beschrijven zijn.

Uit het literatuuronderzoek bleek dat de reeds bestaande modellen slechts beperkt bruikbaar zijn, omdat deze modellen als uitgangspunt veelal een compartiment buiten het landbouwsysteem kiezen. Verder bleek dat grote delen van de stroom slechts globaal beschreven zijn terwijl andere delen geheel ontbreken in de modelbeschrijvingen. Alleen voor de bodemprocessen bleek een voor de Stofstromenmodellering bruikbaar model (PESTLA) beschikbaar. Voor de overige, bovengrondse, onderdelen van de akker zal aan de hand van proces- en gedragsbeschrijvingen een stofstromenmodellering moeten worden ontwikkeld.

De bovengrondse kernprocessen in de stroombenadering zijn, naast de afbraak van de actieve stof die overal in de stroom kan plaatsvinden, verwaaiing tijdens de toediening, interceptie door het gewas, afspoeling naar het oppervlaktewater, adsorptie aan het bouwvoormateriaal en vervluchtiging van de actieve stof direct na toediening vanuit het water op het gewas en op de bodem. Vervluchtiging en adsorptie zowel op het gewas als op het bodemoppervlak werden geïdentificeerd als competitieve processen, dat wil zeggen afhankelijk van de eigenschappen van de actieve stof treedt of het ene of het andere proces op.

De rekenkundige beschrijving van deze processen kon met behulp van een spreadsheet zodanig worden weergegeven dat, op basis van enkele, gefingeerde, cijfers die door een bedrijf geleverd worden, kon worden aangegeven welk gedeelte van het toegediende volume terecht komt in de compartimenten Produkt, Atmosferische Lucht, Oppervlaktewater en Bodem. De hoeveelheid actieve stof in het compartiment Produkt wordt in de stofstroom opgenomen via de, nog te beschrijven, module Gewasopslag, en de hoeveelheid actieve stof in het compartiment Bodem wordt verder bewerkt in de module Bodemprocessen, gebaseerd op het model PESTLA.

7.5 Dataverzamelingen

Uit de procesbeschrijvingen en de voorbeeldmodellering in hoofdstuk 4 is duidelijk geworden wat de aard is van de gegevens die noodzakelijk zijn voor de beschrijving van de stroom van gewasbeschermingsmiddelen door het landbouwsysteem.

Op het LEI-DLO zijn twee gegevensbanken aanwezig, voortkomend uit registraties van cijfers die door de landbouwbedrijven in Nederland worden geleverd. De grootste van die twee, de landbouwtelling of "Meitelling", bevat algemene gegevens van alle landbouwbedrijven in Nederland. Deze zijn te koppelen aan de gegevens in het LEI-boekhoudnet waarin de bedrijfseconomische gegevens van een steekproef uit de landbouwbedrijven in Nederland worden verzameld. Daarnaast zijn een aantal databases met "vaste gegevens" aanwezig, die bij berekeningen kunnen worden gebruikt.

Bekeken werd hoe de voor het Stofstromenmodel interessante gegevens, zoals gesuggereerd in hoofdstuk 4, geregistreerd staan, en in hoeverre die gegevens moeten worden aangepast en/of aangevuld. Geconstateerd wordt dat de registratie van de bedrijfseconomische gegevens een te verwachten sterk economisch accent dragen, maar dat deze met hier en daar geringe aanpassingen voor technisch onderzoek toch bruikbaar zijn. De registratie van productie- en verbruiksgegevens op het gebied van bestrijdingsmiddelen geven een goede basis om te worden gekoppeld aan technische coëfficiënten.

Van de databases met "vaste gegevens" wordt het voorbeeld van de Lijst met gewasbeschermingsmiddelen uitgewerkt. Deze lijst kan worden uitgebreid met de resultaten van reeds beschikbaar en nog lopend onderzoek, en daarmee worden omgevormd tot een database zoals voor het Stofstromenmodel noodzakelijk is.

Voor de aanvulling met technische coëfficiënten betreffende bodem, gewas, toediening en klimaat lijken de databestanden op het LEI-DLO niet in de eerste plaats geschikt, maar door koppeling met databestanden van zusterinstituten kunnen deze gegevens voor het Stofstromenmodel toch beschikbaar worden gemaakt.

De gegevensverzameling op het LEI-DLO neigt steeds meer naar milieugevoelige gegevens. Deze trend zal in de toekomst worden voortgezet, temeer daar zowel op het LEI-DLO als ook bij de zusterinstituten ontwikkelingen zichtbaar zijn die deze milieu-economische gegevens ook op andere wijze nodig zullen hebben.

7.6 Evaluatie

Het onderzoek richtte zich op de beantwoording van drie vragen:

1. wat is er met een eventueel te ontwikkelen Stofstromenmodel voor gewasbeschermingsmiddelen te bereiken?
2. welke kennis van noodzakelijke gegevens en coëfficiënten en van fysisch-chemische, bedrijfseconomische en psycho-sociologische relaties ontbreekt nog?
3. welke relatie moet het te ontwikkelen model hebben met het reeds bestaande Nutriëntenstromenmodel?

Wat de eerste vraag betreft kan gesteld worden dat het Stofstromenmodel op een veel lager aggregatieniveau kan werken dan de nu op het gebied van gewasbeschermingsmiddelen beschikbare modellen. Daardoor kan een hogere accuratesse worden bereikt en wordt het mogelijk probleemoplossende beleidsmaatregelen af te stemmen op het probleem. Hierdoor kan worden voorkomen dat het beleid problemen verplaatst in plaats van ze op te lossen. Het Stofstromenmodel kan door zijn gestructureerde aanpak een stimulerende factor worden voor uitwisseling van expertise tussen de verschillende onderzoeken die gedaan worden aan de compartimenten waartussen het Stofstromenmodel de verbinding

legt. Daardoor zal het in toenemende mate mogelijk worden beleidslijnen en -alternatieven van tevoren op bedrijfseconomische en milieu-impact door te rekenen.

Wat betreft de tweede vraag is het duidelijk geworden dat de kennis die aanwezig is zeer verspreid is. Zowel in het samenbrengen van relaties als van gegevens zal strak moeten worden samengewerkt met zusterinstituten. Een groot deel van de benodigde kennis is reeds beschikbaar en zal moeten worden samengebracht in het Stofstromenconcept, een aanvullend deel zal nog moeten worden ontwikkeld. De gegevensverzameling van het LEI-DLO is geschikt of geschikt te maken voor het Stofstromenmodel, voor technische gegevens zal voor een belangrijk deel een beroep moeten worden gedaan op gegevensbestanden bij de zusterinstituten.

In de beantwoording van de derde vraag wordt uitgegaan van het feit dat alle stofstromen op het landbouwbedrijf "inhaken" op de stroom van organische stof door het bedrijf. Dat betekent dat in principe één stofstromenmodel voor alle stromen kan worden gebouwd, waarin de karakteristieken van elke stroom kan worden ingevoerd. Geconstateerd wordt dat de verschillen tussen nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen deze koppeling niet onmogelijk maken, en dat de wederzijdse beïnvloeding van de twee stromen in toepassing en in werking in het veld beter verklaarbaar en voorspelbaar wordt door de koppeling van de twee stofstromen.

LITERATUUR

- Abel, P.D. (1980)
Toxicity of γ -hexachlorocyclohexane (Lindane) to Gammarus pulex: mortality in relation to concentration and duration of exposure; Freshwater Biology 10: 251 - 259
- Alexander, M. (1981)
Biodegradation of chemicals of environmental concern; Science 211: 132 - 138
- Berends, A.G. (1988)
Bestrijdingsmiddelen en oppervlaktewaterkwaliteit; Een inventarisatie van het gebruik van bestrijdingsmiddelen in de akkerbouw en tuinbouw; Instituut voor Onderzoek aan Bestrijdingsmiddelen, Wageningen
- Berg, R. van den, A.M.A. van der Linden, J.H.C. Mülschlegel, C.G.E.M. van Beek, J.A. Jobsen, M. Leistra en J. Hoeks (1990)
Verdunding en omzetting van bestrijdingsmiddelen in grondwater; Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), rapportnummer 725801002, Bilthoven
- Birmingham, B.C. and B. Colman (1983)
Potential phytotoxicity of diquat accumulated by aquatic plants and sediments; Water, Air and Soil Pollution; 19: 123 - 131
- Boehncke, A., J. Siebers and H.G. Nolting (1990)
Investigations of the evaporation of selected pesticides from natural and model surfaces in field and laboratory; Chemosphere 121/9: 1109 - 1124
- Boerma, J. en Y. Hofmeester (1992)
Bedrijfssystemenonderzoek Borgerswold; Invulling gewijzigde voortzetting vanaf 1991; Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (PAGV), verslag nr. 146, Lelystad
- Boesten, J.J.T.I. and A.M.A. van der Linden (1991)
Modeling the influence of sorption and transformation on pesticide leaching and persistence; Journal of Environmental Quality 20: 425 - 435
- Bruggeman, W.A., L.B.J.M. Martron, D. Kooiman, & Hutzinger, (1981)
Accumulation and elimination kinetics of di-, tri- and tetra chlorobiphenyls by goldfish after dietary and aqueous exposure; Chemosphere 10/8: 811 - 832
- Bruggeman, W.A. (1985)
De voorspelbaarheid van bioaccumulatie van sterk lipofiele stoffen in waterdieren; Vakblad voor Biologen 65 nr. 13/14: 34 - 39

- Bruggeman W.A., M.A.T. Kerkhoff en R.C.C. Wegman (1985)
Verspreiding van organische microverontreinigingen in onderwaterbodems en de relatie tot accumulatie in waterorganismen; in: *Onderwaterbodems, rol en lot*. Proc. Symp. Rotterdam, 28-29/05/85; V.W.J. van den Bergen, M.A.T. Kerkhoff en R.C.C. Wegman (eds): 57 - 71
- Buurveld, H.A., H. Dost en R. van der Hoorn (1988)
Grondontsmettingsmiddelen en hun verspreiding door de lucht; Rijksuniversiteit Groningen, Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde serie studentenverslagen nr. 39
- Capri, E. and A. Walker (1993)
Biodegradation of liquid and microencapsulated formulations of Alachlor in a clay loam soil; Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 50: 506 - 513
- Caron, G., I.H. Suffet and T. Belton (1985)
Effect of dissolved organic carbon on the environmental distribution of non-polar organic compounds; Chemosphere 14/8: 993 - 1000
- Coats, J.R. and N.L. O'Donnell-Jeffery (1979)
Toxicity of four synthetic pyrethroid insecticides to rainbow trout; Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 23: 250 - 255
- Cohen, Y. (1986)
Organic pollutant transport; Environmental Science and Technology 20/6: 538 - 544
- Conrad, J.M. and L.J. Olson (1992)
The economics of a stock pollutant: Aldicarb on Long Island; Environmental and Resource Economics 2: 245 - 258
- Cramer, J.M. (1988)
De afstemming van ecologisch onderzoek op de milieuproblematiek; Milieu 88/2: 56 - 58
- Darwinkel, A. (1980)
Invloed van stikstofdeling op gele roest en meeldauw bij wintertarwe; Bedrijfsontwikkeling 11/4: 412 - 415
- Davis, B.N.K., K.H. Lakhani, T.J. Yates, A.J. Frost and R.A. Plant (1993)
Insecticide drift from ground-based, hydraulic spraying of peas and brussels sprout: bio-assays for determining buffer zones; Agriculture, Ecosystems and Environment 43: 93 - 108
- Faasen, R. (1988)
Bestrijdingsmiddelen: strijd met waterkwaliteit? H2O 21/25: 727 - 730
- Fannin, T.E., M.D. Marcus, D.A. Anderson and H.L. Bergman (1981)
Use of a fractional factorial design to evaluate interactions of environmental factors affecting biodegradation rates; Applied Environmental Microbiology 42/6: 936 - 943

- Galassi, S. and M. Migliavacca (1986)
Organochlorine residues in river Po sediment: testing the equilibrium condition with fish; Ecotoxicology and Environmental Safety 12: 120 - 126
- Gool, S. van, (1993)
Mogelijke effecten van antibiotica-residuen in dierlijke mest op het milieu; Tijdschrift voor Diergeneeskunde 118/1: 8 - 10
- Groen, M. (1992)
Serie Milieu Beleidsindicator; Milieu Magazine 3/1-8
- Groot, W.T. de, en A.J. Murk (1986)
Risico's van gif: een globale stapsgewijze integratie van ecologische; Risicofactoren; Milieu 86/1: 8 - 14
- Håkanson, L. (1984)
Aquatic contamination and ecological risk; An attempt to a conceptual framework; Water Research 18: 1107 - 1118
- Halter, M.T. and H.E. Johnson (1974)
Acute toxicities of a polychlorinated biphenyl (PCB) and DDT alone and in combination to early life stages of Coho-salmon (Oncorhynchus kisutch); Journal of the Fisheries Research Board of Canada 31/9: 1543 - 1547
- Hanegraaf, M.C., T. van der Meij, P. Vos, en H.J. de Graaf (1992)
Natuur en milieu in de landbouw; Relaties voor beleid en onderzoek 4; Bestrijdingsmiddelen; Rijksuniversiteit Leiden, Vakgroep Milieubiologie, rapport nr. 92-07
- Harrewijn, P. (1981)
De invloed van de voedingstoestand van de gewassen op de ontwikkeling van bladluispopulaties; 1. Relaties tussen bladluizen en hun waardplanten; Bedrijfsontwikkeling 12/7-8: 749 - 754
- Hasset, J.P. and M.A. Anderson, (1979)
Association of hydrophobic organic compounds with dissolved organic matter in aquatic systems; Environmental Science and Technology 13/12: 1526 - 1529
- Heidt, L.M. van der, (1988)
Modellering van gedrag van milieuvreemde verbindingen in de bodem: een literatuuroverzicht; Landbouwniversiteit Wageningen, vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, sectie Bodemhygiëne en -verontreiniging, Doctoraalscriptie
- Heijungs, R., J.B. Guinée, G. Huppes, R.M. Lankreijer, H.A. Udo de Haas, A. Wegener Sleeswijk, A.M.M. Ansems, P.G. Eggels, R. van Duin en H.P. de Goede (1992)
Milieugerichte Levenscyclusanalyses van produkten. I Handleiding, II Achtergronden; Centrum voor Milieukunde Leiden (CML), rapport nrs. 9253, 9254
- Hrubec, J. (1988)
Bestrijdingsmiddelen en drinkwater; H2O 21/11: 278 - 282

- Karickhoff, S.W., D.S. Brown and T.A. Scott (1979)
Sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments; Water Research 13: 241 - 248
- Kavelaars, J.P.I.M. en K.J. Poppe (1993)
Het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen in de akkerbouw in 1989/90 en 1990/91; LEI-DLO onderzoekverslag 111, 's-Gravenhage
- Kenaga, E.E. and C.A.I. Goring (1980)
Relationship between water solubility, soil sorption, octanol-water partitioning and concentration of chemicals in biota; in: Aquatic Toxicology, Proc. 3rd Ann.Symp. ASTM STP 707, J.G. Eaton, P.R. Parrish and A.C. Hendricks (eds): 78 - 115
- Klep, L. (1989)
Van landbouw en veeteelt wordt een nieuw wonder verwacht; in: Milieu, kiezen of verliezen. Maurits Groen (red.): 67 - 82; Staatsdrukkerij en Uitgeverij (SDU), 's-Gravenhage
- Koeijer, T.J. de, en G.A.A. Wossink (1990)
Emissies van meststoffen en bestrijdingsmiddelen in de akkerbouw; Landbouwwuniversiteit Wageningen, vakgroep Agrarische Bedrijfseconomie
- Kooijman, S.A.L.M. (1985)
Ecotoxicologische effecten op populatieniveau; Vakblad voor Biologen 65/13,14: 39 - 42
- Kooijman, S.A.L.M. (1987)
A safety factor for LC50 values allowing for differences in sensitivity among species; Water Research 21/3: 269 - 276
- Kort, C.A.D. de, (1987)
Ecologische en fysiologische betekenis van biotransformatie van lichaamsvreemde stoffen (xenobiotica) bij insekten; Vakblad voor Biologen 67/1: 3 - 7
- Krahn, M.M., M.S. Myers, D.G. Burrows and D.C. Malins (1984)
Determination of metabolites of xenobiotics in the bile of fish from polluted waterways; Xenobiotica 14/8: 633 - 646
- Kuiper, J. (1985)
Modelsystemen in de aquatische ecotoxicologie; Vakblad voor Biologen 65/13,14: 49 - 54
- Kumaraguru, A.K. and F.W.H. Beamish (1981)
Lethal toxicity of permethrin (NRDC-143) to rainbow trout, Salmo gairdneri, in relation to body weight and water temperature; Water Research 15: 503 - 505
- Lal, B. and T.P. Singh (1987)
Impact of pesticides on lipid metabolism in the freshwater catfish Clarias batrachus during the vitellogenic phase of its annual reproductive cycle; Ecotoxicology and Environmental Safety 13: 13 - 23
- Landbouwschap (LBS) (1993)
Bestuursovereenkomst Uitvoering Meerjarenplan Gewasbescherming; Landbouwschap 03/1975.26, 's-Gravenhage

- Lewis, M.A. and B.G. Hamm, (1986)
Environmental modification of the photosynthetic respons of lake plankton to surfactants and significance to the laboratory-field comparison; Water Research 20/12: 1575 - 1582
- Linden, A.M.A. van der, en J.J.T.I. Boesten (1989)
Berekening van de mate van uitspoeling en accumulatie van bestrijdingsmiddelen als functie van hun sorptiecoëfficiënt en omzettingssnelheid in bouwvoormateriaal; Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), rapportnr. 728800003. Bilthoven
- Linders, J.B.H.J., R. Luttik, J.M. Knoop en D. van de Meent (1990)
Beoordeling van het gedrag van bestrijdingsmiddelen in oppervlaktewater in relatie tot expositie van waterorganismen; Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), rapportnr. 678611002, Bilthoven
- Lyman, W.J. (1982)
Adsorption coefficients for soils and sediments; Handbook of chemical property estimation methods. Environmental behavior of organic compounds. W.J. Lyman, W.F. Reehl and D.H. Rosenblatt (eds): McGraw-Hill Book Company, New York: ch 4/1-33
- Mackay, D. and S. Paterson (1981)
Calculating fugacity; Environmental Science and Technology 15/9: 1006 - 1014
- Mackay, D., S. Paterson and B. Cheung (1985)
Evaluating the environmental fate of chemicals. The fugacity - Level III approach as applied to 2,3,7,8-TCDD; Chemosphere 14/6-7: 859 - 863
- McCall, P.J. et al. (1981)
Prediction of chemical mobility in soil from sorption coefficients; Aquatic Toxicology and Hazard assessment; 4th Conf. ASTM STP 737, D.R. Brandson and K.L. Dickson, eds. American Society for testing and materials, 1981 pp 49 - 58
- Meij, T. van der, (red.) (1991)
Effectvoorspelling: XI Multicompartmentale methoden; Reeks Milieu-Effect Rapportage nr. 39
- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (1990a)
Rapportage Werkgroep Beperking Emissie; Achtergronddocument Meerjarenplan Gewasbescherming, 's-Gravenhage
- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (1990b)
Structuurnota Landbouw: regeringsbeslissing; Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergjr 89-90, 21148 nrs. 2 en 3, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (1991)
Meerjarenplan Gewasbescherming; regeringsbeslissing; Tweede Kamer der Staten Generaal, vergjr 90-91, 21677 nrs. 3-4, 's-Gravenhage
- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (1992)
Biologische Landbouw, notitie; Tweede Kamer der Staten Generaal, vergjr 92-93, 22817 nr. 1, 's-Gravenhage.

- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1989a)
Bedrijfsinterne milieuzorg, notitie; Tweede Kamer der Staten Generaal, vergjr 88-89, 20633 nr. 3, 's-Gravenhage
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1989b)
Nationaal Milieubeleidsplan, kiezen of verliezen; Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergjr 88-89, 21137 nrs. 1 en 2, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1990)
Nationaal Milieubeleidsplan; Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergjr 89-90, 21137 nrs. 20 en 21, 's-Gravenhage
- Mulder, M. en K.J. Poppe (red.) (1993)
Landbouw, milieu en economie. Proeve van een periodieke rapportage voor monitoring; LEI-DLO periodieke rapportage 68-69, 's-Gravenhage
- Mushak, E.W. and W.T. Piver (1992)
Agricultural Chemical utilization and human health: a meeting report; Environmental Health Perspectives 97: 269 - 274
- Nyberg, H., (1988)
Growth of Selastrum capricornutum in presence of synthetic surfactants; Water Reserach 22/2: 217 - 233
- Oppenoorth, F.J. (1987)
Resistentie-ontwikkeling tegen pesticiden; Vakblad Biologen 67/1: 8 - 12
- Opperhuizen, A. and R.C.A.M. Stokkel (1988)
Influence of contaminated particles on the bioaccumulation of hydrophobic organic micropollutants in fish; Environmental Pollution 51: 165 - 177
- Oskam, A.J., H. van Zeits, G.J. Thijssen, G.A.A. Wossink and R. Vijftigschild (1992);
Pesticide use and pesticide policy in the Netherlands; Wageningen Economic Studies 26, Landbouwwuniversiteit Wageningen
- Parry, D.W. (1990)
Plant pathology in agriculture; Cambridge University Press, Cambridge
- Pompe, J.C.A.M., H.J. Holterman and B.C.P.M. van Straelen (1992)
Technical aspects of pesticide application. A literature review; Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen-Dienst Landbouwkundig Onderzoek/Landbouwwuniversiteit Wageningen, rapport 92-11
- Poppe, K.J. (1987)
Metten met twee maten: sbe en nge/EGE; Tijdschrift voor Sociaal Wetenschappelijk onderzoek in de Landbouw 2/2: 113 - 128
- Poppe, K.J. (red.) (1992)
Het LEI-boekhoudnet van A tot Z; LEI-DLO publikatie 3.151, 's-Gravenhage
- Reus, J.A.W.A. (1991)
Milieumeetlat voor bestrijdingsmiddelen. Ontwikkeling en plan voor toetsing; Centrum voor Landbouw en Milieu, 1991 - 80, Utrecht
- Reus, J.A.W.A. (1992)
Milieumeetlat voor bestrijdingsmiddelen. Toetsing en bijstelling; Centrum voor Landbouw en Milieu, 1992 - 96, Utrecht

- Richards, D.J. and W.K. Shieh, (1986)
Review Paper. Biological fate of organic priority pollutants in the aquatic environment; Water Research 20/9: 1077 - 1090
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM)/Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) (1991)
Sustainable use of groundwater. Problems and threats in the European Communities; Discussie Document EG Minister Conferentie over Grondwater, 26 - 27 november 1991; Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne rapport nr. 600025001, Bilthoven
- Salomons, W. en B.E.M. Stol (1992)
Diffuse bronnen in de landbouw; Rapport Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Haren
- Scow, K.M. (1982)
Rate of biodegradation; Handbook of chemical property estimation methods. Environmental behavior of organic compounds. W.J. Lyman, W.F. Reehl and D.H. Rosenblatt (eds); McGraw-Hill Book Company, New York: ch 9/1-85
- Smith, A.E. and A.J. Aubin (1993)
Degradation of 14C-Glyphosate in Saskatchewan soils; Environmental Contamination and Toxicology 50: 499 - 505
- Straalen, N.M. van, and C.A.J. Denneman (1989)
Ecotoxicological evaluation of soil quality criteria; Ecotoxicology and Environmental Safety 18: 241 - 251
- Sterrenburg, P. (1992)
Noodzaak en kansen om het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen in de vollegrondsgroente te beperken; in: J.A. Riemens (red.) Themadag Gewasbescherming Vollegrondsgroenten: naar nieuwe wegen in de beheersing van ziekten en plagen: 7 - 12
- Swann, R.L., P.J. McCall, D.A. Laskowski and Dishburg (1981)
Estimation of soil sorption constants of organic chemicals by high-performance liquid chromatography; in: Aquatic Toxicology and Hazard assessment. Proc. 4th Ann.Symp. ASTM. STP 737. D.R. Brandson and K.L. Dickson (eds). : 43 - 48
- Sun, H., J.C. Bergstrom and J.H. Dorfman (1992)
Estimating the benefits of groundwater contamination control; Southern Journal of Agricultural Economics 92: 63 - 71
- Trevisan, M., C. Montepiani, L. Ragozza, C. Bartoletti, E. Ioanilli and A.A.M. Del Re, (1993)
Pesticides in rainfall and air in Italy; Environmental Pollution 80: 31 - 39
- Thomas, R.G. (1982a)
Volatilization from water; Handbook of chemical property estimation methods. Environmental behavior of organic compounds. W.J. Lyman, W.F. Reehl and D.H. Rosenblatt (eds); McGraw-Hill Book Company, New York: ch 15/1-34
- Thomas, R.G. (1982b)
Volatilization from soil; Handbook of chemical property estimation methods. Environmental behavior of organic compounds. W.J. Lyman, W.F. Reehl and D.H. Rosenblatt (eds); McGraw-Hill Book Company, New York: ch 16/1-50

- Tu, C.M. (1988)
Effects of selected pesticides on activities of invertase, amylase and microbial respiration in sandy soil; Chemosphere 17/1: 159 - 163
- Veen, M.Q., van der, H.F.M. Aarts, J. Dijk, N. Middelkoop en C.S. van der Werf (1993)
Stofstromen in de Nederlandse landbouw. Deel 1: Nutriëntenstromen op melkveebedrijven in Gelderland; LEI-DLO/CABO-DLO, Onderzoekverslag 112/Verslag 174
- Vereijken, P. (1992)
A methodic way to more sustainable farming systems; Netherlands Journal of Agricultural Science 40: 209 - 223
- Vliet, P.J.M. van, (red.) (1992)
Beoordeling van bestrijdingsmiddelen met betrekking tot milieuaspecten en landbouwkundig nuttige organismen; Commissie voor de Toelating van Bestrijdingsmiddelen (CTB), Wageningen
- Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) (1992)
Milieubeleid. Strategie, instrumenten en handhaafbaarheid; SDU uitgeverij, 's-Gravenhage
- Wiederholm, T. (1984)
Incidence of deformed Chironomid larvae (Diptera: Chironomidae) in Swedish Lakes; Hydrobiologia 109: 243 - 249
- Wood, J.M. (1982)
Chlorinated hydrocarbons: oxidation in the biosphere; Environmental Science and Technology 16/5: 291A - 297A
- Wijnands, F.G., S.R.M. Janssens, P. van Asperen en K.B. van Bon (1992)
Innovatiebedrijven geïntegreerde akkerbouw: Opzet en eerste resultaten; Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (PAGV), verslag nr 144, Lelystad
- Wynne, D. (1986)
The potential impact of pesticides on the Kinnereth and its watershed, over the period 1980 - 1984; Environmental Pollution 42: 373 - 386
- Yurteri, C., D.F. Ryan, J.J. Callow and M.D. Gurol (1987)
The effect of chemical composition of water on Henry's Law constant; Journal of the Water Pollution Control Foundation 59/11: 950 - 956
- Zheng, S.Q., J.F. Cooper and P. Fontanel (1993)
Movement of pendimethalin in soil of the south of France; Environmental Contamination and Toxicology 50: 492 - 498

PERSOONLIJKE MEDEDELINGEN

J.P.M. van Dijk, hoofd sectie Boekhouding, afdeling Landbouw, LEI-DLO

ing. J.H. Jager, sectie Produktiviteit, Prognoses en Rentabiliteit, afdeling Landbouw, LEI-DLO

prof. dr. N.M. van Straalen, vakgroep Oecologie en Oecotoxicologie, Vrije Universiteit Amsterdam

ir. P.B. van Tilburg, Directie Gewasbescherming, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij

ing. C.J.M. Vernooy, sectie Technisch Economisch Onderzoek, afdeling Tuinbouw, LEI-DLO

LIJST VAN AFKORTINGEN, DEFINITIES EN BEGRIPPEN

1. Afkortingen

BDL	Bedrijven Databanken LEI: zoekstelsel waarmee de databanken op het LEI met elkaar zijn te koppelen. De databanken bieden plaats aan de registratiegegevens uit BKH en andere vaste gegevens, zoals de gewasbeschermingsmiddelenlijst.
BKH	Boekhoudnet: de computerregistratie van bedrijfseconomische gegevens van landbouwbedrijven, die door LEI-DLO, mede in het kader van EG-verplichtingen, uit een netwerk van daartoe geselecteerde bedrijven wordt betrokken, met de bedoeling daaruit betrouwbare schattingen te kunnen maken, in relatie met de achtergrond van de bedrijven.
CABO	Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek: DLO onderzoeksinstituut voor de plant-bodem relatie.
CLM	Centrum voor Landbouw en Milieu: een onderzoeksbureau met als specialisatie de milieu-impact van produktiemethoden in de landbouw.
CML	Centrum voor Milieukunde, Leiden: een onderzoeksinstituut van de Rijksuniversiteit Leiden.
CTB	Commissie Toelating Bestrijdingsmiddelen.
DLO	Dienst Landbouwkundig Onderzoek: koepelorganisatie vanuit LNV, waaronder onder andere het LEI-DLO valt. Vaak als achtervoegsel achter een afkorting van een onder de dienst vallend instituut.
IMAG	Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen: DLO onderzoeksinstituut voor innovatie aan apparatuur en bedrijfsgebouwen.
gbm	Gewasbeschermingsmiddelen.
LCA	Life Cycle Analysis: een aan de stofstromenbenadering verwante modelvorm die echter veel verder gaat. De toepassing op de agrarische produktie staat echter nog in de kinderschoenen.
LEI	Landbouw-Economisch Instituut.
LNV	Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.
MJP-G	Meerjarenplan Gewasbescherming.
NEFYTO	Nederlandse Stichting voor Fytofarmacie, de grootste koepelorganisatie voor de ontwikkeling en handel van plantebescheringsstoffen.
PD	Plantenziektekundige Dienst.
RIVM	Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne.
RIZA	Rijks Instituut voor Zuivering van Afvalwater: Rijkswaterstaat instituut voor beheer van de oppervlaktewaterkwaliteit.
SC	Staring Centrum: DLO onderzoeksinstituut voor de diepere bodem.
SSM	Stofstromenmodel: een schematische en/of rekenkundige weergave van een produktieproces, waarin alle stoffen vanaf binnenkomst, bewust ingebracht of onbewust ingeslopen, tot aan de uitstoot, in het produkt, als afval of als emissie, kan worden gevolgd, gekwalificeerd en gekwantificeerd. Een SSM kan onderverdeeld worden in deelstromen, waarbij echter synergetische effecten onzichtbaar worden.
SSM-gbm	Stromenmodel Gewasbeschermingsmiddelen.
SSM-nut	Stromenmodel Nutriënten.
SSM-org	Stromenmodel Organische stof: het basale model, dat impliciet onder alle andere agrarische stofstromenmodellen ligt.

2. Definities

De in deze paragraaf genoemde definities geven aan hoe de verschillende termen in dit rapport gebruikt worden. Dat wil niet zeggen dat dit het algemeen geldend gebruik is. Vaak is er zelfs geen algemeen geldend gebruik, en is het gebruik bij anderen inconsequent (MJP-G: geneesmiddelen tegen bijvoorbeeld huidaantasting vallen wel, en tegen bijvoorbeeld darmaantasting niet onder bestrijdingsmiddelen/gewasbeschermingsmiddelen) of onlogisch (MJP-G: plantehormonen vallen onder de bestrijdingsmiddelen/gewasbeschermingsmiddelen hoewel met die middelen niets beschermd, bestreden of weggelokt wordt).

Organische microverontreiniging:

een term uit de (aquatische) ecotoxicologie, betreffende een xenobiotische, dus meestal synthetische, stof, die door menselijk handelen in het (aquatisch) ecosysteem is terecht gekomen, en negatieve effecten op het ecosysteem bewerkt bij zeer lage concentraties (drempelwaarden in de orde van $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Bestrijdingsmiddelen:

middelen (synthetische- en natuurlijke afweerstoffen, micro-organismen en virussen), geproduceerd en aangewend om waardevolle, levende of dode, produkten of productie-eenheden te beschermen tegen aantasting van biotische aard.

Gewasbeschermingsmiddelen (gbm):

een mengsel van natuurlijke of synthetische stoffen, geproduceerd en aangewend om gewas of zaad te velde, te beschermen tegen competitie en/of aantasting van biotische aard.

Pesticiden:

een mengsel van stoffen dat wordt aangewend om organismen die ziekte of vraat in het gewas veroorzaken te doden.

Herbiciden:

een mengsel van stoffen dat wordt aangewend om planten, hetzij gewasdelen (om teelttechnische redenen), hetzij (wilde) planten die met het gewas in competitie om water, voedingsstoffen of ruimte treden, te doden.

Grondontsmettingsmiddelen:

een mengsel van stoffen dat wordt aangewend om organismen in de bodem, die potentieel het gewas kunnen aantasten, te doden.

Actieve stof (ast):

de stof die, na met behulp van hulpstoffen en apparatuur in contact met het doelorganisme of -orgaan te zijn gebracht, het bedoelde effect bewerkt.

Hulpstoffen:

synthetische en natuurlijke stoffen, die voor het proces of de produkten niet noodzakelijk zijn, maar worden aangewend ter optimalisering van de productie of ter verbetering van de presentatie of werking van het produkt.

Immissie:

het ongecontroleerd binnen een compartiment komen van, voor het levens- of productieproces in dat compartiment, min of meer gevaarlijke stoffen.

Toediening:

het gecontroleerd binnen een compartiment brengen van, voor het levens- of productieproces in dat compartiment, nuttige of verstorende stoffen.

Emissie:

het ongecontroleerd buiten het productieproces geraken van, voor het proces, min of meer belangrijke stoffen of hun afbraakprodukten.

Afvalstroom:

het gecontroleerd buiten het proces brengen van voor het proces verstorende of niet (meer) nuttige stoffen en het afvoeren naar een verwerkingseenheid.

Persistentie:

de mate van weerstand die een chemische verbinding kan bieden tegen abiotische en biotische krachten, die afbouw van het molecuul bewerken.

(Spontane) desintegratie:

afbouw van het molecuul door (natuurlijke) abiotische factoren (licht, straling, temperatuur, trilling enzovoort).

Afbraak:

enzymatische afbouw van het molecuul in of bij een levende cel.

Ecosysteem:

het geheel van biotische en abiotische eenheden binnen zodanige grenzen, dat binnen dat geheel de stof- en energicyclus zich voltrekt of kan voltrekken. De stof- en energicyclus legt binnen het systeem, via fotosynthese, CO₂ vast in energierijke verbindingen, en breekt deze verbindingen weer af onder vrijmaking van energie en CO₂.

(Milieu)compartimenten:

een milieukundige term, waarmee bedoeld wordt een min of meer homogeen deel van het milieu, waarin stoffen zich onder overigens gelijke omstandigheden volgens vaste regels zullen gedragen. Er worden vier basale compartimenten onderscheiden: biota, lucht, bodem en water, die gewoonlijk in subcompartimenten worden onderscheiden. Het onderscheid tussen compartiment en subcompartiment is vaag ten gevolge van de niet duidelijk te omschrijven term "min of meer homogeen". In dit rapport worden onderscheiden:

binnen het landbouwsysteem:

- lucht boven het gewas
tussen het gewas
in de stal
- bodemdeeltjes
organische fractie
lucht
water (capillair water)
- plantaardig organismaal weefsel (gewas)
- dierlijk organismaal weefsel (dieren)

buiten (grenzend aan) het landbouwsysteem:

- atmosferische lucht
- grondwater
- oppervlaktewater

3. Begrippen

Sublethale dosis: die hoeveelheid van een stof waaraan het organisme net niet sterft, of minder. Het afweersysteem in het organisme is sterk genoeg om deze hoeveelheid stof aan te kunnen, waardoor er een immunologisch "geheugen" ontstaat, waarmee de grens tussen lethale en sublethale dosis langzaam naar boven opschuift.

LD₅₀, LC₅₀: lethale dosis/concentratie 50, een maat voor de toxiciteit: de hoeveelheid stof die het effect heeft dat 50% van de betrokken proefdieren sterft. Is erg afhankelijk van de omstandigheden waaronder gemeten wordt, en van het dier waaraan gemeten wordt.

ED₅₀, EC₅₀: effectieve dosis/concentratie 50, een maat voor de toxiciteit: de hoeveelheid stof waarbij bij 50% van de betrokken proefdieren een effect kan worden vastgesteld. Is erg afhankelijk van de omstandigheden waaronder gemeten wordt, van het dier waaraan gemeten wordt en van wat als een effect wordt gezien.

DT₅₀: halfwaardetijd, een maat voor de persistentie: de tijd die nodig is voor de afbraak, zodanig dat nog de helft van de oorspronkelijke hoeveelheid stof kan worden aangetoond. Is erg afhankelijk van de omstandigheden waaronder gemeten wordt.

Emissiemodel: een rekenkundige benadering van een compartiment of een serie van compartimenten, waarbij de nadruk ligt op het modelleren van het ontstaan en uittreden van uitgaande stromen.

Immissiemodel: een rekenkundige benadering van een compartiment of een serie van compartimenten, waarbij de nadruk ligt op het modelleren van het binnenkomen en in het compartiment verwerken en inbouwen van inkomende stromen.

Verdrifting, drift: verzamelterm voor de non-target emissiestromen van gewasbeschermingsmiddelen: uitspoelen naar het grondwater, afspoelen naar het oppervlaktewater, verwaaing tijdens spuiten naar omliggende percelen en oppervlaktewater.

Vervluchtiging: het proces waarbij een stof of verbinding overgaat in de dampfase en zich verplaatst vanuit een (basaal) ander compartiment naar het compartiment "atmosferische lucht".

Interceptie: (letterlijk "onderschepping") het proces waarin stoffen (in dit rapport met name gbm) op de bovengrondse delen van het gewas dusdanig wordt geabsorbeerd dat ze niet meer ten gevolge van stemflow of regenval in of op de bodem terecht komen.

Synergetische effecten: het effect van een mixtuur van verschillende stoffen, waarbij het gezamenlijk effect anders, en vaak groter is dan het gecumuleerde effect van de deelnemende stoffen.