



***Invloed van imidaclopridresiduen in
oppervlaktewater op bijensterfte
in Nederland***

Adindah Visser

Individuele verdieping 2009-2010

Invloed van imidaclopridresiduen in oppervlaktewater op bijensterfte in Nederland

Auteur	Adindah Visser
Opleiding	Dier- en gezondheidszorg Barneveld
Vaksenior	Kees Westerdijk
Datum	Juni 2010, IJmuiden

Voorwoord

In het kader van mijn afstudeertraject binnen de opleiding Dier- en gezondheidszorg aan de CAH Dronten heb ik zelfstandig een literatuuronderzoek uitgevoerd. Na een onderzoeksstage binnen het team van Bijen@wur, Wageningen UR, bleek ik met het bijenvirus besmet. De tussenstap om ook mijn afstudeeronderzoek op bijensterfte te richten was dan ook niet groot, en ondertussen mag ik mezelf (niet geheel zonder trots) ook immer noemen. Omdat ik ondertussen aardig bekend was met het probleem van neonicotinen en bijensterfte en er nog een hoop vragen over dit onderwerp onbeantwoord bleken, besloot ik dit verder uit te diepen

Gezien de recente discussie over de veronderstelde correlatie tussen imidaclopridresiduen in oppervlaktewater en verhoogde bijensterfte in Nederland, leek me dit een passend onderzoek. Tevens wilde ik graag meer met statistische berekeningen en analyses bezig, waar ik binnen dit onderzoek perfect mee uit de voeten kon. Hoewel ik het in de eerste plaats heel interessant en leerzaam vond om op deze manier bezig te zijn, ben ik ook een aantal interessante en soms onverwachte uitkomsten tegengekomen. De resultaten van het onderzoek heb ik in dit rapport beschreven.

Bij deze wil ik graag de volgende mensen bedanken, zonder wiens hulp dit onderzoek niet op deze manier (of zelfs helemaal niet) tot stand had kunnen komen: Kees Westerdijk voor zijn ondersteuning en advisering bij de opzet en uitvoering van het onderzoek; het team van Bijen@wur voor het ter beschikking stellen van de monitoringsgegevens en de hulp bij het werken met GIS-applicaties; Jacques Withagen voor zijn hulp bij het vervolmaken van de analyse en Jan Groenwold voor het ter beschikking stellen van de berekende waarden van imidacloprid in het milieu.

Inhoudsopgave

Samenvatting	7
Executive summary	8
Inleiding	9
Probleemstelling	10
Opbouw van het rapport	10
1. Bijensterfte en imidacloprid: wat is het probleem?	12
1.1 Eigenschappen van imidacloprid	12
1.1.1 Werking in het insect	12
Werking van het zenuwstelsel	12
Ontregeling van het zenuwstelsel	13
Effecten van imidacloprid op de honingbij	14
1.1.2 Werking in de plant	14
1.1.3 Gedrag in de grond	15
1.2 Gebruik van imidacloprid	15
1.2.1 Gebruiksgetallen in land- en tuinbouw	16
1.3 Emissie van imidacloprid	16
1.3.1 Bekende emissieroutes	16
1.3.2 Concentraties in oppervlaktewater	17
1.3.3 Translocatie naar het volk	17
Nectar en stuifmeel	18
Guttatievloeistof en oppervlaktewater	18
1.4 Andere factoren die bijensterfte beïnvloeden	19
1.4.1 Ziektes en parasieten	19
1.4.2 Achteruitgang van de dracht	20
1.4.3 Toenemende complexiteit van de imkerij	20
1.4.4 Gebruik van pesticiden in land- en tuinbouw	21
1.4.5 Genetische basis	21
1.4.6 Overige	21
1.5 Samenhang tussen factoren	22
2. Bijensterfte en imidacloprid: het probleem gaat verder dan Nederland	23
2.1 Ontwikkelingen in het verleden	23
2.2 Een internationaal probleem	23
2.3 Duurzaamheidsaspecten	24
2.3.1 Profit	24

2.3.2	People	25
2.3.3	Planet	25
2.4	Belangengroepen	26
2.4.1	Fabrikanten	26
2.4.2	Agrarische sector	27
2.4.3	Consument	27
2.4.4	Milieu	27
2.4.5	De overheid	28
2.5	Wet- en regelgeving	28
2.5.1	Europese en nationale wetgeving	28
2.5.2	Ecotoxicologische norm	29
2.5.3	Kaderrichtlijn Water	29
2.6	Basis voor besluitvorming	29
2.6.1	Filosofische aspecten	29
2.6.2	Ethische aspecten	31
2.6.3	Normatieve aspecten	32
3.	Imidacloprid in oppervlaktewater: correleert dit met bijensterfte?	33
3.1	Dataverzameling imidacloprid in oppervlaktewater en bijensterfte	33
3.2	Statistische analyse	34
3.2.1	Risicobepaling blootstelling	34
3.2.2	Covariabelen	35
3.2.3	Analyse	35
3.3	Resultaten	36
3.3.1	Bijensterfte	36
3.3.2	Concentraties imidacloprid in oppervlaktewater	37
3.3.3	Imidacloprid in relatie tot bijensterfte	37
	Uitkomsten analyse 2005	38
	Uitkomsten analyse 2006	39
	Uitkomsten analyse 2007	40
	Uitkomsten analyse 2009	40
	Uitkomsten jaaroverschrijdend	41
3.4	Conclusie	42
4.	Discussie	43
5.	Eigen visie	46
5.1	Imidacloprid en bijensterfte	46
5.2	Imidacloprid en het milieu	46
5.3	Gebruik en emissie van imidacloprid	47
5.4	Wetgeving en imidacloprid	48
5.4.1	Duurzaamheidsaspecten	48
5.4.2	Ethische en normatieve aspecten	48

5.4.3	Theoretisch model	49
5.5	Conclusie	51
6. Conclusie		52
Literatuur		53
Bijlagen		
Bijlage I	Neuron met axon en dendrieten	58
Bijlage II	Bijensterfte in Nederland	59
Bijlage III	Berekende emissie van imidacloprid naar oppervlaktewater in 2004	60
Bijlage IV	Overschrijdingen van imidacloprid in oppervlaktewater	61

Samenvatting

Wereldwijd is bijensterfte een groot probleem. De vermoedelijke oorzaak is moeilijk vast te stellen omdat er verschillende factoren zijn die in het probleem meespelen. Eén van de factoren die als mogelijke oorzaak gezien wordt is het gebruik van insecticiden in de land- en tuinbouw, en dan met name imidacloprid. Imidacloprid is een systemisch middel dat in lage concentraties geen acute sterfte veroorzaakt, maar wel subletale effecten.

Uit onderzoek is gebleken dat imidacloprid op verschillende locaties in Nederland in te hoge concentraties in het oppervlaktewater wordt gevonden en dat het in grond en water erg persistent is. Onderzoek naar de effecten van imidacloprid is van belang wegens de belangrijke rol die de honingbij met name binnen de agrarische sector speelt, er zijn veel groepen die belang hebben bij het welzijn van de bij.

De doelstelling van dit onderzoek was te bepalen of concentraties imidacloprid in oppervlaktewater van invloed zijn op de bijensterfte in Nederland. Hiervoor zijn gegevens van bijensterfte gebruikt over de jaren 2005, 2006, 2007 en 2009 met verschillende covariabelen. Gegevens van bijensterfte zijn gekoppeld aan maximum meetwaarden van imidacloprid in oppervlaktewater. Om een reële schatting van het risico te maken, zijn drie verschillende vliegafstanden geanalyseerd, namelijk 1000 meter, 3000 meter en 7500 meter.

Piekbelasting van imidacloprid binnen een straal van 7500 meter rond de volken bleek significant negatief gecorreleerd met bijensterfte. Verdere analyse liet echter zien dat imidacloprid verstrengeld was met de factor imker. Op basis daarvan is geconcludeerd dat de gevonden correlatie mogelijk een verkapt imkereffect is. Een negatief effect van imidacloprid in het milieu op bijensterfte in Nederland is in dit onderzoek niet aangetoond.

Hoewel niet bewezen kan worden dat imidacloprid geen invloed heeft op bijensterfte, lijkt de kans klein dat imidacloprid als afzonderlijke factor een relevante rol speelt in bijensterfte. Omdat in dit onderzoek geen rekening is gehouden met een mogelijke interactie tussen imidacloprid en factoren die de vitaliteit van bijenvolken kunnen ondermijnen, zou de focus van vervolgonderzoek in deze richting verlegd kunnen worden.

Executive summary

Currently, honeybee mortality is a problem at a world wide scale. The exact cause of the mortality is difficult to determine, because the problem is multifactorial. One of the factors that might contribute to the problem, is the use of insecticides in agriculture and horticulture, especially the neonicotinoid imidacloprid. Imidacloprid is a commonly used systemic insecticide that can induce several sublethal effects at low concentrations.

At several locations in the Netherlands imidacloprid is found in the surface water in relatively high concentrations. Thereby it is very persistent in ground and water. It is important to focus research at the effects of imidacloprid, because of the important role of honeybees within agriculture. Several important groups have interest in the well-being of the honeybee.

The aim of this study is to determine whether concentrations of imidacloprid in surface water influence honeybee mortality in the Netherlands. Therefore monitoring data of honeybee mortality from the years 2005, 2006, 2007 and 2009 and several covariates are used. Data of honeybee mortality are linked to maximum values of imidacloprid concentrations in surface water. For a realistic risk valuation, three foraging distances are used, i.e. 1000 meters, 3000 meters and 7500 meters.

Peak concentrations of imidacloprid within a radius of 7500 meters around the colonies appeared negatively correlated with honeybee mortality. Further analysis, however, showed that imidacloprid was aliased with the factor beekeeper. That led to the conclusion that the earlier shown correlation is possibly a disguised beekeepers effect. A negative effect of imidacloprid in the environment on honeybee mortality in the Netherlands is not shown in this study.

Although it can not be proven that imidacloprid has no influence on honeybee mortality, it seems unlikely that imidacloprid as a single factor is relevant to the current problem. Possible interactions between imidacloprid and factors that undermine the vitality of colonies are not taken into account in this study. Therefore future research can be focussed in this direction.

Inleiding

Honingbijen vervullen wereldwijd een belangrijke functie als bestuivers in de natuur en in de land- en tuinbouw. Wereldwijd is 76% van de 115 belangrijkste voedselgewassen en 35% van de gehele voedselproductie medeafhankelijk van insectenbestuiving (Klein *et al.*, 2007). Als in één keer alle bestuivers zouden verdwijnen, zou hiermee 9,5% van de waarde van de wereldvoedselproductie verloren gaan. Dit is vooral van invloed op de diversiteit van het voedselaanbod (Gallai *et al.*, 2009).

De afgelopen decennia is echter een duidelijke achteruitgang in het aantal bijen te zien. Van 1947 tot 2008 is de bijenpopulatie in de Verenigde Staten met 60% teruggelopen (vanEngelsdorp *et al.*, 2008). Ook in Nederland loopt het aantal door imkers gehouden bijenvolken sterk terug. Het is een normaal verschijnsel dat in de winter 10-15% van de bijenvolken sterft (wintersterfte). Deze percentages komen echter steeds hoger te liggen en steeds meer volken lijken 'plotseling' te verdwijnen. In Noord-Amerika is hier de naam Colony Collaps Disorder aan gegeven.

Voor de achteruitgang van de bijen is geen specifieke oorzaak aan te wijzen, er zijn waarschijnlijk meerdere oorzaken die bijdragen aan de achteruitgang van de bijenstand. Mogelijke oorzaken zijn de introductie van exotische parasieten, die de vitaliteit van volken ondermijnen en tot sterfte kunnen leiden, achteruitgang van foerageermogelijkheden (dracht), toenemende complexiteit van de imkerij en vergrijzing van de imkers. Ook het gebruik van pesticiden in de land- en tuinbouw kan schadelijke gevolgen voor bijen hebben (Blacquière *et al.*, 2009).

Het afgelopen jaar is in Nederland in de media veel aandacht besteedt aan sterfte als mogelijk gevolg van pesticidengebruik in de land- en tuinbouw. Hierbij ging de discussie met name over het gebruik van imidacloprid, in Nederland één van de meest gebruikte bestrijdingsmiddelen uit de groep neonicotinen. Hoewel van imidacloprid bekend is dat het schadelijk is voor bijen en het niet gebruikt mag worden op bloeiende gewassen of gewassen die actief bezocht worden door bijen of hommels, blijkt uit metingen dat er hoge concentraties residuen van het middel in het oppervlaktewater kunnen voorkomen. Tevens is imidacloprid in lage concentraties aangetoond in nectar en stuifmeel van gewassen die een zaadcoating met imidacloprid gehad hebben (Bonmatin *et al.*, 2005a; Chauzat *et al.*, 2009).

In lage concentraties is imidacloprid niet acuut dodelijk voor bijen, maar het kan wel subletale effecten veroorzaken. Letale effecten zijn effecten die acute sterfte

veroorzaken, subletale effecten zijn in principe alle overige effecten. Subletale effecten bij honingbijen zijn bijvoorbeeld aantasting van het olfactorisch geheugen (Decourtye *et al.*, 2004a) en het leervermogen (Ramirez-Romero *et al.*, 2005), en een verminderde mobiliteit van bijen (Medrzycki *et al.*, 2003). Deze effecten zouden indirect tot sterfte van individuele bijen kunnen leiden (Bortolotti *et al.*, 2003).

In Frankrijk is aangetoond dat de concentraties imidacloprid die bijen via stuifmeel en nectar binnen kunnen krijgen, hoog genoeg zijn om subletale effecten te veroorzaken. Aan de hand van onderzoek en veldmetingen is de PEC/PNEC ratio bepaald (predicted exposure concentration/predicted no effect concentration), welke voor de meeste scenario's ruim hoger dan één bleek te zijn (Doucet-Personeni *et al.*, 2003; Bonmatin *et al.*, 2005a). Dat houdt in dat de concentratie pesticiden die bijen binnen krijgen hoger is dan de hoogste concentratie welke geen effect op bijen heeft. Ondanks dat is in zowel Frankrijk als Duitsland na monitoring geen statistisch significant verband gevonden tussen gemeten imidaclopridresiduen en bijensterfte (Anoniem, 2009; Chauzat *et al.*, 2009).

Probleemstelling

In Nederland zijn geen gegevens bekend van concentraties imidaclopridresiduen die in bijenvolken terecht komen. Wel zijn er in verschillende delen van Nederland metingen gedaan in het oppervlaktewater waarbij op de aanwezigheid van verschillende chemische stoffen is getest, waaronder imidacloprid. Tevens zijn de emissiestromen van imidacloprid beschreven. De vraag is vervolgens of bijenvolken in Nederland zoveel pesticiden te verwerken krijgen dat ze daar ook daadwerkelijk onder te lijden hebben.

Het doel van deze studie is daarom te onderzoeken of imidaclopridresiduen in het milieu in Nederland bijensterfte tot gevolg kunnen hebben. Hiervoor is de sterfte van bijenvolken vergeleken met meetwaarden van imidacloprid in de omgeving van de volken. Het onderzoek is in eerste instantie bedoeld als aanvulling op huidige wetenschappelijke onderzoeken die zowel binnen als buiten Europa zijn uitgevoerd, en richt zich daarom dus op onderzoekers die zich ook met bijensterfte bezighouden. De resultaten van het onderzoek kunnen echter ook gebruikt worden door andere belanghebbenden, zoals wetenschappers uit andere onderzoeksgebieden, imkers, fabrikanten van bestrijdingsmiddelen, de overheid en de agrarische sector.

Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 1 wordt beschreven hoe imidacloprid werkt en via welke wegen bijen er aan blootgesteld kunnen worden. Tevens worden verschillende factoren beschreven waarvan gedacht wordt dat ze invloed op bijensterfte kunnen hebben. In hoofdstuk 2 wordt de

ontwikkeling van het probleem beschreven en binnen de internationale context geplaatst. Tevens wordt beschreven wat de invloed van het probleem is op de agrarische sector en hoe het samenhangt met de verschillende duurzaamheidsaspecten.

In hoofdstuk 3 wordt het onderzoek beschreven. Hoe is het onderzoek opgezet en uitgevoerd, welke covariabelen zijn in de analyse meegenomen en wat zijn de resultaten. In de discussie wordt het onderzoek geplaatst binnen het kader van het huidig internationaal uitgevoerde onderzoek en in hoofdstuk 5 is de eigen visie van de auteur ten opzichte van het onderzochte probleem weergegeven en aan de hand van argumenten afgezet tegen de gangbare mening. In de conclusie zijn de belangrijkste resultaten kort herhaald.

1. Bijensterfte en imidacloprid: wat is het probleem?

Om inzicht te geven in het probleem van bijensterfte en imidacloprid wordt in dit hoofdstuk eerst besproken wat imidacloprid is, hoe het werkt en via welke wegen het in het bijenvolk terecht kan komen. Imidacloprid is echter niet de enige factor die mogelijk van invloed is op de wereldwijde bijensterfte en om het probleem in het juiste perspectief te plaatsen, zijn tevens andere factoren beschreven die van invloed kunnen zijn.

1.1 Eigenschappen van imidacloprid

Imidacloprid is een breed spectrum insecticide die veel verschillende toepassingsgebieden kent. Binnen de agrarische sector behoren onder andere grondbehandeling, zaadbehandeling, gewasbehandeling en druppelbehandeling tot de mogelijkheden. Het middel werkt zowel via contact als orale opname ter bestrijding van met name bijtende en zuigende insecten, maar het is ook toegestaan voor de bestrijding van andere insecten zoals emelten, kakkerlakken en mieren. Hoewel imidacloprid ontwikkeld is voor de bestrijding van ongewenste insecten, kunnen ook andere dieren schade door het middel ondervinden.

Uit studies van Bayer blijkt dat imidacloprid weinig giftig is voor waterdieren zoals kreeftachtigen en bepaalde vissen en matig giftig voor zoogdieren zoals knaagdieren, maar dat het acuut giftig is voor vogels. De LD₅₀ (dosis waarbij de helft van de onderzochte dieren binnen 48 uur sterft) voor de Japanse dwergkwartel (*Coturnix japonica*) is slechts 31 mg/kg lichaamsgewicht. In een studie waarbij kwartels (*C. coturnix*) voer aangeboden kregen met 75% behandeld zaad, werd één vogel waargenomen die stierf na het eten van slechts twee of drie zaden (Ctgb, 2004). Ook voor waterdieren zoals de kreeftvlo en larven van de dansmug blijkt imidacloprid in lage concentraties schadelijk (Stoughton *et al.*, 2008).

Uit verschillende laboratorium- en veldstudies blijkt echter dat zowel vogels als muizen minder of zelfs helemaal niet eten van behandelde zaden in vergelijking met onbehandelde zaden (Ctgb, 2004). Hoewel verschillende uiteenlopende studies aantonen dat imidacloprid niet alleen voor insecten giftig is, zullen de schadelijke effecten voor andere dieren in dit rapport achterwege gelaten worden.

1.1.1 Werking in het insect

Werking van het zenuwstelsel

Bij insecten werkt imidacloprid op het zenuwstelsel. Zenuwcellen (neuronen) zijn opgebouwd uit een lichaamscel (perikaryon) met een axon en dendrieten (zie afbeelding in bijlage I). De dendrieten zijn sterk vertakt en zijn verbonden met veel verschillende

andere neuronen, zodat informatie kan worden doorgegeven aan bijvoorbeeld de spieren. Het contactpunt tussen twee neuronen bestaat uit een zeer smalle tussenruimte en wordt de synaps genoemd. De meeste synapsen zijn chemisch, omdat informatie tussen neuronen wordt doorgegeven met behulp van een chemische stof, een neurotransmitter.

Aan het einde van een neuron (presynaps) bevinden zich blaasjes gevuld met deze neurotransmitter. Als een signaal bij het presynaptisch einde van het neuron komt, worden de blaasjes getriggerd om de neurotransmitter vrij te geven. De neurotransmitter bindt zich vervolgens aan receptoren in het postsynaptische membraan van het aansluitende neuron, waar de binding zorgt voor een depolarisatie. Is deze depolarisatie sterk genoeg, dan wordt het signaal via het volgende neuron doorgegeven. Na depolarisatie van het membraan zorgt de cel er voor dat het membraan zo snel mogelijk weer gerepolariseerd wordt, de gebonden neurotransmitters worden dan door een enzym afgebroken.

Ontregeling van het zenuwstelsel

Er zijn verschillende soorten neurotransmitters bekend, maar acetylcholine komt bij insecten het meeste voor. Eerder bekende insecticiden, zoals fosfaten en carbamaten, verhinderen de afbraak van aan receptoren gebonden acetylcholine waardoor het postsynaptisch membraan niet gerepolariseerd kan worden en overgestimuleerd wordt. Andere middelen, zoals pyrethroiden, zorgen er juist voor dat er meer neurotransmitter vrijkomt gedurende een langere tijd. Net als bij de fosfaten en carbamaten leidt dat uiteindelijk tot hyperstimulatie van het postsynaptisch membraan.

Neonicotinen, waaronder imidacloprid, werken op een derde manier, namelijk door zich te binden aan de acetylcholine-receptoren in het postsynaptisch membraan. Als acetylcholine uit de blaasjes uit het presynaptisch membraan vrijkomt, maar zich niet kan binden aan de receptoren van het postsynaptisch membraan, dan wordt het signaal en daarmee de informatieoverdracht onderbroken.

Als imidacloprid zich echter aan de receptoren bindt, veroorzaakt het eenzelfde depolarisatie als acetylcholine zelf zou doen. Imidacloprid is echter niet afbreekbaar door het enzym acetylcholinesterase, waardoor er niet of nauwelijks afbraak van imidacloprid plaatsvindt. Doordat de depolarisatie aanhoudt, vindt er een hyperstimulatie plaats van het postsynaptisch membraan. Dit heeft als uiteindelijk gevolg dat het betreffende neuron volledig uitgeschakeld raakt (Abbink, 1991).

Effecten van imidacloprid op de honingbij

Afhankelijk van de concentratie imidacloprid die een bij binnenkrijgt kunnen er verschillende effecten veroorzaakt worden. Deze effecten worden grofweg in twee categorieën verdeeld: letale en subletale effecten. Subletale effecten zijn alle effecten veroorzaakt door het middel die niet letaal (dodelijk) zijn. Letale effecten worden onder andere uitgedrukt met de acute LD₅₀, de concentratie waarbij 50% van de bijen in het laboratorium binnen 48 uur sterft. Hoewel de LD₅₀ van imidacloprid voor honingbijen tussen verschillende onderzoeken sterk blijkt te variëren, wordt over het algemeen aangenomen dat deze waarde ongeveer tussen 4 en 40 ng per bij ligt.

Lagere concentraties imidacloprid leiden tot subletale effecten, zoals aantasting van het olfactorisch geheugen (Decourtye *et al.*, 2004a) en het leervermogen (Ramirez-Romero *et al.*, 2005), en een verminderde mobiliteit van bijen (Medrzycki *et al.*, 2003). Deze effecten zouden indirect tot sterfte van individuele bijen kunnen leiden (Bortolotti *et al.*, 2003). Een contactconcentratie (toegediend als druppel op de thorax) van 0,1 ng/bij bleek al een maximaal effect te kunnen genereren waarbij het leervermogen nadelig beïnvloed werd (Guez, 1992).

In de bij wordt imidacloprid omgezet in verschillende metabolieten, zoals 5-hydroxyimidacloprid en olefin, welke ook in planten gevormd worden. Onderzoek van Suchail *et al.* (2001) toonde voor olefin een nog lagere LD₅₀-waarde dan voor imidacloprid zelf, wat aangeeft dat deze metaboliet giftiger is dan de moederstof. Vervolgonderzoek liet zien dat imidacloprid in de honingbij relatief snel gemetaboliseerd wordt met een halfwaardetijd van circa 5 uur (Suchail *et al.*, 2004).

1.1.2 Werking in de plant

Imidacloprid is een systemisch middel. Dat houdt in dat het middel door de wortels van de plant wordt opgenomen en via het xyleem door de hele plant getransporteerd wordt. Bij gewasbehandeling wordt het middel door de bladeren opgenomen. Hoewel imidacloprid binnen de plant een hoge mobiliteit blijkt te hebben, wordt het slechts zeer beperkt in de plant opgeslagen in bijvoorbeeld wortels of vruchten (Sur&Stork, 2003). Sommige onderzoeken geven tevens aan dat concentraties imidacloprid in stuifmeel en nectar lager zijn dan in andere delen van de plant (Bonmatin *et al.*, 2005a; 2005b).

Na grond- of zaadbehandeling wordt ongeveer 2-5% van de werkzame stof opgenomen door planten als katoen, aardappel en rijst, en tot 20% door maïs (Sur&Stork, 2003). In de plant wordt imidacloprid gemetaboliseerd waarbij verschillende afbraakproducten gevormd kunnen worden. Bekende afbraakproducten van imidacloprid in de plant zijn onder andere 4-hydroxyimidacloprid, 5-hydroxyimidacloprid en olefin. Olefin, een

metaboliet die ook in de bij zelf gevormd wordt, is nog giftiger voor bijen dan de moederstof (Nauen *et al.*, 2001; Suchail *et al.*, 2001).

1.1.3 Gedrag in de grond

In de grond blijkt imidacloprid zeer persistent. Uit veldstudies door Bayer op verschillende locaties in Duitsland, Frankrijk, Spanje en Italië blijkt dat de DT_{50} (halfwaardetijd) kan variëren van 45 tot 372 dagen, afhankelijk van grondsoort. Op basis van deze onderzoeken wordt de $DT_{50, \text{veld}}$ na gewasbespuiting voor Nederland geschat op 190 dagen. Uit mobiliteitsproeven blijkt dat imidacloprid weinig tot zeer weinig mobiel is in de bodem, wat het risico op uitspoeling verkleint (Ctgb, 2004).

Volgens de standaardbeoordeling zou imidacloprid echter wel uitspoelen. Onder andere door toepassing van een lage dosering voldoet het middel toch aan de toelatingseisen (Alterra, 2006). Ook in water blijkt imidacloprid slecht afbreekbaar, hier zijn DT_{50} -waarden gevonden van 24 en 134 dagen bij 22°C in respectievelijk water- en sedimentsystemen. Door licht lijkt imidacloprid wel goed afgebroken te worden. In kassen op verschillende locaties werden gedurende verschillende seizoenen DT_{50} -waarden gevonden variërend van 0,15 tot 6,12 dagen (Ctgb, 2004). Volgens een rapport van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) varieert de DT_{50} onder invloed van licht van enkele minuten tot ongeveer 4 uur (Posthuma-Doodeman, 2008)

1.2 Gebruik van imidacloprid

Imidacloprid is commercieel verkrijgbaar in verschillende toepassingsvormen. In de veehouderij kan het bijvoorbeeld gebruikt worden als onderdeel van een plaagdierbeheersingsprogramma, om vliegen in stallen en opslagplaatsen te bestrijden. Tevens is het toegelaten als professioneel bestrijdingsmiddel voor kakkerlakken, dan wordt het plaatselijk gebruikt in kieren en spleten in gebouwen, of het kan gebruikt worden als lokmiddel voor verschillende soorten mieren in opslagruimten en bedrijfsruimten, zoals restaurants, slachterijen, ziekenhuizen en hotels, of buiten op terrassen en in garages en dergelijke.

Particulieren kunnen imidacloprid ook op verschillende manieren toepassen, bijvoorbeeld als aangietbehandeling of als gewasbehandeling bij sierplanten of op het gazon in de tuin. Tevens zijn er verschillende producten met imidacloprid geregistreerd voor het bestrijden van mieren (mierenlokdoos). Een minder bekende, maar zeker veel gebruikte toepassing van imidacloprid is de vlooiënbestrijding bij honden en katten. Wat betreft risico's voor honingbijen wordt de belangrijkste gebruikersgroep echter gevormd door de land- en tuinbouw.

1.2.1 Gebruiksgetalen land- en tuinbouw

De specifieke eigenschappen van imidacloprid maken het zeer geschikt voor gebruik bij zaadbehandeling. Deze toepassing is in Nederland toegelaten voor onder andere maïs, bieten, andijvie, prei en een aantal koolsoorten. Hoewel in andere Europese landen veel onderzoek gericht is op het gebruik van imidacloprid als zaadbehandeling bij maïs, blijkt uit navraag bij Bayer dat in Nederland slechts 2 procent van het volledige maïsareaal behandeld is met imidacloprid (uitgaand van het jaar 2009). In Nederland heeft ongeveer 30 procent van het bietenareaal een zaaizaadbehandeling met imidacloprid gehad.

Hoewel imidacloprid voor tal van gewassen is toegelaten, wordt het middel bij sommige gewassen duidelijk meer gebruikt dan bij andere. In tabel 1.1 zijn de belangrijkste gewassen weergegeven met het percentage van het totale oppervlakte gewas waar het op gebruikt wordt en het percentage van het totale gebruik van imidacloprid. Deze cijfers zijn in 2004 verzameld door het CBS, nieuwere cijfers zijn nog niet gepubliceerd. Omdat de toelatingsbesluiten van imidacloprid na 2004 verder zijn uitgebreid, kunnen deze cijfers ondertussen veranderd zijn.

Tabel 1.1 Gebruik van imidacloprid in de Nederlandse land- en tuinbouw in 2004 (CBS, 2009)

Gewas	Deel van de totale oppervlakte per gewas (%)	Deel van het totale gebruik in kg (%) ¹
Pootaardappelen	32,0	27,8
Appelen	85,1	10,6
Lelies (bollen) ²	57,4	7,1
Rozen onder glas	93,4	16,4
Overige bloemen onder glas	73,0	23,0

¹Totaal gebruik van imidacloprid in Nederland in 2004 was 6776 kg

²Ontsmetting van pootgoed

1.3 Emissie van imidacloprid

Emissie van imidacloprid naar het milieu vindt haar oorsprong voornamelijk in de land- en tuinbouw. Bij het gebruik van imidacloprid in open teelt en kassen kunnen residuen via grond, water en/of lucht in de omgeving terecht komen. Het grootste probleem wordt gevormd door de emissie naar oppervlaktewater. Om hier meer inzicht in te krijgen is door Alterra in kaart gebracht welke routes het belangrijkste aandeel in de emissie hebben.

1.3.1 Bekende emissieroutes

Imidacloprid wordt in verschillende sectoren gebruikt. Tot die sectoren horen onder andere akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt, fruitteelt, bloembollenteelt en glastuinbouw. In de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt wordt imidacloprid algemeen ingezet als zaadcoating, waardoor er niet of nauwelijks emissie verwacht wordt. In deze

sector wordt alleen emissie verwacht als gevolg van het bespuiten van trays met koolplanten.

In de fruitteelt is imidacloprid alleen toegestaan bij appels en peren. Het middel mag maximaal twee keer per jaar toegepast worden, en de meeste emissie vindt plaats als gevolg van druppeldrift bij bespuitingen in het voorjaar. Het grootste deel van de emissie lijkt echter te komen uit de sectoren bloembollenteelt en glastuinbouw. Bij de bloembollen zijn lekverliezen bij transport (boldompeling) naar verwachting de belangrijkste emissieroute. In de glastuinbouw vindt emissie van imidacloprid het hele jaar door plaats, onder andere via het lozen van condenswater, restanten van spuitvloeistof, het spuien van drainwater en uitspoeling (Alterra, 2006).

1.3.2 Concentraties in oppervlaktewater

Door de persistentie van imidacloprid in zowel grond als water, kunnen als gevolg van emissie hoge concentraties imidacloprid in oppervlaktewater gevonden worden. Verschillende waterschappen in Nederland voeren daarom regelmatig metingen uit. De meetgegevens worden verzameld door het Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden (CML) en verwerkt in de bestrijdingsmiddelenatlas. De vereenvoudigd weergegeven meetwaarden zijn via deze weg voor iedereen in te zien (www.bestrijdingsmiddelenatlas.nl).

In oppervlaktewater is een maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR) vastgesteld van 0,013 µg/l. Doordat deze MTR laag is vastgesteld, vinden er relatief veel overschrijdingen plaats van de norm. In 2007 stond imidacloprid op de tweede plaats in de top tien van bestrijdingsmiddelen die de norm het meest overschreden. Hoewel de meeste metingen een waarde onder de detectiegrens van de gebruikte testmethode aangeven, blijkt uit navraag bij verschillende waterschappen echter dat er incidenteel piekbelastingen kunnen voorkomen van meer dan 100 µg/l.

1.3.3 Translocatie naar het volk

Honingbijen en andere insecten kunnen op verschillende manieren blootgesteld worden aan imidacloprid. Ze verzamelen niet alleen nectar en stuifmeel van planten die met imidacloprid behandeld zijn, maar ze verzamelen ook guttatievloeistof en oppervlaktewater om het volk van water te voorzien. Vooral naar nectar en stuifmeel, maar ook naar guttatievloeistof en oppervlaktewater, zijn onderzoeken uitgevoerd om inzicht te krijgen welke concentraties hier kunnen voorkomen en in welke mate bijen daar daadwerkelijk aan blootgesteld worden.

Nectar en stuifmeel

Als planten een zaadbehandeling hebben gehad met imidacloprid, kunnen residuen hiervan terecht komen in de nectar en het stuifmeel. Residuen zijn onder andere aangetoond in nectar en stuifmeel van zonnebloemen (Schmück *et al.*, 2001), in stuifmeel van maïs (Bonmatin *et al.*, 2005a) en in nectar en stuifmeel van koolzaad (Scott-Dupree&Spivak, 2001). Bijen die op dergelijke planten foerageren worden aan die lage concentraties blootgesteld en de residuen kunnen in het volk worden opgeslagen. De vraag is echter of de concentraties imidacloprid die bijen via nectar en stuifmeel binnen kunnen krijgen, hoog genoeg zijn om subletale effecten te veroorzaken.

Het risico hiervan voor bijen kan berekend worden door de concentratie waaraan bijen blootgesteld kunnen worden (Predicted Exposure Concentration, oftewel PEC) te delen door de hoogste waarde waarbij geen effect op het gedrag van de bijen is gevonden (de Predicted No Effect Concentration, oftewel PNEC). Uit verschillende Franse onderzoeken is gebleken dat deze waarde voor de meeste scenario's ruim hoger dan één bleek te zijn, dat houdt in dat de concentratie imidacloprid die bijen binnen krijgen hoger is dan de hoogste concentratie welke geen effect op bijen heeft (Bonmatin *et al.*, 2005a; Halm *et al.*, 2006).

Guttatievloeistof en oppervlaktewater

Naast nectar en stuifmeel verzamelen honingbijen ook water, wat ze gebruiken bij hun stofwisseling, voedselbereiding en klimaatbeheersing. Water is vooral belangrijk om de luchtvochtigheid in het broednest op peil te houden, en in de zomer om het volk te koelen. Geschat wordt dat bijen zo'n twintig tot dertig liter water per jaar verzamelen. Hiervoor foerageren ze onder andere op oppervlaktewater, zoals vijvers en sloten. Als dergelijke bronnen verontreinigd zijn met imidacloprid, kan het via die weg in het volk terecht komen.

Lange tijd werd gedacht dat alleen nectar en stuifmeel een risico voor bijen vormden als ze op behandelde planten foerageren. Door de worteldruk blijven planten echter ook 's nachts water opnemen, terwijl de huidmondjes gesloten zijn. Er ontstaat in de plant een positieve waterdruk en het overtollige water wordt via de waterporiën (meestal aan de randen van de bladeren) naar buiten geperst, waardoor de zogenoemde guttatedruppels ontstaan. Uit onderzoek blijkt dat in zulke guttatedruppels zeer hoge concentraties imidacloprid kunnen voorkomen.

In guttatedruppels van jonge maïsplanten uit gecoat maïszaad zijn concentraties imidacloprid gevonden van 10-100 mg/l. Hoewel de concentratie afneemt naarmate de plant groeit, is dat veel meer dan in stuifmeel, nectar of oppervlaktewater. Bijen die met

deze guttatievloeistof gevoerd werden, stierven binnen twee tot vijf minuten (Girolami *et al.*, 2009). Hierbij moet echter opgemerkt worden dat bijen niet wilden eten van het verontreinigde guttatiewater, tenzij ze zeer dorstig waren of als het gezoet was met honing. Hoewel verder niet is gekeken naar het functioneren van de bijen, lijkt de kans klein dat bijen na het foerageren op zulk water nog het volk terug kunnen vinden.

Tevens laten proeven van Bayer met maïs waarvan het zaad behandeld was zien dat bijen alleen aan de randen van de behandelde velden op guttatiedruppels foerageerden. De volken bij de behandelde velden vertoonden geen verhoogde sterfte ten opzichte van de controlevolken bij onbehandelde velden (Oliver, 2009). Ook Zwitsers onderzoek heeft geen verhoogde sterfte aangetoond bij volken die geplaatst waren bij maïsvelden waarvan het zaaizaad behandeld was met clothianidine (een soortgelijk middel uit de groep neonicotinen), en er werden geen residuen van clothianidine in de bijen of honing aangetoond (BLW, 2009).

1.4 Andere factoren die bijensterfte beïnvloeden

Om te zien welke rol imidacloprid speelt binnen de discussie over bijensterfte, wordt in deze paragraaf beschreven welke factoren onder andere van invloed zijn op bijensterfte en hoe deze factoren samenhangen. Omdat er ook wetenschappelijk minder betrouwbare theorieën zijn, die bijvoorbeeld zeggen dat bijensterfte veroorzaakt wordt door buitenaardse wezens die de bijen ontvoeren, is, om het probleem overzichtelijk te houden, ervoor gekozen niet alle mogelijke factoren weer te geven maar hier een selectie uit te maken. Hoewel niet voor alle hieronder beschreven factoren een even duidelijke wetenschappelijke basis is, is gekozen voor factoren die relatief veel genoemd worden of een hoge realiteitswaarde hebben.

1.4.1 Ziektes en parasieten

De belangrijkste veroorzaker van sterfte onder honingbijen is de uitwendige parasiet *Varroa destructor*. Deze parasiet komt van oorsprong voor bij de Aziatische honingbij (*Apis cerana*), waar een min of meer stabiele samenleving tussen beide soorten bestaat. Begin jaren tachtig kwam de parasiet in Nederland, waar volken na besmetting met varroa massaal bleken te bezwijken. Door te parasiteren op larven en poppen kan de vitaliteit van het volk sterk achteruit gaan (Amdam *et al.*, 2004). Tevens is gebleken dat de mijt verschillende ziektes kan overbrengen, zoals deformed wing virus (Chen *et al.*, 2006).

Onderzoek van Johnson *et al.* (2009) laat zien dat virussen een belangrijke rol lijken te spelen in het optreden van colony collapse disorder oftewel CCD, een verschijnsel waarbij volken plotseling lijken te verdwijnen. In het onderzoek is de genexpressie in de

darmen van verschillende bijen met elkaar vergeleken. Zowel genen die samenhangen met de respons op pesticiden als die samenhangen met het immuunsysteem, lieten geen duidelijk verhoogde activiteit zien. De verhoogde aanwezigheid van ribosomale RNA-fragmenten leek echter te wijzen op picorna-achtige virussen, zoals deformed wing virus en Israeli acute paralysis virus, en kan duiden op een verstoorde translatie. Israeli acute paralysis virus was eerder al in verband gebracht met CCD in de Verenigde Staten (Cox-Foster *et al.*, 2007). Dit virus is in Nederland echter nog niet aangetoond (Blacquièrè, 2008)

In Spanje wordt verband gelegd tussen bijensterfte en besmetting van de volken met *Nosema ceranae*. *Nosema ceranae* is een eencellige parasiet die nauw verwant is aan schimmels en kwam, net als varroa, van oorsprong uitsluitend bij de Aziatisch bij *Apis cerana* voor. De parasiet is in Spanje voor het eerst bij Europese honingbijen buiten Azië aangetroffen (Higes *et al.*, 2006). Ondertussen blijkt uit monitoring dat de parasiet ook in Nederland algemeen verspreid is (Blacquièrè, 2008). Met laboratoriumonderzoek bleek tevens dat de parasiet sterk pathogeen was en met een vervolgstudie werd in Spanje ook in het veld verband gelegd tussen nosema-infectie en bijensterfte (Higes *et al.*, 2007; 2008).

1.4.2 Achteruitgang van de dracht

Als gevolg van de opkomst van grootschalige landbouw en monocultuur verarmt dracht voor bijen en andere insecten aanzienlijk. Biesmeijer *et al.* (2006) hebben een parallele achteruitgang aangetoond tussen diversiteit in planten en een aantal bestuivende insecten. Tevens is gebleken dat de diversiteit in stuifmeel van invloed is op de ontwikkeling van een bijenvolk (Mattila&Otis, 2006). Het belang van een gevarieerd dieet wordt nog onderstreept door onderzoek waarin is aangetoond dat een dieet met verschillende soorten stuifmeel onder andere resulteerde in een groter eiwitvetlichaam. In het eiwitvetlichaam wordt onder andere vitellogenine gemaakt, en van bijen met veel vitellogenine is bekend dat ze vitaler zijn en langer leven (Alaux *et al.*, 2010a).

1.4.3 Toenemende complexiteit van de imkerij

Volgens Bijen@wur, PRI Wageningen, wordt de imkerpraktijk steeds complexer en wordt het niveau waarop geïmkerd wordt daardoor steeds lager. Dat gaat op den duur ten koste van de bijen. Omdat een gevarieerd en continu stuifmeelaanbod zo belangrijk is voor de vitaliteit van een volk, is het de taak van de imker om ervoor te zorgen dat bijen hier ook beschikking over hebben. Door de veranderende landinrichting en de grootschalige landbouw is het stuifmeelaanbod voor bijen met name op het platteland niet meer continu. Ook de komst van varroa en benodigde bestrijding en de verhoogde ziektedruk vereisen extra kennis en vaardigheden (Blacquièrè *et al.*, 2009).

1.4.4 Gebruik van pesticiden in land- en tuinbouw

De meeste wetenschappers die onderzoek doen naar bijen en bijenhouderij lijken van mening dat het gebruik van pesticiden in de land- en tuinbouw direct of indirect leidt tot verhoogde bijensterfte. Een grote hoeveelheid studies heeft het schadelijke effect van onder andere imidacloprid op bijen aangetoond en zowel letale als subletale effecten van het middel zijn in kaart gebracht (Desneux *et al.*, 2007). Ook verschillende experimentele veld- en semi-veldproeven hebben effecten van imidacloprid op het functioneren van bijenvolken en individuele bijen aangetoond (Bortolotti *et al.*, 2003; Decourtye *et al.*, 2004b).

Meerjarige monitoringsonderzoeken in Duitsland en Frankrijk hebben echter geen verband gevonden tussen residuen van imidacloprid in bijen, was, nectar en stuifmeel enerzijds, en wintersterfte anderzijds (Anoniem, 2009; Chauzat *et al.*, 2009). Maisvelden in de omgeving van bijenvolken bleken, onafhankelijk van wel of geen imidacloprid behandeling, juist negatief gecorreleerd met bijensterfte (Nguyen *et al.*, 2009)

1.4.5 Genetische basis

Sinds de intrede van varroa zijn in Nederland geen wilde bijen meer. Door imkers gehouden volken mengen nu niet meer met wilde volken, waardoor de breedte van de genetische basis van bijen nu volledig afhankelijk is van de imkers. Een versmalling van deze genetische basis kan een negatief effect op de volken hebben. Volken met een brede genetische basis genereren meer nieuwe werksterbijen en darren, verzamelen meer voedsel en zwermen van deze volken hebben een hogere overlevingskans in relatie tot volken met een smalle genetische basis (Mattila&Seeley, 2007).

1.4.6 Overige

In de discussie rond bijensterfte spelen nog andere factoren mee, zoals de wereldwijde handel en uitwisseling met bijen. Doordat bijen algemeen verhandeld worden, krijgen ziektes en parasieten de kans zich snel en effectief wereldwijd over bijenvolken te verspreiden. Tevens zou het nauwkeurig bewaken van de genetische zuiverheid van volken een smallere genetische basis tot gevolg kunnen hebben en bestaat de mogelijkheid dat koninginnen uit andere landen minder aangepast zijn aan het Nederlandse klimaat.

Er is een aantal onderzoeken uitgevoerd naar de risico's van genetisch gemodificeerde gewassen, maar een duidelijk schadelijk effect van GM gewassen voor bijen is tot nog toe niet gevonden. Ook wordt regelmatig UMTS-straling genoemd als mogelijke factor in bijensterfte. Zowel bij mensen als dieren zijn hiervan echter nog geen schadelijke

effecten aangetoond. Tevens is UMTS in Nederland pas vanaf 2006 in gebruik genomen, terwijl de verhoogde bijensterfte al in 2003 begon.

1.5 Samenhang tussen factoren

Bijensterfte is een complex probleem en niet afhankelijk van slechts één factor. Juist het samenspel van verschillende factoren kan bijenvolken in zo'n mate verzwakken dat ze daardoor niet overleven. Het is echter nog niet duidelijk welke factoren nu precies meespelen en in welke mate. Van varroa is bekend dat het individuele bijen en daarmee bijenvolken als geheel kan verzwakken. Behalve dat varroa zelf verschillende virussen kan overbrengen, worden volken hierdoor ook gevoeliger voor andere ziektes en parasieten.

Zo lijken vrijwel alle factoren een aanslag te doen op de vitaliteit en immuniteit van een volk. Volken kunnen verzwakken door besmetting met varroa, onvoldoende voedsel, onvoldoende variatie in het stuifmeelaanbod, verontreiniging met pesticiden of een te smalle genetische basis. De mate waarin factoren met elkaar samenhangen is nog niet bekend. Imkerpraktijk houdt tot nog toe voor een belangrijk deel in dat volken voldoende dracht hebben en dat er een goede varroabestrijding wordt uitgevoerd. Hierbij wordt aangenomen dat dat voldoende moet zijn om volken vitaal te houden en sterfte te voorkomen.

Er kunnen echter ook synergistische effecten tussen verschillende factoren voorkomen. Eén van de parameters die bijvoorbeeld beoordeeld kan worden in een onderzoek, is de sociale immuniteit van bijen. Dit wordt gemeten aan de hand van de hoeveelheden glucose-oxidase, waarmee ze voedsel voor het volk en voor de larven kunnen steriliseren. Met laboratoriumonderzoek is bijvoorbeeld aangetoond dat *Nosema ceranae* en imidacloprid samen een significant sterker negatieve invloed hebben op de sociale immuniteit en sterfte van individuele bijen dan de afzonderlijke factoren. Tevens leek imidacloprid een licht negatief effect te hebben op de ontwikkeling van nosema (Alaux *et al.*, 2010b). Het is echter nog niet bekend welke invloed dat op volken in het veld heeft.

2. Bijensterfte en imidacloprid: het probleem gaat verder dan Nederland

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat het belang is van bijen en wat, in het ergste geval, de gevolgen van massale bijensterfte zouden kunnen zijn. Omdat bijensterfte een wereldwijd probleem vormt, kan het internationale aspect hierbij niet uit het oog verloren worden. Aan het einde van het hoofdstuk wordt het probleem weer verder op Nederland toegespitst, waarbij gekeken wordt naar de huidige wetgeving en naar verschillende aspecten die een rol spelen in de besluitvorming.

2.1 Ontwikkelingen in het verleden

In Frankrijk zijn de zonnebloemvelden in de bloeitijd een geliefde drachtbron voor imkers om hun bijenvolken te stallen. Begin jaren tachtig werd echter na het plaatsen van de volken bij zonnebloemvelden door imkers uit het hele land een verhoogde bijensterfte waargenomen. Na besproken te hebben welke factoren hier debet aan konden zijn, concludeerden de imkers dat de oorzaak moest liggen in het gebruik van imidacloprid als zaadcoating voor de zonnebloemen. Zowel in Frankrijk als in andere landen is vervolgens uitgebreid onderzoek naar de effecten van imidacloprid uitgevoerd.

In Nederland werd imidacloprid voor het eerst in 1994 toegelaten voor de behandeling van zaden van suiker- en voederbieten en als bestrijdingsmiddel in de teelt van bloemisterijgewassen onder glas. In de jaren daarna zijn steeds meer toelatingen verleend voor verschillende gewassen en toepassingen, maar ook buiten de agrarische sector. Het gebruik van imidacloprid is opgelopen van 668kg in 1995 tot meer dan 6000kg in 2004 (statline.cbs.nl). Gezien de toelating voor imidacloprid na 2004 nog verder verruimt is, kan verwacht worden dat het gebruik in kilo's ook verder gestegen zal zijn.

Het gebruik van andere neonicotinen, zoals thiamethoxam en clothianidine lijken een zelfde traject te doorlopen. Thiamethoxam is in 2006 en clothianidine in 2008 toegelaten als zaadbehandelingsmiddel voor suiker- en voederbieten. Hoewel thiamethoxam ondertussen al een bredere toelating verleend is, is clothianidine vooralsnog alleen als zaadbehandelingsmiddel voor verschillende gewassen toegelaten.

2.2 Een internationaal probleem

In Nederland is een achteruitgang te zien in zowel het aantal imkers als het aantal volken dat per imker gehouden wordt. In de Verenigde Staten is het aantal volken in de periode van 1947 tot 2008 zelfs met ruim 60 procent afgenomen (vanEngelsdorp *et al.*, 2008). Hoewel deze trend niet in alle landen te zien is, blijkt toch met name in Europa en in de

Verenigde Staten het aantal volken gestaag te dalen. Die afname lijkt vaak echter autonoom te verlopen en hoeft niet altijd het gevolg te zijn van ziektes. Imkeren is tegenwoordig geen populaire hobby en het aantal imkers neemt daardoor ook af. Imkers die te kampen hebben met volkssterfte als gevolg van varroa of ziektes, kunnen dat vaak nog opvangen door hun volken het jaar daarop te splitsen.

Dat neemt echter niet weg dat de sterftepercentages de laatste jaren hoger liggen dan wat als normaal wordt beschouwd. Omdat het percentage wintersterfte in zowel Europese als niet-Europese landen hoger lijkt te zijn dan een aantal jaar geleden, is er een internationale werkgroep opgericht waar onderzoekers uit verschillende landen samenwerken aan oplossingen voor het bestaande probleem. De werkgroep is bekend onder de naam COLOSS, een samenstelling van 'colony losses'. In tabel 2.1 is voor verschillende landen het percentage wintersterfte weergegeven.

Tabel 2.1 Percentage wintersterfte in 2009 in verschillende landen

Land	%	Land	%
België	7**	Nederland	23*
Bulgarije	5	Noorwegen	11
China	5	Oostenrijk	13*
Denemarken	32*	Polen	8
Duitsland	8-16*	Portugal	30**
Finland	16*	Servië	28*
Frankrijk	29*	Slovenië	30-50*
Griekenland	14*	Spanje	14-89**
Hongarije	10-30*	Turkije	2*
Ierland	15-20*	Verenigde Staten	29
Israël	40	Verenigd Koninkrijk	33*
Italië	37*	Zweden	18
Kroatië	13	Zwitserland	18*
Macedonië	18*		

*Sterftepercentage 2008; **sterftepercentage 2007. (COLOSS, 2009)

Het doel van COLOSS is het identificeren van de verschillende factoren die aan de bijensterfte ten grondslag liggen en te onderzoeken in hoeverre er interactie tussen verschillende factoren onderling kan optreden. Als hier eenmaal meer over bekend is, kunnen er betere maatregelen doorgevoerd worden om verdere bijensterfte te voorkomen. COLOSS heeft ondertussen leden in 49 verschillende landen die meewerken aan dergelijk onderzoek.

2.3 Duurzaamheidsaspecten

2.3.1 Profit

Wereldwijd is 76% van de 115 belangrijkste voedselgewassen en 35% van de gehele voedselproductie medeafhankelijk van insectenbestuiving (Klein *et al.*, 2007). Uit

onderzoek gebaseerd op deze gegevens is gebleken dat de waarde van insectenbestuiving voor voedselgewassen wereldwijd 153 miljard euro bedraagt. Als in één keer alle bestuivers zouden verdwijnen, zou hiermee 9,5% van de waarde van de wereldvoedselproductie verloren gaan (Gallai *et al.*, 2009). Het is nog niet bekend wat de waarde van insectenbestuiving voor de Nederlandse land- en tuinbouw is. Volgens een ruwe schatting echter, onder andere gebaseerd op gegevens uit bovenstaande onderzoeken, is de waarde ongeveer een miljard euro (Blacquièrre *et al.*, 2009).

2.3.2 People

Het wegvallen van insectenbestuiving zou vooral van invloed zijn op de diversiteit van het voedselaanbod. Hoewel grote gewassen zoals rijst, granen en aardappels niet afhankelijk zijn van insectenbestuiving, zouden er wereldwijd wel grote tekorten optreden in, onder andere, het aanbod van groente en fruit. Wereldwijd zou er 12% minder fruit en 6% minder groente geproduceerd worden dan er huidig geconsumeerd wordt. Regionaal kunnen deze verschillen nog veel groter zijn.

Midden Oost Azië produceerde in 2005 31% meer groente dan door de bevolking werd geconsumeerd, en is daarmee één van de belangrijkste exporteurs van groente wereldwijd. Als insectenbestuiving echter zou wegvallen, zou er naar schatting 12% minder groente geproduceerd worden dan nodig is om alleen al aan de behoefte van het eigen volk te kunnen voldoen. Hoewel nu nog niet valt in te schatten hoe de toekomstige markt op dergelijke problemen zou kunnen inspelen, bestaat wel het risico dat bij een volledig wegvallen van insectenbestuiving er een wereldwijd voedseltekort kan ontstaan (Gallai *et al.*, 2009).

2.3.3 Planet

Honingbijen vervullen wereldwijd een belangrijke functie als bestuivers in de natuur en in de land- en tuinbouw. Bijenvolken bestaan uit een groot aantal individuen (tot wel 40.000) en foerageren vooral op massaal bloeiende planten in een straal van zo'n 3 kilometer rond het nest. Hommelvolken daarentegen zijn een stuk kleiner en hun foeragegebied loopt niet verder dan 500 meter tot 1 kilometer van het nest. Solitaire bijen komen niet verder dan hooguit een paar honderd meter (Steffan-Dewenter *et al.*, 2002).

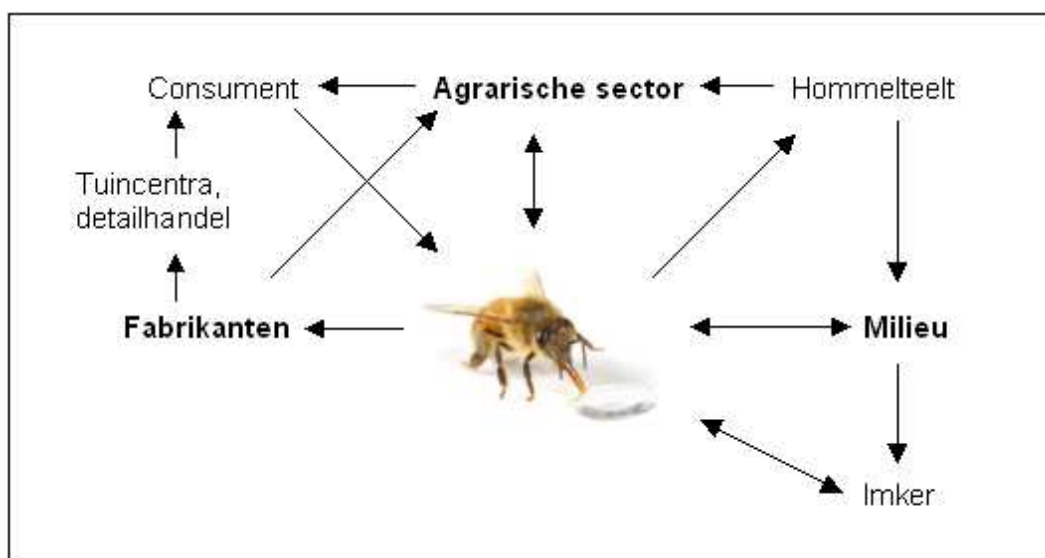
Door hun grote aantal en de afstanden die ze kunnen afleggen, vormen honingbijen dus de belangrijkste groep bestuivers voor de land- en tuinbouw.

De honingbij heeft ook een grote waarde voor de Nederlandse natuur. Ongeveer 15% van de wilde planten wordt door de honingbij bestoven. Een deel van deze soorten is voor de vorming van de zaden, en daarmee voor hun voortbestaan, vooral afhankelijk van honingbijen. Die komen echter nauwelijks meer in de natuur voor. De door imkers

gehouden bijen zijn daarom ook cruciaal voor de biodiversiteit in de natuur (Blacquière *et al.*, 2009).

2.4 Belangengroepen

In figuur 2.1 is weergegeven welke groepen direct of indirect belang hebben bij het welzijn van de bij en voor wie ook de gevolgen merkbaar zullen zijn als er problemen ontstaan naar aanleiding van insecticiden. De drie grootste belangengroepen met betrekking tot bijensterfte en het effect van imidacloprid op bijen zijn de agrarische sector, de biocidenfabrikanten en het milieu. De fabrikanten en de agrarische sector hebben economisch gewin bij het gebruik van honingbijen en/of biociden. In het milieu gaat het met name om de flora van Nederland.



Figuur 2.1. Verschillende belangengroepen in Nederland en hun relatie met betrekking tot de honingbij.

2.4.1 Fabrikanten

Imidacloprid wordt uitsluitend geproduceerd door Bayer, zowel voor de agrarische sector voor professioneel gebruik (in hoge concentraties) als voor de tuincentra en detailhandel voor particulier gebruik (gewoonlijk in lage concentraties). Imidacloprid is, met zijn verschillende toepassingsvormen, de meest verkochte werkzame stof van Bayer, met een omzet van 606 miljoen euro in 2009 (Bayer, 2010).

Thiamethoxam, een nieuwer middel uit de groep neonicotinen, wordt geproduceerd door Syngenta. Met een groei van 23% tussen 2005 en 2009 is thiamethoxam de belangrijkste insecticide bij Syngenta (Syngenta, 2010). Als imidacloprid of andere neonicotinoide middelen uit de handel genomen moeten worden wegens de schadelijke effecten voor

bijen, moeten fabrikanten de verkoop stoppen en overgaan op ontwikkeling en verkoop van andere insecticide middelen.

2.4.2 Agrarische sector

Honingbijen spelen een belangrijke rol in de agrarische sector voor de bestuiving van planten. Dit is met name van belang in de fruit- en zaadteelt (Gallai *et al.*, 2009). Hoewel de meeste gewassen voor bestuiving niet volledig afhankelijk zijn van bijen of van insecten in het algemeen, vormen bijen wel de belangrijkste groep bestuivers. Hommelvolken worden ook regelmatig ingezet voor bestuiving van verscheidene gewassen, waaronder bijvoorbeeld paprika en tomaat. De hommelteelt is echter volledig afhankelijk van de bijenteelt, omdat de volken bijgevoerd worden met stuifmeel dat door honingbijen verzameld is. Tevens heeft de agrarische sector invloed op de bijenstand door het wel of niet verantwoord gebruik van insecticiden.

2.4.3 Consument

Als honingbijen volledig weg zouden vallen, heeft dat een direct gevolg voor de agrarische sector. Omdat er dan onvoldoende bestuiving is, treedt er een tekort op in productie van onder andere groente en fruit en zullen deze gewassen sterk in prijs stijgen. Hier ligt tevens het centrale probleem en deze gevolgen zijn ook het belangrijkste voor de consument. Omdat de consument echter slechts indirect de gevolgen merkt en vrij beperkt inspraak in de discussie rond het probleem heeft, is deze groep niet als grootste belanghebbende aangemerkt. Wel kunnen consumenten rekening houden met het welzijn van de bij door een verantwoord gebruik te maken van pesticiden en de aanplant van bloemen waar bijen op kunnen foerageren.

2.4.4 Milieu

Een derde grote belangengroep wordt gevormd door het milieu en de natuur, met name de flora in Nederland. Veel planten hebben een sterke afhankelijkheid ontwikkeld van insectenbestuiving en bijen zijn volledig afhankelijk van een goede dracht voor het in stand houden van de kolonie. Voor een goede eiwitvoorziening moeten bijen stuifmeel van veel verschillende soorten planten kunnen verzamelen. Door de opkomst van onder andere de monocultuur en het maaien en onkruidvrijhouden van bermen is de diversiteit in planten echter achteruitgegaan (Biesmeijer *et al.*, 2006). Dat wordt gezien als een ernstige bedreiging voor bijenvolken.

Uit metingen in oppervlaktewater is gebleken dat imidacloprid regelmatig in te hoge concentraties in het oppervlaktewater voorkomt. Als bijen met het foerageren vervuild water het volk binnenbrengen, zou deze chronische blootstelling aan imidacloprid een negatieve invloed op de werkzaamheid van bijen binnen het volk kunnen hebben. Ook

andere insecten en diersoorten kunnen te lijden hebben onder deze vervuiling. Tot slot zijn imkers verantwoordelijk voor een goede ziektebestrijding en optimale bijvoeding van hun volken.

2.4.5 De overheid

De overheid heeft geen direct belang bij het welzijn van de bijen. Het gaat niet beter of slechter met de regering of gemeentes als het welzijn van de honingbijen in het geding is. Omdat bijen een groot economisch belang hebben, is ze echter wel een sturende factor in het onderzoek naar de bijensterfte. Het ministerie van LNV heeft recent een miljoen euro vrijgemaakt voor een periode van drie jaar voor onderzoek en het versterken van de positie van honingbijen. Om het geld goed te gebruiken is in opdracht van LNV een onderzoeksproject opgesteld met de naam 'BIJ-1'.

Binnen dit project gaan vier onderzoeksgroepen samenwerken, namelijk Alterra, PRI Bijen@wur, European Invertebrate Survey Leiden en het Nederlands Centrum voor Bijenonderzoek. Het onderzoek dat met dit geld gefinancierd wordt, is met name gericht op een kwantitatieve monitoring van bijensterfte, imkerpraktijk en omgevingsfactoren; effecten hiervan op de vitaliteit van bijenvolken; diagnose van bijenziektes; verspreiding en effecten van *Nosema ceranae* en het belang van wilde bestuivers (Van der Steen, 2010).

2.5 Wet- en regelgeving

2.5.1 Europese en nationale wetgeving

Het Ctgb (college voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden) is een door de overheid ingesteld orgaan dat moet beslissen over de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden. Hierbij wordt rekening gehouden met nationale en Europese wet- en regelgeving. In Nederland is het toelatingsbeleid vastgelegd in de Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden. Op Europees niveau worden onder andere richtlijnen vastgesteld met betrekking tot toelating en gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en biociden en verboden op bepaalde werkzame stoffen. Deze richtlijnen moeten door de lidstaten in de nationale wet- en regelgeving geïntegreerd worden (ctb.agro.nl).

Bij de Europese milieuwetgeving is tevens het voorzorgsprincipe van belang: als er sterke aanwijzingen zijn dat een middel ernstige schade aan het milieu kan toebrengen, moet er in het voordeel van het milieu besloten worden tot risicobeperkende maatregelen. Dit principe is met betrekking tot (onder andere) imidacloprid gevolgd in

andere Europese landen, waaronder Frankrijk en Italië. Door een moratorium op imidacloprid zou in deze landen bijensterfte verder voorkomen moeten worden.

2.5.2 Ecotoxicologische norm

De ecotoxicologische norm voor maximale hoeveelheden gewasbeschermingsmiddelen en andere stoffen in oppervlaktewater wordt in Nederland aangegeven met het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR). De norm is voor imidacloprid afgesteld op 0,013µg/l en in 2008 verhoogd naar 0,067µg/l, deze waarden zijn gebaseerd op het potentiële risico dat een middel vormt voor levende organismen.

2.5.3 Kaderrichtlijn Water

De Kaderrichtlijn Water (KRW) is een Europese richtlijn waarin verschillende eisen worden gesteld aan de kwaliteit van Europese wateren. De KRW treedt in 2015 in werking en vervangt de MTR, er komen dan internationaal gebruikte normen voor in de plaats. De ecotoxicologische norm (environmental quality standard, oftewel EQS) wordt dan gevormd door het jaarlijkse gemiddelde (AA-EQS) en de maximaal aanvaardbare concentratie (MAC-EQS). Het jaarlijkse gemiddelde is gelijkgesteld met de huidige MTR, dus 0,067µg/l. De maximaal aanvaardbare concentratie is vastgesteld op 0,2µg/l.

2.6 Basis voor besluitvorming

Beleid wordt gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek enerzijds en de publieke opinie anderzijds. Dat kan soms lastig zijn, omdat er niet altijd voldoende tijd is voor degelijk wetenschappelijk onderzoek en de publieke opinie soms kan veranderen. Tevens verandert de houding van mensen ten opzichte van dieren en milieu nog steeds. In zo'n geval wordt beleid afhankelijk van de persoonlijke instelling van mensen ten opzichte van het milieu.

De overheid wordt hierdoor steeds vaker geconfronteerd met ethische vraagstukken, waarin verschillende normen en waarden moeten worden afgewogen. Om in dit rapport niet voorbij te gaan aan dit belangrijke punt, wordt in deze paragraaf een aantal aspecten beschreven die van belang kunnen zijn in de besluitvorming met betrekking tot het gebruik van imidacloprid en soortgelijke pesticiden.

2.6.1 Filosofische aspecten

Met name in de wetenschap zijn we geneigd de werkelijkheid in stukjes te hakken. Een luis is niet de plant. Een wolk is geen regen. Om goed te kunnen functioneren is het vaak nodig om op deze manier tegen de wereld aan te kijken. Door alle voorwerpen en gebeurtenissen in een specifiek vakje te plaatsen, kunnen we ze analyseren en begrijpen. Hierdoor bestaat echter het gevaar dat we de werkelijkheid als geabstraheerd

mozaïek gaan zien, en niet meer als realistisch geheel. De plant maakt immers de luis. Regen is een gevolg van de wolk. Alle verschijnselen zijn met elkaar verbonden en van elkaar afhankelijk.

Alles wat wij zo keurig netjes in aparte vakjes hebben geplaatst, vormt eigenlijk één groot geheel. Dat is ook de basis van het taoïsme. Binnen deze filosofische stroming wordt de werkelijkheid als een ondeelbaar geheel gezien: Tao is de natuurlijke ordening die zich in alles manifesteert. Omdat volgens deze filosofie Tao de basis is van alles wat bestaat, hangt alles met elkaar samen en is niks deelbaar. Hoewel niet iedereen het volledig met deze theorie eens hoeft te zijn, zit er wel een belangrijke kern in waarvan ook wetenschappers en beleidsmakers steeds meer de relevantie voor onderzoek en besluitvorming moeten erkennen.

Veel processen in de natuur hangen met elkaar samen en zijn van elkaar afhankelijk. Het bewustzijn van het belang hiervan wordt ook in de agrarische sector steeds duidelijker. De manier waarop landbouw bedreven wordt, is van invloed op een heel scala aan planten- en diersoorten. Een insecticide werkt bijvoorbeeld niet alleen tegen schadelijke insecten, maar ook tegen nuttige insecten. Dat is vervolgens weer van invloed op planten binnen en buiten het toepassingsgebied van het middel. Daarnaast blijken insecticiden ook vaak schadelijk te zijn voor heel andere diersoorten, zoals kleine knaagdieren, waterdieren en vogels.

Meer recent heeft de observatie dat menselijke tussenkomst vaak een negatief effect heeft op de ecologie van de wereld, onder andere geleid tot de opkomst van de milieufilosofie deep ecology. Het basisprincipe van deep ecology is dat de natuur haar eigen intrinsieke waarde heeft, omdat alle planten en dieren ernaar streven zich zo volledig mogelijk te ontplooien. Menselijk en niet-menselijk leven worden hierin aan elkaar gelijk gesteld. Deep ecology legt ook de nadruk op het belang van het geheel van ecosysteem en natuurlijke processen en stelt dat verschillende delen van het ecosysteem (inclusief mensen) als geheel functioneren. Omdat mensen een buitenproportionele inbreuk maken op de niet-menselijke wereld verergeren de natuur- en milieuproblemen.

De gedachtegang dat alles met elkaar samenhangt en één geheel vormt, waar de mens slechts een onderdeel van is, is in basis weer heel taoïstisch. Dat brengt ons vervolgens op de vraag in hoeverre wij als mensen hulpmiddelen als insecticiden in de landbouw mogen gebruiken. Voordat een middel op de markt komt, worden eerst de positieve en ongewenste effecten tegen elkaar afgewogen. Waar echter het zwaartepunt ligt of een middel gebruikt mag worden, is afhankelijk van de grondhouding van mensen. De

grondhouding van mensen is daarin weer ten dele afhankelijk van de algemeen heersende filosofie in de betreffende periode.

2.6.2 Ethische aspecten

Volgens de milieufilosoof Wim Zweers zijn de grondhoudingen van mensen grofweg in zes groepen in te delen, maar zou niemand in exact één groep horen. De groepen met inhoudelijke uitleg zijn weergegeven in tabel 2.2. Elke grondhouding is gebaseerd op de persoonlijke mening van de persoon die zich ertoe aangetrokken voelt. Terwijl vijftig jaar geleden de verlicht heerser nog de meest algemene grondhouding was, zullen tegenwoordig de meeste mensen zich herkennen in het beeld van de rentmeester.

Momenteel lijkt er echter een verschuiving op te treden richting partner. Dit is een grote verandering; de eerste drie houdingen zijn namelijk antropocentrisch, terwijl de laatste drie, beginnend met de grondhouding van partner, ecologisch zijn. Niet langer staat de mens boven de natuur, in een soort van machtsverhouding, maar zijn mens en natuur aan elkaar gelijk geworden. Deze verschuiving komt overeen met de opkomst van deep ecology, die merendeels met de houding van participant overlapt. Tevens geeft het aan dat het vertrouwen van mensen steeds kleiner wordt wat betreft de mogelijkheden om met wetenschap en techniek de huidige natuur- en milieuproblemen op te lossen.

Tabel 2.2 *Verskillende grondhoudingen van mensen volgens Wim Zweers*

Grondhouding	Beschrijving
Despoot	Een absolute heerser met de overtuiging dat de natuur bestaat voor de mens. Hij mag deze gebruiken zoals hij wil.
Verlicht heerser	Regeert over de natuur, maar met het besef dat hij daar tevens van afhankelijk is, dat natuurlijke hulpbronnen eindig zijn en dat ecosystemen slechts een beperkte draagkracht hebben.
Rentmeester	Beheert het land namens de 'eigenaar' en is daaraan verantwoording schuldig. Hij gebruikt de opbrengst, maar blijft af van het kapitaal met het oog op toekomstige generaties.
Partner	Mens en natuur zijn aan elkaar gelijk, wat leidt tot een evenwicht tussen mensgericht en natuurgericht handelen. De natuur heeft een intrinsieke waarde en moet de mogelijkheid krijgen zich te ontwikkelen.
Participant	Maakt deel uit van de natuur en is daarmee verbonden. Hij legt zichzelf beperkingen op en richt haar wetenschap, techniek en moraal niet langer op onderwerping van de natuur.
Natuurmysticus	Identificeert zich met de natuur waarbij het 'ik', of ego, wegvalt. Daarbij gaat het tevens om een religieuze of soortgelijke ervaring van 'eenheid met de natuur', de natuur is een verschijningsvorm van het goddelijke.

Vrij naar Wim Zweers; 'Van despoot tot mysticus', www.woordenwisseling.com.

De verschuiving van de gezamenlijke grondhouding zal van invloed zijn op de manier waarop de agrarische werkwijzen gevolgd kunnen worden. Bij elke handeling moet eigenlijk de vraag gesteld worden waarom die handeling nodig is. Wordt de mens

centraal gesteld of wordt de ecologie centraal gesteld? Hetzelfde geldt voor de toelating van onder andere bestrijdingsmiddelen.

Als er een evenwicht gevonden wil worden tussen mensgericht en natuurgericht handelen is het in deze kwestie nodig strenger te gaan kijken naar het gebruik van bestrijdingsmiddelen. Gezien de opkomst van het partnerschap kan het verstandig zijn hier nu al op te anticiperen wat betreft beleid. Dit moet daarbij gezien worden tegen de achtergrond dat het partnerschap in de toekomst nog verder kan verschuiven naar participant. In de volgende paragraaf wordt beschreven binnen welke waarden dit kan plaatsvinden.

2.6.3 Normatieve aspecten

In verschillende Europese landen, waaronder Frankrijk en Italië, is op basis van het voorzorgsprincipe de toelating van imidacloprid tijdelijk ingetrokken. Het voorzorgsprincipe houdt in dat als er aanwijzingen zijn dat een middel negatieve effecten op het milieu kan hebben, dat het milieu het voordeel van de twijfel krijgt. Er moeten wel maatregelen getroffen worden, ook als de risico's nog niet volledig met wetenschappelijk onderzoek in kaart zijn gebracht. Hierbij worden de ecologische belangen al op een hoger niveau gezet, maar het grenst ook nog sterk aan de grondhouding rentmeester. Er wordt immers in de gaten gehouden of het milieu, 'het kapitaal', niet aangetast wordt.

Met het oog op de ontwikkeling van de gezamenlijke grondhouding van partner, zou deze stelling nog verder aangescherpt kunnen worden. Er moet dan niet achteraf ingegrepen worden als de veiligheid van het middel onzeker blijkt, maar de registratieprocedure moet zodanig aangepast worden dat dergelijke middelen geen toelating meer kunnen krijgen. Wat betreft het gebruik van bestrijdingsmiddelen kan onder andere gekeken worden naar parameters zoals afbreekbaarheid in grond, water en onder invloed van licht, emissie naar grond, lucht en water, mate van uitlekking naar grondwater en (sub)letaal effect op niet-doelwitorganismen.

Als de grondhouding na verloop van tijd verder blijkt te verschuiven van partner naar participant, kan de vraag rijzen óf bestrijdingsmiddelen nog wel gebruikt mogen worden. Het gebruik van bestrijdingsmiddelen is immers een methode om de natuur aan onze wil te onderwerpen, zodat wij zelf in een zo volledig mogelijke mate van de opbrengsten gebruik kunnen maken. Door bovenstaande eisen echter aan te scherpen kunnen er, waar nodig, vooralsnog wel bestrijdingsmiddelen gebruikt worden, wat de opbrengst van gewassen ten goede kan komen. Door eenzelfde waarde te hechten aan ecologische belangen als aan menselijke belangen, kan er in de eerste plaats een evenwicht ontstaan tussen de ontwikkeling van de natuur enerzijds en de mens anderzijds.

3. Imidacloprid in oppervlaktewater: correleert dit met bijensterfte?

Om een betrouwbare indruk te krijgen van de risico's van imidacloprid in Nederland, is een correlatieonderzoek uitgevoerd naar bijensterfte en imidaclopridresiduen in oppervlaktewater. Hierbij is uitgegaan van de veronderstelling dat als er meer imidacloprid in het milieu terecht komt, er in die omgeving verhoogde bijensterfte verwacht kan worden. Omdat gegevens van imidacloprid en bijensterfte voor meerdere jaren bekend zijn, is er tevens naar een jaaroverschrijdend effect gekeken.

3.1 Dataverzameling imidacloprid in oppervlaktewater en bijensterfte

Meetgegevens van imidacloprid in oppervlaktewater zijn verzameld door de verschillende waterschappen in Nederland. Een klein aantal waterschappen dat weinig of geen residuen van imidacloprid in hun gebied aantrof, heeft besloten imidacloprid verder niet hun analysepakket mee te nemen. Alle waterschappen zijn individueel benaderd voor de ruwe meetgegevens van imidacloprid. Waterschap Hollandse Delta heeft afspraken met bedrijven om geen ruwe data vrij te geven. De ruwe meetgegevens van Hollandse Delta zijn daarom via de bestrijdingsmiddelenatlas opgevraagd.

Gegevens van wintersterfte zijn via enquêtes verzameld door PRI Bijen@wur, Wageningen, voor de jaren 2005, 2006, 2007 en 2009. Gezien het grote aantal imkers was het niet mogelijk alle imkers individueel te benaderen over de precieze plaats van de stand. Imkers van de jaren 2005 en 2009 zijn allemaal individueel benaderd, maar bij imkers van de jaren 2006 en 2007 is de volgende aanname gedaan: als een imker 20 of minder volken heeft en de opgegeven standplaats overeenkomt met de woonplaats van de imker, wordt de postcode van het woonadres van de imker als standplaats aangenomen.

In 2008 is door Bijen@wur een landelijke monitoring gedaan naar ziektes en parasieten bij bijenvolken. Hiervoor zijn bijenstanden bij een aantal imkers bemonsterd en onderzocht. Van de bijenstanden zijn mengmonsters gemaakt van bijen van vijf verschillende volken. In 2009 is als vervolg van deze monitoring bij de betreffende imkers geïventariseerd wat de wintersterfte was. Gegevens uit deze monitoring die gebruikt zijn als covariabelen zijn het aantal verschillende aangetroffen ziektes, het aantal varroamijten per monster van 100 bijen en het aantal varroabestrijdingen. Nadeel van deze manier van monitoren is dat de gegevens per stand zijn verzameld en niet per volk.

De Nationale Milieu Indicator, Alterra, heeft op basis van gegevens van het CBS voor het jaar 2004 berekend welke concentraties imidacloprid in oppervlaktewater te verwachten

zijn als gevolg van emissie uit open teelt en kassen. Deze berekeningen zijn onder andere gebaseerd op gebruik van imidacloprid door bedrijven, grondgebruik en bekende emissiefactoren (RIVM, 2006). Voor het gebruik van de absolute waarden is de Nationale Milieu Indicator benaderd.

3.2 Statistische analyse

Voor de analyse is uitgegaan van een worst case scenario. Hierbij is uitgegaan van maximale risico's, waarbij aangenomen is dat sterfte in meerdere of mindere mate afhankelijk is van het aangenomen risico. Er zijn vooralsnog geen gegevens beschikbaar van de hoeveelheid imidacloprid die bijen in Nederland in werkelijkheid binnenkrijgen.

3.2.1 Risicobepaling blootstelling

Een aantal waterschappen voert maandelijks metingen uit in oppervlaktewater. Omdat bijen niet het hele jaar buiten vliegen, is op basis van temperatuur een schatting gemaakt van de maximale periode waarin bijen kunnen vliegen. Meteorologische gegevens worden dagelijks verzameld en verwerkt door de afdeling Meteorologie en Luchtkwaliteit van Wageningen UR (www.met.wau.nl). Hiervan zijn de temperatuurgegevens gebruikt voor het maken van een schatting van de vliegperiode. Algemeen aangenomen wordt dat bijen actief kunnen zijn bij een temperatuur vanaf circa 10°Celsius. De vliegperiode binnen een jaar werd vastgesteld door de periode te nemen tussen de eerste en laatste drie aaneengesloten dagen dat de maximum temperatuur minimaal 10°Celsius was.

Waarden van imidacloprid die buiten deze periode gemeten waren, werden uit de analyse verwijderd. Van de overige meetwaarden werd per meetpunt de hoogst gemeten waarde aangehouden voor verwerking in de analyse. Omdat wordt uitgegaan van een worst case scenario zijn ook meetwaarden beneden de detectiegrens verwerkt. Om het risico op insleep van imidacloprid niet afhankelijk te laten zijn van de nauwkeurigheid van door de waterschappen gebruikte analysemethoden, is de risicowaarde voor metingen beneden de detectiegrens landelijk vastgesteld op 0,01 µg/l. Deze waarde komt overeen met de laagste detectiegrens voor de meeste waterschappen.

Het vliegbereik van bijen is afhankelijk van verschillende factoren, zoals weersomstandigheden en dracht. Hoewel algemeen wordt aangenomen dat bijen in straal van drie kilometer rond de kast foerageren, is bekend dat ze ook vaak binnen een straal van een kilometer blijven of, indien nodig, juist 7,5 kilometer of verder vliegen (Beekman&Ratnieks, 2000; Steffan-Dewenter&Kuhn, 2003). Om een reële schatting te maken van het risico op verontreiniging via oppervlaktewater, is besloten meetgegevens van imidacloprid in verschillende afstanden van het volk mee te nemen. Voor elk volk is

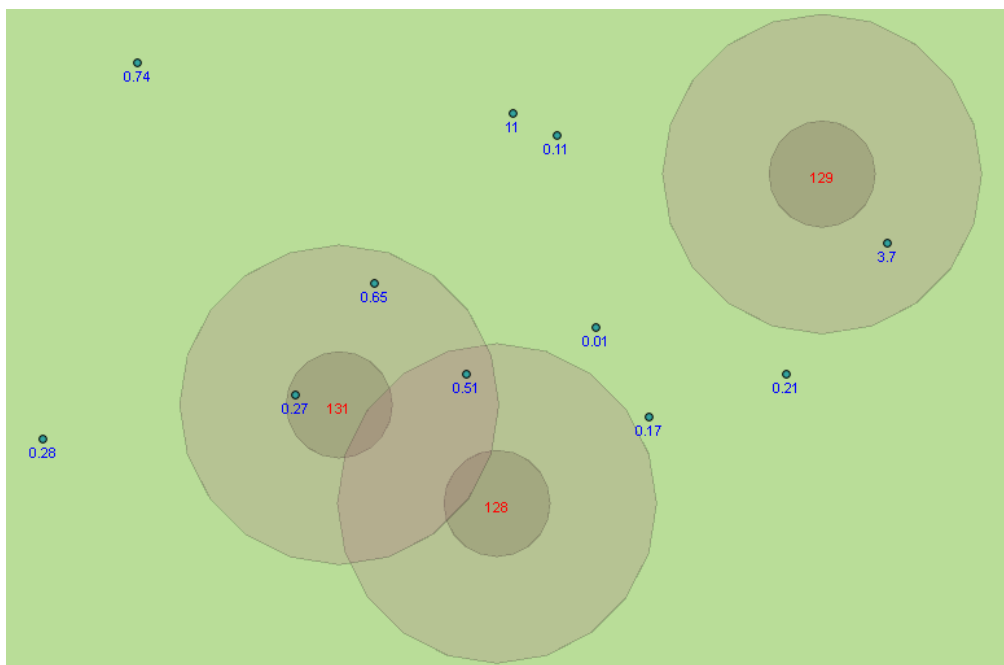
een buffer gemaakt van 1000, 3000 en 7500 meter rond het volk. De meetpunten binnen die buffers zijn vervolgens in de analyse opgenomen.

3.2.2 Covariabelen

De enquêtes van bijensterfte komen niet voor elk jaar precies overeen. Dat heeft als gevolg dat er per jaar andere covariabelen zijn. Tevens zijn niet alle verzamelde gegevens ook bruikbaar als covariabele. Bruikbare covariabelen waren het aantal varroabestrijdingen (2005, 2009), varroabestrijding in de winter (2007), varroadruk per stand (2009) en het aantal verschillende ziektes in volken van één stand (2009).

3.2.3 Analyse

Geografische gegevens zoals meetpunten van imidacloprid en standplaatsen van volken zijn verwerkt in een GIS-applicatie. Hiervoor zijn xy-coördinaten op basis van het rijkdriehoeksstelsel gebruikt. De postcodes van de imkers zijn gekoppeld aan xy-coördinaten en ingevoerd in het programma Quantum GIS 1.0.2 Kore. Ook de meetpunten van imidacloprid zijn in het programma ingevoerd. Per standplaats zijn buffers gemaakt van 1000, 3000 en 7500 meter, waarna meetgegevens van imidacloprid aan de respectievelijke buffers gekoppeld konden worden. Per imker is voor elke buffer de hoogst gemeten waarde als risicomaat voor de betreffende volken aangehouden (figuur 3.1).



Figuur 3.1 Imkers (rood) met een buffer van 1000 en 3000 meter en verschillende meetpunten van imidacloprid met bijbehorende meetwaarde in µg/l (blauw).

Voor verdere analyses is gebruik gemaakt van het programma GenStat 11.1. Het aantal volken kan per imker sterk verschillen, met als gevolg dat het percentage sterfte niet voor elke imker even nauwkeurig is. Als een imker twee volken heeft waarvan er één dood is, resulteert dat in een sterftepercentage van 50 procent. Om dit effect zo veel mogelijk te beperken, is de sterfte per volk ingevoerd. Hierbij vormt elk volk een nieuwe regel met de waarde 0 of 1, respectievelijk geen sterfte of sterfte. De uitkomstvariabele volgt daarmee een binomiale verdeling.

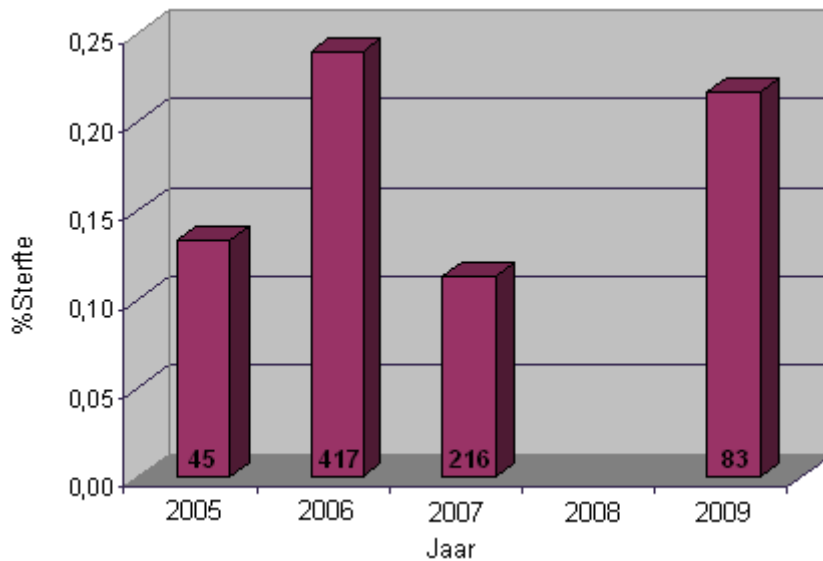
Imkerpraktijk en jaarlijkse externe invloeden, zoals weersomstandigheden en dracht, kunnen een sterke invloed uitoefenen op het wel of niet optreden van sterfte. Met de analyse generalized linear mixed models (GLMM) is met random effects gecorrigeerd voor het feit dat er meerdere volken per imker en per jaar zijn ingevoerd. Bij de analyse per jaar zijn de imidaclopridwaarden en covariabelen als fixed effects ingevoerd. Om te kijken naar een jaaroverschrijdend effect is de analyse over de verschillende jaren gezamenlijk uitgevoerd. De covariabelen zijn hierin niet meegenomen, omdat dat te veel missing values gaf. Hierbij zijn alleen de meetwaarden van imidacloprid als fixed factor ingevoerd.

Om te kijken naar de mate waarin de sterfte wordt veroorzaakt door factoren als jaar, imker en imidacloprid, is gebruik gemaakt van generalized linear models (GLM) met binomiale verdeling. Door de verschillende factoren één voor één in te voeren is gekeken naar de invloed van afzonderlijke factoren en eventuele interacties daartussen.

3.3 Resultaten

3.3.1 Bijensterfte

Aan de hand van het totaal aantal ingewinterde en uitgewinterde volken kon per jaar het gemiddelde sterftepercentage voor Nederland berekend worden (figuur 3.2). In 2006 en 2009 bleek de sterfte hoger dan in de jaren 2005 en 2007. Een duidelijke oorzaak is hier niet direct voor aan te wijzen. Tevens is per jaar een schatting gemaakt van de gemiddelde sterfte per regio. De regio's bestaan uit een raster dat Nederland in vakken van 50x50km verdeeld. De sterfte per regio is weergegeven in bijlage II. De verdeling van sterfte over Nederland laat op het oog geen jaaroverschrijdend regionaal gebonden sterfte zien.



Figuur 3.2 Bijensterfte per jaar in Nederland. De getallen in de balken geven het aantal imkers in de monitoring van dat jaar aan, van 2008 zijn geen gegevens beschikbaar.

3.3.2 Concentraties imidacloprid in oppervlaktewater

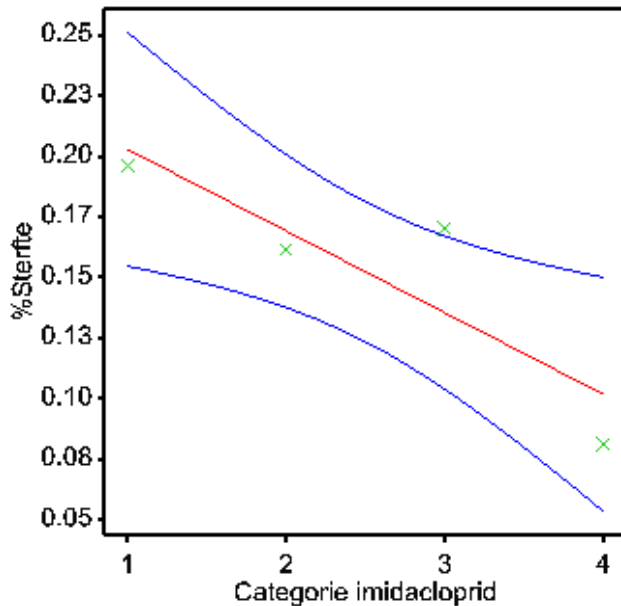
Op basis van de door de NMI berekende emissie zouden de hoogste overschrijdingen van imidacloprid verwacht worden in de kop van Noord-Holland, het Zuiderzeegebied en aan de kust op de grens van Noord- en Zuid-Holland (Bijlage III). De daadwerkelijk gemeten overschrijdingen zijn met name geconcentreerd in de kop van Noord-Holland en het Westland. Overschrijdingen in het Zuiderzeegebied zijn over de verschillende jaren gezien niet opvallend hoog en op de grens van Noord- en Zuid-Holland wordt slechts bij een aantal meetpunten regelmatig een te hoge waarde aangetroffen (bijlage IV).

De onverwacht hoge overschrijdingen in het Westland zijn een gevolg van emissie uit de glastuinbouw. Door onder andere het lozen van condenswater en het spuien van drainwater komt imidacloprid buiten de kassen terecht (Alterra, 2006). De overschrijding van imidacloprid in oppervlaktewater lijkt over het algemeen plaatsgebonden. Dit valt eenvoudig te verklaren doordat de gewassen waarop imidacloprid wordt toegepast gewoonlijk ook geconcentreerd in één gebied staan (zoals glastuinbouw in het Westland, bloembollenteelt in de kop van Noord-Holland). Deze regionale gebondenheid is in de bijensterfte echter niet terug te zien.

3.3.3 Imidacloprid in relatie tot bijensterfte

Om te zien of een lineair verband tussen imidacloprid en bijensterfte verwacht mocht worden, zijn de concentraties imidacloprid in categorieën verdeeld en afgezet tegen de sterftepercentages. Ruim 60% van de imkers is echter gekoppeld aan een maximale meetwaarde van 0,01µg/l en een klein aantal imkers is gekoppeld aan meetwaarden die zeer sterk naar rechts uitwijken, oplopend tot meer dan 100µg/l. Een nauwkeurige

categorie-indeling is hierdoor niet goed mogelijk. Er zijn vier categorieën gemaakt van gegevens binnen de buffer van 7500 meter, zodat er voldoende volken per categorie ingedeeld konden worden. Met GenStat is een regressieanalyse uitgevoerd, die een probability van 0,125 weergaf. De grafiek met 95%-confidence interval is weergegeven in figuur 3.3. Gezien de kleine hoeveelheid categorieën is een lineair verband niet onwaarschijnlijk.



Figuur 3.3. Regressie tussen wintersterfte en imidacloprid binnen een buffer van 7500 meter, nadat deze in categorieën zijn verdeeld ($p=0,125$). Blauwe lijnen geven 95%-confidence interval aan; categorie 1=0-5 $\mu\text{g/l}$; 2=5-10 $\mu\text{g/l}$; 3=10-15 $\mu\text{g/l}$; 4=>15 $\mu\text{g/l}$.

De concentraties imidacloprid zijn vervolgens gekwadrateerd en als fixed factor in GLMM ingevoerd. Bij zowel de imidaclopridwaarden binnen 1000, 3000 en 7500 meter gaf dit geen significante correlatie. Dat houdt in dat de gegevens ook geen exponentiële verdeling volgen. Bij de rest van de analyse is daarom uitsluitend naar een lineair verband gekeken. Omdat de meetwaarden van imidacloprid zo sterk naar rechts uitwijken, is, om eventuele effecten daarvan op de analyse zo veel mogelijk te beperken, in plaats van de absolute meetwaarden gebruik gemaakt van het natuurlijk logaritme van de meetwaarden.

Uitkomsten analyse 2005

Voor de sterftegegevens van 2005 konden zowel de absolute meetwaarden van de waterschappen als de berekende meetwaarden van de NMI als x-variabele gebruikt worden. Deze zijn daarom afzonderlijk geanalyseerd. Omdat de berekende waarden van emissie van imidacloprid per kilometerhok voor heel Nederland bekend waren, zijn deze waarden opgedeeld in de categorieën: 'maximale waarde' en 'som van alle waarden',

berekend over buffers van 1000, 3000 en 7500 meter rond de volken. Tevens is het aantal varroabestrijdingen als covariabele opgenomen.

Berekende waarden van imidacloprid

Het aantal varroabestrijdingen bleek volgens GLMM een significant negatief gerichte factor ($p < 0,001$; 45 imkers, 374 volken): hoe meer bestrijdingen, hoe minder sterfte. Na verwerking van deze variabele met GLM bleek echter dat de variantie in de sterfte die door het aantal bestrijdingen verklaard werd, volledig overlapt werd door het effect van de imker. Het imkereffect werd echter niet volledig verklaard door het aantal varroabestrijdingen. Ook na gecorrigeerd te hebben voor het aantal bestrijdingen, bleef het imkereffect sterk significant ($p < 0,001$). Deze variabelen zijn sterk met elkaar verstrengeld. Dat houdt in dat de met GLMM gevonden significantie mogelijk een imkereffect is, en niet specifiek een effect van het aantal bestrijdingen.

Voor zowel de maximale waarde van imidacloprid als de som van alle waarden voor de verschillende buffers, werd met GLMM in geen van de gevallen significantie gevonden. Analyse met GLM liet zien dat zowel de maximale waarden als de som van alle waarden een significant effect hadden, echter pas nadat een deel van de variantie in de sterfte al door imker verklaard was (in alle gevallen $p < 0,01$). In alle gevallen bleek het imkereffect sterk significant, namelijk $p < 0,001$.

Gemeten waarden van imidacloprid

In de buffers van 1000 en 3000 meter waren niet voldoende imkers die aan een meetpunt gekoppeld konden worden, zodat geen analyse uitgevoerd kon worden. Voor de buffer van 7500 meter is wel een analyse uitgevoerd (11 imkers, 106 volken). Met deze data werd echter geen significante correlatie gevonden tussen imidaclopridwaarden en bijensterfte. Hierbij moet in aanmerking genomen worden dat de steekproef relatief klein is, wat de uitkomst van de analyse minder betrouwbaar maakt.

Uitkomsten analyse 2006

Voor het jaar 2006 waren geen bruikbare covariabelen beschikbaar, en er is dus alleen gekeken naar de factoren sterfte en imidacloprid. In de buffer van 1000 meter waren onvoldoende imkers om te analyseren, gegevens van de buffers van 3000 en 7500 meter zijn wel geanalyseerd. Met GLMM bleek zowel voor 3000 meter (40 imkers, 295 volken) als 7500 meter (171 imkers, 1197 volken) geen significante correlatie tussen sterfte en imidacloprid.

Uit analyse met GLM bleek voor de gegevens van 7500 meter dat imidacloprid wel een significant deel van de sterfte leek te verklaren ($p = 0,014$), maar ook deze was

verstrengeld met imkereffect. Niet alleen was het imkereffect sterker significant ($p < 0,001$), het overlapt ook volledig het imidacloprideffect. Net als voor het jaar 2005 werd het imkereffect slechts voor een klein deel door imidacloprid verklaard. Hoewel voor de buffer van 3000 meter geen significantie werd gevonden, bleek imkereffect ook hier volledig het imidacloprideffect te overlappen.

Uitkomsten analyse 2007

Net als voor 2006 zijn voor 2007 alleen de gegevens van 3000 meter (23 imkers, 162 volken) en 7500 meter (70 imkers, 531 volken) geanalyseerd. Het wel of niet geven van een winterbehandeling tegen varroa is als covariabele opgenomen. Volgens GLMM bleken binnen 7500 meter zowel imidacloprid als winterbehandeling niet significant. Verdere analyse met GLM liet voor beide variabelen wel een significant effect zien ($p = 0,037$ en $p < 0,001$ voor respectievelijk imidacloprid en winterbehandeling). Beide variabelen werden echter volledig overlapt door imkereffect ($p < 0,001$).

Binnen 3000 meter bleken imidacloprid en winterbehandeling zowel met GLMM als met GLM niet significant. Analyse met GLM liet echter wel zien dat beide variabelen volledig door imkereffect werden overlapt. Imkereffect zelf was wel significant ($p = 0,03$).

Uitkomsten analyse 2009

Eerst is voor de volledige dataset gekeken naar mogelijke correlaties tussen de covariabelen aantal ziektes, aantal varroamijten en aantal bestrijdingen (84 imkers, 1229 volken). Omdat de data ordinaal waren en niet per volk, maar per imker waren ingevoerd, is een Spearman's rank correlatie toets gebruikt voor deze analyse. Met deze analyse is geen significante correlatie gevonden tussen hoeveelheid mijten en aantal ziektes en tussen aantal bestrijdingen en hoeveelheid mijten.

Analyse van de sterfte is uitgevoerd voor de buffers 3000 meter en 7500 meter. Binnen 3000 meter gaf GLMM een significant positieve correlatie voor hoeveelheid varroa ($p = 0,027$; 16 imkers, 216 volken), wat inhoudt dat meer varroa leidt tot hogere sterfte. De andere variabelen waren niet significant. Na de variabelen met GLM geanalyseerd te hebben bleek dat zowel hoeveelheid varroa ($p < 0,001$), aantal bestrijdingen ($p = 0,002$) als imker ($p = 0,001$) een significant deel van de sterfte verklaarden. Gecorrigeerd voor imkereffect ($p < 0,001$) bleek echter dat de variabelen aantal bestrijdingen, aantal ziektes en imidacloprid volledig door imker werden overlapt. Varroa werd deels overlapt door imkereffect, waarna het nog wel een significant deel van de sterfte verklaarde ($p = 0,049$).

Binnen 7500 meter (46 imkers, 605 volken) gaf GLMM een significant effect voor zowel varroa ($p < 0,001$), aantal bestrijdingen ($p < 0,001$) als imidacloprid ($p = 0,029$). Aantal

ziektes bleek niet significant. Met GLM werd voor dezelfde variabelen en voor imker significantie gevonden. Na echter met GLM gecorrigeerd te hebben, bleek dat de variabelen aantal bestrijdingen, aantal ziektes en imidacloprid volledig door imker ($p < 0,001$) werden overlapt. De variabele varroa werd deels overlapt door imkereffect, waarna het echter nog wel een significant deel van de sterfte verklaarde ($p = 0,049$).

Uitkomsten jaaroverschrijdend

Tot slot zijn de gegevens van alle jaren tot één dataset samengevoegd en apart geanalyseerd voor de buffers 1000, 3000 en 7500 meter. Met GLMM werd voor 7500 meter een significante correlatie gevonden ($p = 0,048$; 298 imkers, 2439 volken). De data voor 3000 meter (80 imkers, 684 volken) en 1000 meter (12 imkers, 132 volken) gaven geen significante correlatie met imidacloprid.

Met GLM bleek dat zowel voor 1000 meter als voor 7500 meter een significant deel van de variantie in de sterfte verklaard werd door imidacloprid (respectievelijk $p = 0,001$ en $p < 0,001$). Het verband tussen wintersterfte en imidacloprid bleek in alle situaties licht negatief, zoals aangegeven in figuur 3.3. Dat houdt in dat een hogere concentratie imidacloprid leidt tot een lagere sterfte. Na echter gecorrigeerd te hebben voor imker, bleek dat imkereffect (respectievelijk $p = 0,003$ en $p < 0,001$) voor een groot deel het imidacloprideffect overlapte. Het resteffect van imidacloprid bleek vervolgens niet meer significant (respectievelijk $p = 0,327$ en $p = 0,527$). Tevens bleek bij 3000 en 7500 meter een significante interactie tussen imker en imidacloprid (zie tabel 3.1).

Tabel 3.1 *Probabiliteiten voor correlatie tussen wintersterfte en de factoren imidacloprid en imker voor de buffers van 1000, 3000 en 7500 meter, volgens de analysemethoden van GLMM en GLM*

	Factor	1000M	3000M	7500M
GLMM	Imidacloprid	0,072	0,730	0,048*
GLM	Imker	0,003**	<0,001**	<0,001**
	Imidacloprid	0,327	0,218	0,527
	Imker*imidacloprid	0,995	0,013*	0,026*

Zowel voor GLMM als voor GLM zijn de gevonden probabiliteiten weergegeven. De probabiliteiten voor 'Imidacloprid' zoals deze bij GLM zijn weergegeven, zijn verkregen nadat voor imker en jaar is gecorrigeerd.

*Eventuele interactie tussen beide variabelen wordt weergegeven door Imker*imidacloprid.*

**Significant op 0,05-niveau; **significant op 0,01-niveau.*

De factoren imker en jaar bleken verstrengeld voor de buffers 1000 en 3000 meter. Hierin was imker wel een significante factor, maar jaar niet. Voor 7500 meter waren imker en jaar niet verstrengeld, maar bleek jaar wel een significante factor voor bijensterfte

($p < 0,001$). Significantie voor jaar kan veroorzaakt worden door externe invloeden zoals weersomstandigheden en dracht.

3.4 Conclusie

Bijensterfte in Nederland lijkt op het oog niet regionaal gebonden. Regio's waar hoge bijensterfte optreedt veranderen per jaar, terwijl de emissie van imidacloprid naar oppervlaktewater een relatief vast patroon laat zien. Gezien de plaatsgebondenheid van gewassen is dat vaste patroon ook met andere insecticiden te verwachten. Dit lijkt te impliceren dat andere factoren een belangrijker rol spelen in bijensterfte dan pesticiden.

Een eenduidige conclusie wat betreft de oorzaak van wintersterfte in Nederland valt uit de resultaten van de statistische analyse niet af te leiden. Alleen van de varroadruk per stand in 2009 kan gezegd worden dat dit een significant positieve correlatie heeft met sterfte. Overige variabelen bleken volledig verstrengeld met imker. Verschillen tussen imkers worden deels verklaard door de variabelen imidacloprid, hoeveelheid varroa, aantal varroabestrijdingen, aantal ziektes en winterbehandeling, maar een groot deel van het imkereffect kan met de gebruikte variabelen niet verklaard worden.

De jaaroverschrijdende significant negatieve correlatie tussen bijensterfte en imidacloprid binnen een buffer van 7500 meter bleek grotendeels verstrengeld met imker. Na een deel van de variantie in de sterfte verklaard te hebben door imker, was de restwaarde van imidacloprid onvoldoende om nog een significant deel van de sterfte te verklaren. Omdat imkereffect zo'n groot deel van imidacloprideffect overlapt, is het heel goed mogelijk dat de gevonden significantie van imidacloprid in wezen een verkapt imkereffect is.

De factor imker is in de meeste beoordeelde situaties sterker significant dan de concentratie imidacloprid. Hoewel imidacloprid een klein deel van het imkereffect verklaart, wordt het imkereffect daar verder niet of nauwelijks door beïnvloed. Tezamen met de wetenschap dat varroadruk in een volk grotendeels afhankelijk is van imkerpraktijk, geeft dat aan dat het heel goed mogelijk is dat imkerpraktijk een belangrijker rol speelt in wintersterfte dan imidacloprid. Als imidacloprid al een significante invloed heeft op bijensterfte, blijkt uit de analyse dat hogere concentraties in het milieu leiden tot minder sterfte.

4. Discussie

Dat varroa een significante rol speelt in bijensterfte is al langer bekend. Zonder voldoende bestrijding van de parasiet kunnen volken massaal ten gronde gaan. Dit is terug te zien in de analyse van 2009, waar blijkt dat meer varroa een hogere sterfte tot gevolg heeft. Deze uitkomst bevestigt de betrouwbaarheid van de monitoringsgegevens. Tegenwoordig blijkt echter dat de hoeveelheid varroa in een volk niet altijd de doorslaggevende factor hoeft te zijn. Ook de mate waarin de mijten zelf besmet zijn met andere ziektes, is van grote invloed op mortaliteit bij volken. Een kleine hoeveelheid mijten met een hoge besmettingsdruk is schadelijker voor een volk dan een grote hoeveelheid mijten met een lage besmettingsdruk (Gisder *et al.*, 2009).

Uit de gegevens van 2009 blijkt echter niet dat een grotere hoeveelheid verschillende ziektes en parasieten (varroa niet meegerekend) leidt tot een hogere sterfte. Hoewel het reëel zou zijn te verwachten dat een groter aantal ziektes tot een hogere sterfte zou leiden, is de mate waarin ziektes afzonderlijk van elkaar sterfte veroorzaken afhankelijk van de infectiegraad. Een kleine hoeveelheid virussen of parasieten veroorzaakt minder schade dan een grote hoeveelheid van dezelfde soort.

Het is echter wel bekend dat varroa vector is voor verschillende ziektes (Chen *et al.*, 2006). Hoewel de varroabestrijding volledig verstrengd was met imker, bleek deze wel een sterk significante factor in sterfte. Varroabestrijding is uiteraard van invloed op de varroabesmetting van een volk en daarmee deels ook op de ziektedruk. Een goede bestrijding is dan ook onmisbaar in de imkerpraktijk.

Wat betreft de invloed van imidacloprid op bijensterfte in Nederland was het voor dit onderzoek niet mogelijk om residuen imidacloprid in de bijenvolken zelf te analyseren. Hoewel de aanname is gedaan dat hogere concentraties in het milieu een indicatie zijn voor een hogere sterfte, zeggen deze concentraties niets over de hoeveelheid imidacloprid die bijen binnenkrijgen.

Uit zowel meerjarige Franse en Duitse monitoringsonderzoeken naar de invloed van verschillende biociden uit de agrarische sector op bijensterfte, is gebleken dat residuen imidacloprid in het volk zeer laag waren (Anoniem, 2009; Chauzat *et al.*, 2009). Er is daar ook geen correlatie gevonden met bijensterfte. Ook andere onderzoekers hebben geen correlatie gevonden tussen bijensterfte en imidaclopridgebruik in de omgeving (Nguyen *et al.*, 2009).

Tevens kan de vraag gesteld worden in hoeverre bijen foerageren op verontreinigd voedsel. Bijen die getraind zijn op een voederplank te foerageren, bleven hier ook foerageren als de aangeboden suikeroplossing met imidacloprid verontreinigd werd (Bortolotti *et al.*, 2003). Onderzoek naar de effecten van guttatedruppels van gecoat maïs liet zien dat bijen niet van de druppels wilden drinken tenzij ze zeer dorstig waren (Girolami *et al.*, 2009). Het guttatiewater was echter veel sterker verontreinigd dan het oppervlaktewater in Nederland (10-100mg/l in guttatedruppels ten opzichte van een eenmalig gemeten maximum van 0,45mg/l in oppervlaktewater).

Bij verreweg de meeste laboratoriumonderzoeken wordt de experimentele voeding met suiker aangezoet, waarbij eventuele repellent effects wegvallen. Het is mogelijk dat als oppervlaktewater sterk verontreinigd is met imidacloprid, dat bijen hier niet algemeen op foerageren. Wel kan aangenomen worden dat bijen aan een hoger risico blootgesteld worden bij hogere concentraties imidacloprid in oppervlaktewater. Het is echter mogelijk dat bijen door eventuele subletale effecten het volk niet meer kunnen terugvinden of geen correcte bijendansen meer uitvoeren om andere bijen op de mogelijke bron te wijzen (Medrzycki *et al.*, 2003; Ramirez-Romero *et al.*, 2005). Dit beperkt het risico op verontreiniging voor het volk.

In dit onderzoek is niet gekeken naar mogelijke interacties met andere factoren zoals varroa en nosema. De vitaliteit van een volk is afhankelijk van externe factoren zoals weersomstandigheden en dracht, maar kan ook aangetast worden door ziekten en parasieten. Als een volk sterk aangetast is door varroa, dan is de kans dat ze in de winter bezwijkt door een virus groter. Hetzelfde kan gebeuren in een combinatie met imidacloprid. Uit laboratoriumonderzoek is onder andere gebleken dat er een interactie kan plaatsvinden tussen imidacloprid en *Nosema ceranae* (Alaux *et al.*, 2010b).

Hoewel verschillende onderzoekers imidacloprid ervan lijken te verdenken volken in zo'n mate te verzwakken dat ze daardoor gevoeliger worden voor de invloed van ziekteverwekkers, is dit tot nog toe niet aangetoond. Daarbij komt dat Amerikaans onderzoek geen verhoogde expressie vond van genen die reageren op pesticidenverontreiniging (Johnson *et al.*, 2009). Hier moet echter in aanmerking genomen worden dat Amerikaanse onderzoeksresultaten niet automatisch op de Nederlandse situatie toegepast kunnen worden. Het verschijnsel CCD is in de Verenigde Staten bijvoorbeeld in verband gebracht met Israëli Acute Paralysis Virus, terwijl dit virus in Nederland nog niet is aangetoond (Cox-Foster *et al.*, 2007; Blacquière, 2008).

Een Europees onderzoek over acht verschillende landen liet zien dat met name insecticiden en fungiciden een continu negatief effect hadden op de biodiversiteit. Hoewel

hierin niet specifiek naar honingbijen is gekeken, laat het onderzoek duidelijk zien dat landbouwmethoden en gebruik van insecticiden schadelijk zijn voor de biodiversiteit (Geiger *et al.*, 2009). Omdat uit wetenschappelijk onderzoek nooit geconcludeerd kan worden dat iets géén risico vormt, is met het in dit rapport beschreven onderzoek niet de veiligheid van imidacloprid voor bijen in Nederland gegarandeerd. Hoewel uit het onderzoek een consistente negatieve correlatie bleek, was deze uiteindelijk niet significant en kan dit resultaat dus op toeval berusten.

Op basis van dit onderzoek en de eerder genoemde monitoringsonderzoeken in Duitsland en Frankrijk kan geen correlatie gevonden worden tussen imidaclopridresiduen in het milieu en bijensterfte. In vervolgonderzoeken kan het daarom nuttig zijn de focus te verleggen naar de interactie tussen verschillende factoren. Hierbij kan bijvoorbeeld gekeken worden naar de mogelijke interactie tussen imidacloprid en nosema in het veld, of naar de effecten van imidacloprid op volken met verminderde vitaliteit als gevolg van bijvoorbeeld stuifmeelgebrek of varroabesmetting.

5. Eigen visie

In dit hoofdstuk zal ik mijn eigen standpunt beschrijven met betrekking tot de rol van imidacloprid in het probleem van bijensterfte. Ook kijk ik naar het gebruik en emissie van imidacloprid in meer algemene zin en zal ik mijn visie ten opzichte van de huidige wetgeving beschrijven. Tot slot kijk ik naar de mogelijkheden tot de oplossing van het huidige probleem.

5.1 *Imidacloprid en bijensterfte*

De negatieve effecten van imidacloprid op het functioneren van bijen zijn legio en met een veelheid aan wetenschappelijk onderzoek beschreven. De veronderstelling dat imidacloprid ook tot negatieve effecten op volken in het veld moet leiden is dan ook zeker niet raar. De aanname dat imidaclopridgebruik door de agrarische sector ook leidt tot wintersterfte is bij mijn weten tot nog toe echter niet onomstotelijk bewezen. Ook het door mijzelf uitgevoerde onderzoek geeft geen enkele houvast voor die stelling.

Covariabelen die in het onderzoek werden opgenomen, zoals aantal ziektes, aantal varroabestrijdingen en winterbehandeling, bleken allemaal volledig verstrengeld met imker. Dat is logisch, want varroabestrijding, en daarmee dus de hoeveelheid varroa en de ziektedruk, is onderdeel van de imkerpraktijk. In alle gevallen bleek de imkerpraktijk sterker significant dan imidacloprid, zelfs als al gecorrigeerd was voor de verschillende covariabelen die met imker overlaptten.

Dat geeft in de eerste plaats aan dat imker een verzamelpotje is van verschillende factoren waarvan, op basis van dit onderzoek, verreweg het grootste deel onbekend is. Het imkereffect kan daardoor niet verklaard worden. Wel geeft het aan dat de imker waarschijnlijk een sterkere invloed heeft dan imidacloprideffecten en jaareffecten zoals weersomstandigheden en dracht. Dat idee is echter niet geheel consistent met het beeld dat de laatste jaren wereldwijd een hogere bijensterfte wordt waargenomen. Imkers zullen niet wereldwijd, onafhankelijk van elkaar, plotseling van methode veranderd zijn. Dat geeft aan dat er dus ook externe factoren mee moeten spelen.

5.2 *Imidacloprid in het milieu*

Dat imidacloprid als afzonderlijke factor waarschijnlijk geen relevante factor is in de bijensterfte, neemt niet weg dat het dan toch een verantwoord middel is. De toepassingsmogelijkheden van imidacloprid maken het een geliefd middel voor de agrarische sector. Het kan niet alleen op veel verschillende manieren gebruikt worden, er is ook maar weinig van het middel nodig om een voldoende resultaat te behalen. Milieutechnisch gezien heel fijn.

We moeten vervolgens echter niet over het hoofd zien dat het middel zeer persistent is in de grond (de halfwaardetijd in grond kan, afhankelijk van de omstandigheden, oplopen tot meer dan een jaar), en dat er vanuit verschillende sectoren emissie plaatsvindt naar met name oppervlaktewater. Door de persistentie in de grond kan het middel nog teruggevonden worden in onbehandelde planten die een jaar later op dezelfde grond groeien (Bonmatin *et al.*, 2005b). Wat betreft emissie naar het oppervlaktewater: ook voor waterdieren kan imidacloprid zeer schadelijk zijn (Stoughton *et al.*, 2008).

Bovenstaande factoren leiden tot de conclusie dat imidacloprid een middel is dat maar beter niet in het milieu terecht kan komen. Het is echter moeilijk aan te geven wat de draagkracht is van het milieu. Hoeveel imidacloprid kan in het milieu terecht komen voordat er schade aan enige vorm van leven plaatsvindt? Ik denk zelf dat op deze manier het probleem van de verkeerde kant benaderd wordt. De gedachtegang achter die vraag is namelijk antropocentrisch. Wanneer vinden wij dat er sprake is van schade? Als we vanuit het oogpunt van de natuur denken (ecologisch) kunnen we het beste zo min mogelijk biociden gebruiken (het woord zegt het al!). Zeker middelen met een hoge persistentie zijn dan uit den boze.

5.3 Gebruik en emissie van imidacloprid

In de vorige paragraaf laat ik al mijn ecologisch standpunt doorschemeren. In basis val ik het meest binnen de grondhouding 'partner', maar ik neig enigszins richting 'participant'. Eeuwenlang proberen mensen alles te beheersen wat binnen hun bereik ligt (tot de regen aan toe), en eeuwenlang loopt het uit op niets. Als er iets is wat de vorige eeuw is bewezen, is het wel dat voor elke oplossing die we bedenken, we er drie terugkrijgen. Uitvindingen met een nobel doel zijn voor de meest gruwelijke wandaden gebruikt. Uit alles blijkt dat als wij antropocentrisch denken, zelfs als rentmeester, onze omgeving schade lijdt.

De kans dat we het veel beter doen als we ecologisch gaan denken is klein, al dan niet onmogelijk. Nu ben ik zeker geen pessimist, allesbehalve, maar mensen zijn er gewoonweg fysiek niet toe in staat de gevolgen van hun handelwijze volledig te overzien. Daardoor blijven we verkeerde keuzes maken. Het gebruik van pesticiden in de landbouw kan heel nobel zijn. Door de verhoogde opbrengst van de planten hebben immers meer mensen te eten. De gevolgen zijn echter niet te overzien: tientallen jaren verder hebben we nog geen idee welke invloed onze middelen op het niet-menselijke leven hebben.

Zelf denk ik dat imidacloprid in dit geval maar een klein radertje in een groot geheel is. Het onderzoek van Geiger *et al.* (2009) onderstreept immers de taoïstische

gedachtegang dat alles met elkaar samenhangt. Een hoger gebruik van biociden leidde tot een afname in zowel het aantal wilde plantensoorten, keversoorten en vogelsoorten. Dat in gedachte houdend moet in ieder geval de emissie van imidacloprid, en andere biociden uit welke sector dan ook, tot praktisch nul beperkt worden. Mogelijkheden daartoe worden in de volgende paragraaf besproken.

5.4 Wetgeving en imidacloprid

Nu de negatieve effecten van imidacloprid zijn aangetoond, maar geen correlatie met wintersterfte is gevonden, zou het logisch zijn te concluderen dat we imidacloprid nog wel kunnen gebruiken, maar de emissie moeten beperken. Bij elke oplossing moet echter de vraag gesteld worden of (volgens de grondhouding 'partner') het niet-menselijke leven voldoende ruimte krijgt zich te ontwikkelen. Zo niet, dan moeten we die mogelijkheid creëren.

5.4.1 Duurzaamheidsaspecten

Uit paragraaf 2.3 bleek dat zowel bestuivende insecten als imidacloprid een belangrijke economische waarde hebben. De afgelopen twee jaar hebben veel mensen weer duidelijk ervaren hoe belangrijk een gezonde economie is voor onze welvaart en ontwikkeling. Als de hoeveelheid bestuivende insecten als gevolg van onnadenkend landgebruik en agrarische praktijken zodanig zou teruglopen dat de voedselvoorziening in gevaar komt, dan kan dat (hier spreken we echter van een worstcase scenario) ernstige gevolgen hebben voor zowel mens als natuur.

De bestuivende insecten komen echter niet in moeilijkheden door alleen het gebruik van imidacloprid. Ook dit is weer multicausaal. Als Bayer geen imidacloprid meer zou mogen produceren, zijn ze hun top-selling product kwijt en zal dat bedrijfseconomisch geen goede uitwerking hebben. Daarnaast is de kans dat de positie van honingbijen en andere insecten verbetert zeer klein. Uitgaande van de duurzaamheidsaspecten heeft het aanpassen van de regeling rond het gebruik van imidacloprid geen nut.

5.4.2 Ethische en normatieve aspecten

In paragraaf 2.6 is beschreven welke aspecten van belang zijn voor beleidvorming. Hier werd geconcludeerd dat de gezamenlijke grondhouding van mensen aan het verschuiven is van rentmeester naar partner. Het belang van deze verschuiving ligt enerzijds in het gegeven dat er niet meer antropocentrisch gedacht wordt, maar dat milieu en natuur een hogere positie krijgen. Anderzijds wordt hiermee aangegeven dat mensen minder vertrouwen hebben in de menselijke wetenschap en techniek met betrekking tot het oplossen van problemen. Om te voorkomen dat over een aantal jaar de regelgeving

opnieuw aangepast moet worden, is het verstandig nu al met deze gedachtegang rekening te houden.

In dit geval moet bepaald worden welke oplossingen geboden kunnen worden waarbij de natuur voldoende ruimte krijgt zich te ontwikkelen. Er zijn verschillende oplossingen mogelijk. Een moratorium op basis van het voorzorgsprincipe zal de emissie van imidacloprid beperken, maar vormt geen oplossing voor het probleem van bijensterfte. Op basis van de in paragraaf 2.6.3 geformuleerde stelling zou de registratie- en toelatingsprocedure in die mate aangepast moeten worden, dat potentieel gevaarlijke middelen minder kans krijgen op de markt te komen.

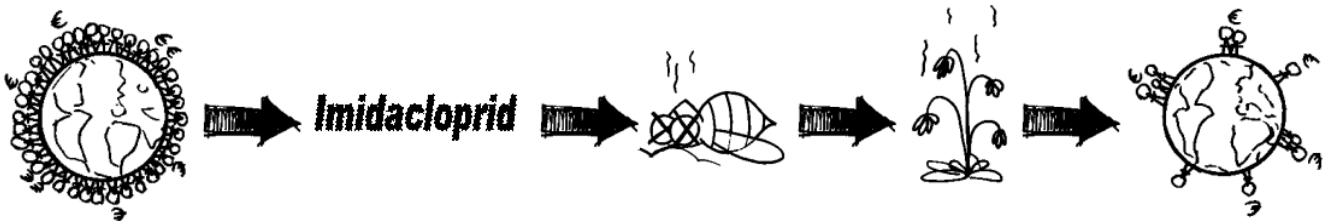
De hoge persistentie van imidacloprid in grond en de emissie van het middel naar onder andere oppervlaktewater geeft aan dat, op basis van de gestelde normatieve aspecten, imidacloprid in eerste instantie niet eens op de markt had mogen komen. Deze regel zou tevens moeten gelden voor alle biociden. De huidige handelwijze (het meermalen verhogen van de norm) lijkt echter aan te geven dat de grondhouding in Nederland nog niet ver genoeg verschoven is om zulke maatregelen al door te voeren. Het verhogen van de norm leidt uiteraard tot minder overschrijdingen, maar het blijft toch een bijzondere vorm van probleemoplossing. Om de belangen van het milieu toch op een hoger niveau te plaatsen, kan de overheid hier het voortouw in nemen en zo de verschuiving richting ecologisch denken stimuleren.

5.4.3 Theoretisch model

Het doel van theoretische modellen is om de werkelijkheid op een eenvoudiger wijze voor te stellen en daardoor inzichtelijk te maken. Een voorbeeld hiervan is figuur 2.1. In een model zouden ook zaken als oorzaak en gevolg weergegeven kunnen worden. De oorzaak voor bijensterfte is naar mijn inzien het antropocentrisch denken van de huidige maatschappij. Het directe gevolg daarvan is dat de natuur aan de mens wordt aangepast, door onder andere een monotone landschapsinrichting en het gebruik van biociden. Dergelijke factoren hebben een negatieve invloed op het niet-menselijk leven (Geiger *et al.*, 2009).

In een worst case scenario zou een tekort aan bestuivende insecten, waaronder honingbijen, kunnen leiden tot een verminderde opbrengst van fruit en groente (wat we juist proberen te voorkomen met het gebruik van pesticiden). Dat heeft als gevolg dat alleen rijkere mensen nog dergelijke gezonde voedingsproducten kunnen kopen. Een tekort aan gezonde voedingsproducten kan een drukkend effect hebben op de overlevingskans van minderbedeelde mensen. Dit is in een stroommodel weergegeven in figuur 5.1. Het uiteindelijke gevolg zou dan zijn dat de huidige verschillen tussen arm en

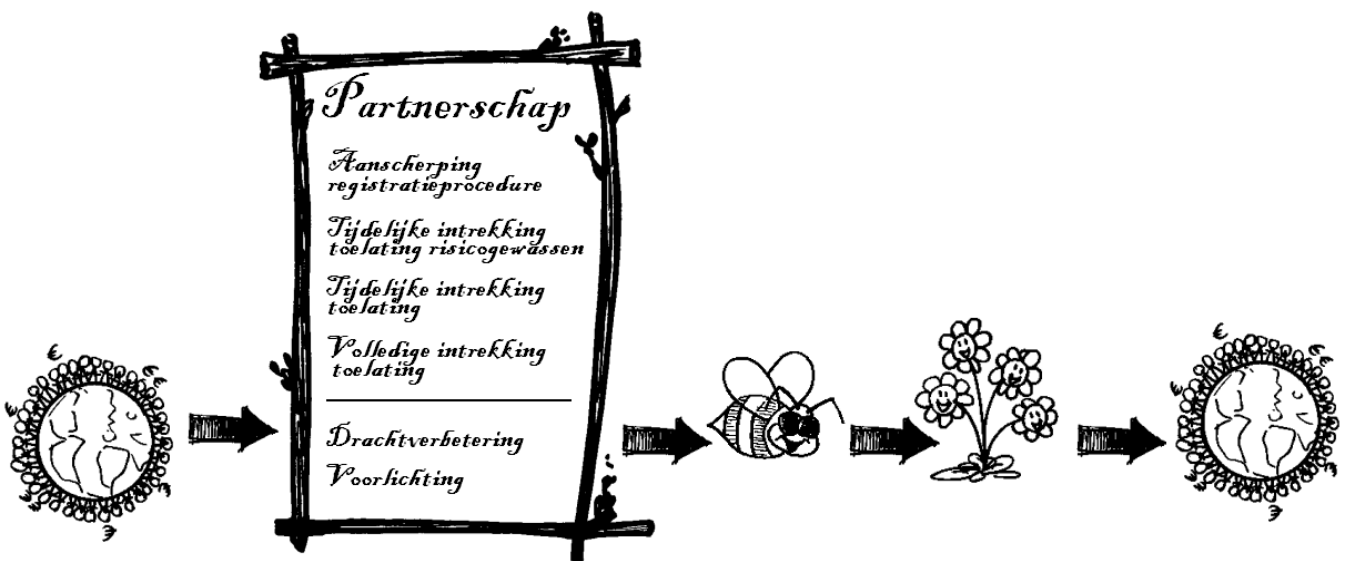
rijk gereduceerd worden en dat, als gevolg van een lagere bevolkingsdichtheid, de natuur meer kans krijgt zich te herstellen. Dit model lijkt me echter niet erg reëel.



Figuur 5.1. Stroommodel voor een worstcase scenario van een antropocentrische denkwijze

De belangrijkste oplossing met betrekking tot het gebruik en de emissie van imidacloprid en van biociden in het algemeen heb ik in de vorige paragraaf beschreven. Wat daarnaast nog gedaan kan worden ter verbetering van de positie van door imkers gehouden honingbijen in Nederland is het verbeteren van de dracht. Hiervoor ligt een belangrijke taak bij de gemeentes. Mogelijkheden om de dracht te verbeteren is het inzaaien van bermen langs wegen en stroken tussen akkervelden en het toepassen van een hogere maaihoogte.

Om ziektes en parasieten bij bijenvolken te voorkomen kan geïnvesteerd worden in grondiger voorlichting van individuele imkers. Ook kan voorlichting aan jongeren en aan het algemene publiek bewerkstelligen dat meer mensen zich gaan interesseren voor het bijhouden en er een hogere tolerantie komt voor bijenvolken in de woonomgeving. Dergelijke maatregelen zouden moeten leiden tot een hogere 'bijendichtheid', waardoor ook de bestuiving van zowel agrarische gewassen als wilde planten veilig gesteld wordt. Dit is weergegeven in het stroommodel in figuur 5.2.



Figuur 5.2. Stroommodel voor een scenario waarin een ecologische grondhouding wordt gevolgd (in dit geval de grondhouding 'partner').

5.5 Conclusie

Imidacloprid als afzonderlijke factor lijkt geen relevante rol te spelen in het probleem van wereldwijde bijensterfte. Verbieden van het middel zal dan ook geen verbetering in de huidige omstandigheden laten zien. De oplossing van het probleem ligt niet in het doorvoeren van technische maatregelen, maar in het veranderen van de huidige denkwijze. Pas als we van het idee afstappen dat we de natuur zonder problemen aan onze wil kunnen onderwerpen, kunnen we de natuur de ruimte bieden zichzelf te herstellen en te ontwikkelen.

6. Conclusie

Bijensterfte in Nederland lijkt op het oog niet regionaal gebonden, terwijl het gebruik van biociden vaak wel regionaal gebonden is. Uit analyse bleek een significant negatieve correlatie tussen piekbelastingen van imidacloprid in oppervlaktewater en bijensterfte. Omdat de variabele imidacloprid voor een groot deel met de factor imker verstrengeld was, is het gevonden imidacloprid effect mogelijk een verkapt imkereffect. Uit dit onderzoek kan niet geconcludeerd worden dat imidaclopridresiduen in oppervlaktewater een relevante factor vormen in bijensterfte.

In het onderzoek is echter geen rekening gehouden met synergistische interactie van imidacloprid met andere factoren die de vitaliteit van een volk kunnen ondermijnen. Bekende factoren, zoals varroabestrijding en aantal ziektes, bleken volledig verstrengeld met de factor imker. Hoewel niet bewezen kan worden dat imidacloprid geen invloed heeft op bijensterfte, lijkt de kans klein dat imidacloprid als afzonderlijke factor een relevante rol speelt.

Literatuur

- Abbink J (1991) The biochemistry of imidacloprid. *Pflanzenschutz-nachrichten Bayer* 44, 183-195.
- Alaux C, Ducloz F, Crauser D, Conte Y le (2010a) Diet effects on honeybee immunocompetence. *Biology Letters*.
- Alaux C, Brunet JL, Dussaubat C, Mondet F, Tchamitchan S, Cousin M, Brillard J, Baldy A, Belzunces LP, Conte Y le (2010b) Interactions between *Nosema* microspores and a neonicotinoid weaken honeybees (*Apis mellifera*). *Environmental Biology* 12(3), 774-782.
- Alterra (2006) Puntbelastingen in de gewasbescherming. Praktijkonderzoek Plant&Omgeving, Wageningen. PPO Publicatienummer 720.
- Amdam GV, Hartfelder K, Norberg K, Hagen A, Omholt SW (2004) Altered physiology in worker honey bees (Hymenoptera: *Apidae*) infested with the mite *Varroa destructor* (Acari: *Varroidae*): A factor in colony loss during overwintering? *Journal of Economic Entomology* 97(3), 741-747.
- Anoniem (2009) Monitoring-Projekt "Völkerverluste". Untersuchungsjahre 2004-2008 Zusammenfassung und vorläufige Beurteilung der Ergebnisse. *Deutsches Bienenjournal* 17, 52-54.
- Bayer (2010) Key figures 2009, geraadpleegd 16 april 2010.
<http://www.bayercropscience.com/bcsweb/cropprotection.nsf/id/FactsFigures>
- Beekman M, Ratnieks FLW (2000) Long-range foraging by the honey-bee, *Apis mellifera* L. *Functional Ecology* 14(4), 490-496.
- Biesmeijer JC, Roberts SPM, Reemer M, Ohlemüller R, Edwards M, Peeters T, Schaffers AP, Potts SG, Kleukers R, Thomas CD, Settele J, Kunini WE (2006) Parallel decline in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313, 351-354.
- Blacquièrè T (2008) De gezondheid van de Nederlandse bijen: eerste resultaten monitoring. *Bijennieuws* 9.
- Blacquièrè T, Steen JJM van der, Cornelissen ACM (2009) Visie bijenhouderij en insectenbestuiving, Analyse van bedreigingen en knelpunten. Rapport 227.
- BLW (2009) Bienen Monitoring in der Schweiz. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern, 1-12.
- Bonmatin JM, Marchand PA, Charvet R, Moineau I, Bengsch ER, Colin ME (2005a) Quantification of imidacloprid uptake in maize crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 5336-5341.
- Bonmatin JM, Moineau I, Charvet R, Colin ME, Fleche C, Bengsch ER (2005b) Behaviour of imidacloprid in fields. Toxicity for honey bees. *Environmental Chemistry – Green Chemistry and Pollutants in Ecosystems*, ed. by Lichtfouse E. Berlin, Springer-Verlag, 483-494.

- Bortolotti L, Montanari R, Marcelino J, Medrzycki P, Maini S, Porrini C (2003) Effects of sublethal doses on the homing rate and foraging activity of honey bees. *Bulletin of Insectology* 56(1), 63-67.
- Chauzat MP, Carpentier P, Martel AC, Bougeard S, Cougoule N, Porta P, Lachaize J, Madec F, Aubert M, Faucon JP (2009) Influence of pesticide residues on honey bee (Hymenoptera: *Apidae*) colony health in France. *Environmental Entomology* 38(3), 514-523.
- Chen Y, Evans J, Feldlaufer M (2006) Horizontal and vertical transmission of viruses in the honey bee, *Apis mellifera*. *Journal of Invertebrate Pathology* 92, 152-159.
- COLOSS (2009) Proceedings of the 5th COLOSS conference. Geraadpleegd december 2009. http://www.coloss.org/documents/Vth_Coloss_Conference_Proceedings.pdf
- Cox-Foster DL, Conlan S, Holmes EC, *et al.* (2007) A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder. *Science* 318, 283-287.
- Ctgb (2004) Toelatingsbesluit ADMIRE, geraadpleegd november 2009. http://www.ctb.agro.nl/ctb_files/11483_14.html..
- Decourtye A, Armengaud C, Renou M, Devillers J, Cluzeau S, Gauthier M, Pham-Delègue M-H (2004a) Imidacloprid impairs memory and brain metabolism in the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Pesticide Biochemistry and Physiology* 78, 83-92.
- Decourtye A, Devillers J, Cluzeau S, Charreton M, Pham-Delègue MH (2004b) Effects of imidacloprid and deltamethrin on associative learning in honeybees under semi-field and laboratory conditions. *Ecotoxicological and Environmental Safety* 57, 410-419.
- Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM (2007) The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology* 52, 81-106.
- Doucet-Personeni C, Halm MP, Touffet F, Rortais A, Arnold G (2003) Imidaclopride utilisé en enrobage de semences (Gaucho®) et troubles des abeilles. Rapport final. Comité Scientifique et Technique de l'Etude Multifactorielle des Troubles des Abeilles (CST). <http://agriculture.gouv.fr/spip/IMG/pdf/rapportfin.pdf>
- Engelsdorp D van, Hayes J Jr, Underwood RM, Pettis J (2008) A survey of honey bee colony losses in the U.S., fall 2007 to spring 2008. *PLoS Biology* 3, e4071.
- Faucon JP, Aurières C, Drajnudel P, Mathieu L, Ribière M, Martel AC, Zeggane S, Chauzat MP, Aubert MFA (2005) Experimental study on the toxicity of imidacloprid given in syrup to honey bee (*Apis mellifera*) colonies. *Pest Management Science* 61, 111-125.
- Gallai N, Salles JM, Settele J, Vaissière BE (2009) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68(3), 810-821.
- Geiger F, Bengtsson J, Berendse F, *et al.* (2009) Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, In Press.
- Girolami V, Mazzon L, Squartini A, Mori N, Marzaro M, Bernardo A di, Greatti M, Giorio C, Tapparo A (2009) Translocation of neonicotinoid insecticides from coated seeds to

- seedling guttation drops: a novel way of intoxication for bees. *Journal of Economic Entomology* 102, 1808-1815.
- Gisder S, Aumeier P, Genersch E (2009) Deformed wing virus: replication and viral load in mites (*Varroa destructor*). *Journal of General Virology* 90, 463-467.
- Guez D (2001) Effets sublétaux de l'imidaclopride sur le comportement de l'abeille domestique (*Apis mellifera*). PhD Thesis, Université Pierre et Marie Curie.
- Halm MP, Rortais A, Arnold G, Taséi JN, Rault S (2006) New risk assessment approach for systemic insecticides: The case of honey bees and imidacloprid (Gaucho). *Environmental Science and Technology* 40(7), 2448-2454.
- Higes M, Martín R, Meana A (2006) *Nosema ceranae*, a new microsporidian parasite in honeybees in Europe. *Journal of Invertebrate Pathology* 92(2), 93-95.
- Higes M, García-Palencia P, Martín-Hernández R, Meana A (2007) Experimental infection of *Apis mellifera* honeybees with *Nosema ceranae* (Microsporidia). *Journal of Invertebrate Pathology* 94(3), 211-217.
- Higes M, Martín-Hernández R, Botías C, Garrido Bailón E, González-Porto AV, Barrios L, Nozal MJ del, Bernal JL, Jiménez JJ, García Palencia P, Meana A (2008) How natural infection by *Nosema ceranae* causes honeybee colony collapse. *Environmental Microbiology* 10(10), 2659-2669.
- Johnson RM, Evans JD, Robinson GE, Berenbaum MR (2009) Transcript abundance relating to colony collapse disorder in honey bees (*Apis mellifera*). *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 14790-14795.
- Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B* 274, 303-313.
- Mattila HR, Otis GW (2006) Influence of pollen diet on development of honeybee colonies. *Journal of Economic Entomology* 99, 604-613.
- Mattila HR, Seeley TD (2007) Genetic diversity in honey bee colonies enhances productivity and fitness. *Science* 317, 362-364.
- Medrzycki P, Montanari R, Bortolotti L, Sabatini AG, Maini S, Porrini C (2003) Effects of imidacloprid in sub-lethal doses on honey bee behaviour. Laboratory tests. *Bulletin of Insectology* 56(1), 59-62.
- Nauen R, Ebbinghaus-Kintscher U, Schmück R (2001) Toxicity and nicotinic acetylcholine receptor interaction of imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Pest Management Science* 57, 577-586.
- Nguyen BK, Saegerman C, Pirard C, Mignon J, Widart J, Thirionet B, Verheggen FJ, Berkvens D, Pauw E de, Haubruge E. Does imidacloprid seed-treated maize have an impact on honey bee mortality? *Journal of Economic Entomology* 102(2), 616-623.
- Oliver R (2009) The future: pesticides and fungicides. *American Bee Journal* 149, 1161-1164.
- Posthuma-Doodeman CJAM (2008) Environmental risk limits for imidacloprid. RIVM Letter report 601716018.

- Ramirez-Romero R, Chaufaux J, Pham-Delègue M-H (2005) Effects of Cry1Ab protoxin, deltamethrin and imidacloprid on the foraging activity and the learning performances of the honeybee *Apis mellifera*, a comparative approach. *Apidology* 36, 601-611.
- RIVM (2006) Evaluatie duurzame gewasbescherming 2006: milieu. RIVM rapport 607016001/2006.
- Schmück R, Schöning R, Stork A, Schramel O (2001) Risk posed to honeybees (*Apis mellifera* L, Hymenoptera) by an imidacloprid seed dressing of sunflowers. *Pest Management Science* 57, 225-238.
- Scott-Dupree CD, Spivak M (2001) The impact of Gaucho and TI-435 seed-treated canola on honey bees, *Apis mellifera* L. Rapport toegestuurd door auteur.
- Steen S van der (2010) Nederlandse bijenonderzoekers bundelen hun krachten. *Bijenhouden* 2010/04, 12.
- Steffan-Dewenter I, Münzenberg U, Bürger C, Thies C, Tschardt T (2002) Scaledependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology* 83(5), 1421-1432.
- Steffan-Dewenter I, Kuhn A (2003) Honeybee foraging in differentially structured landscapes. *Proceedings of the Royal Society B* 270, 569-575.
- Stoughton SJ, Liber K, Culp J, Cessna A (2008) Acute and chronic toxicity of imidacloprid to the aquatic invertebrates *Chironomus tentans* and *Hyalella azteca* under constant- and pulse-exposure conditions. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 54, 662-673.
- Sur R, Stork A (2003) Uptake, translocation and metabolism of imidacloprid in plants. *Bulletin of Insectology* 56(1), 35-40.
- Suchail S, Guez D, Belzunces LP (2001) Discrepancy between acute and chronic toxicity induced by imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 20(11), 2482-2486.
- Suchail S, Sousa G de, Rahmani R, Belzunces LP (2004) *In vivo* distribution and metabolism of ¹⁴C-imidacloprid in different compartments of *Apis mellifera* L. *Pest Management Science* 60, 1056-1062.
- Syngenta (2010) Citi 2010 West coast symposium, geraadpleegd april 2010.
http://www2.syngenta.com/en/investor_relations/pdf/Citi_2010_West_Coast_Symposium_190310.pdf

Met dank aan de volgende organisaties:

Bestrijdingsmiddelenatlas, CML Leiden

Bijen@wur, PRI Wageningen

Nationale Milieu Indicator, Alterra

Waterschappen:

Aa en Maas

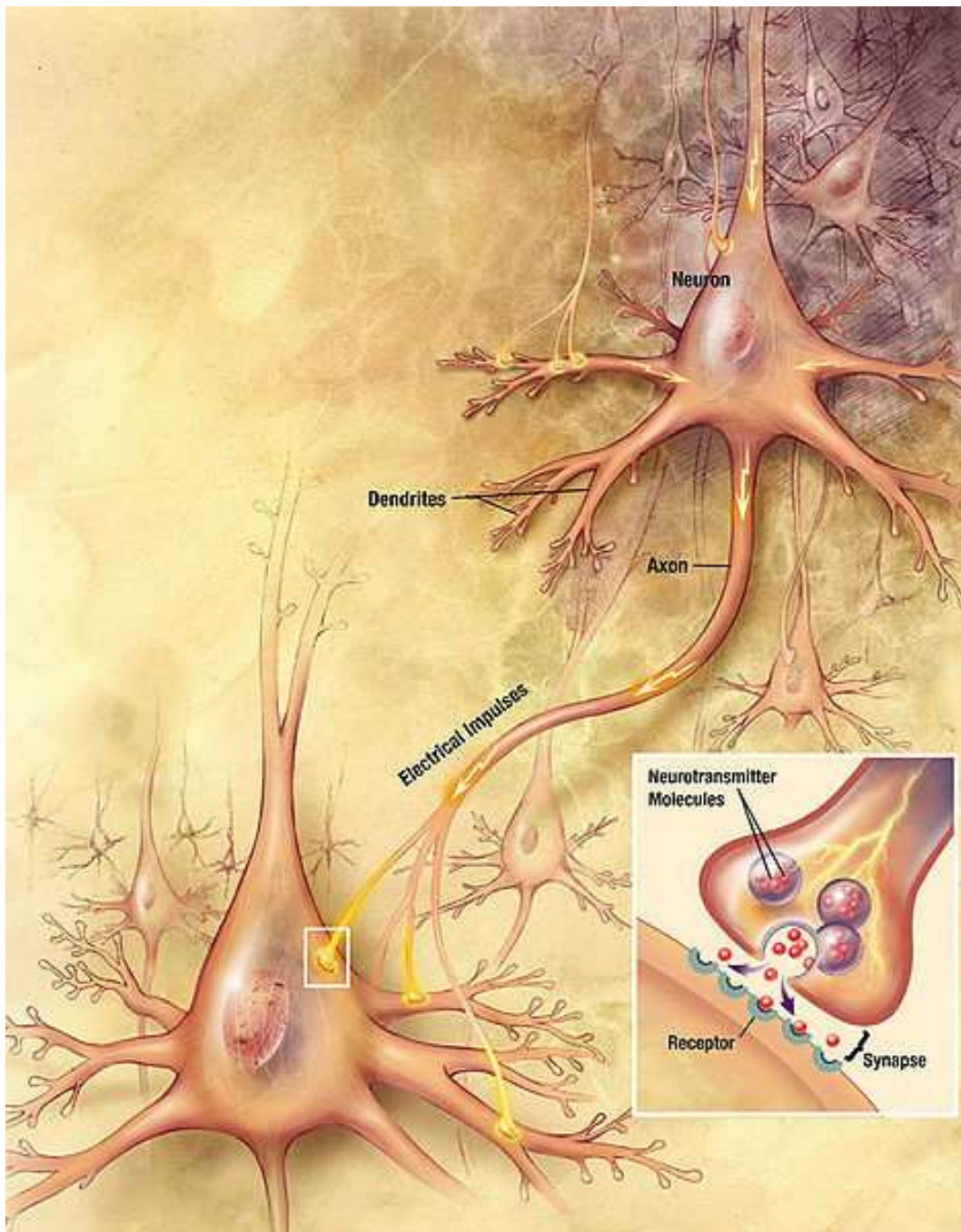
Brabantse Delta

Delfland

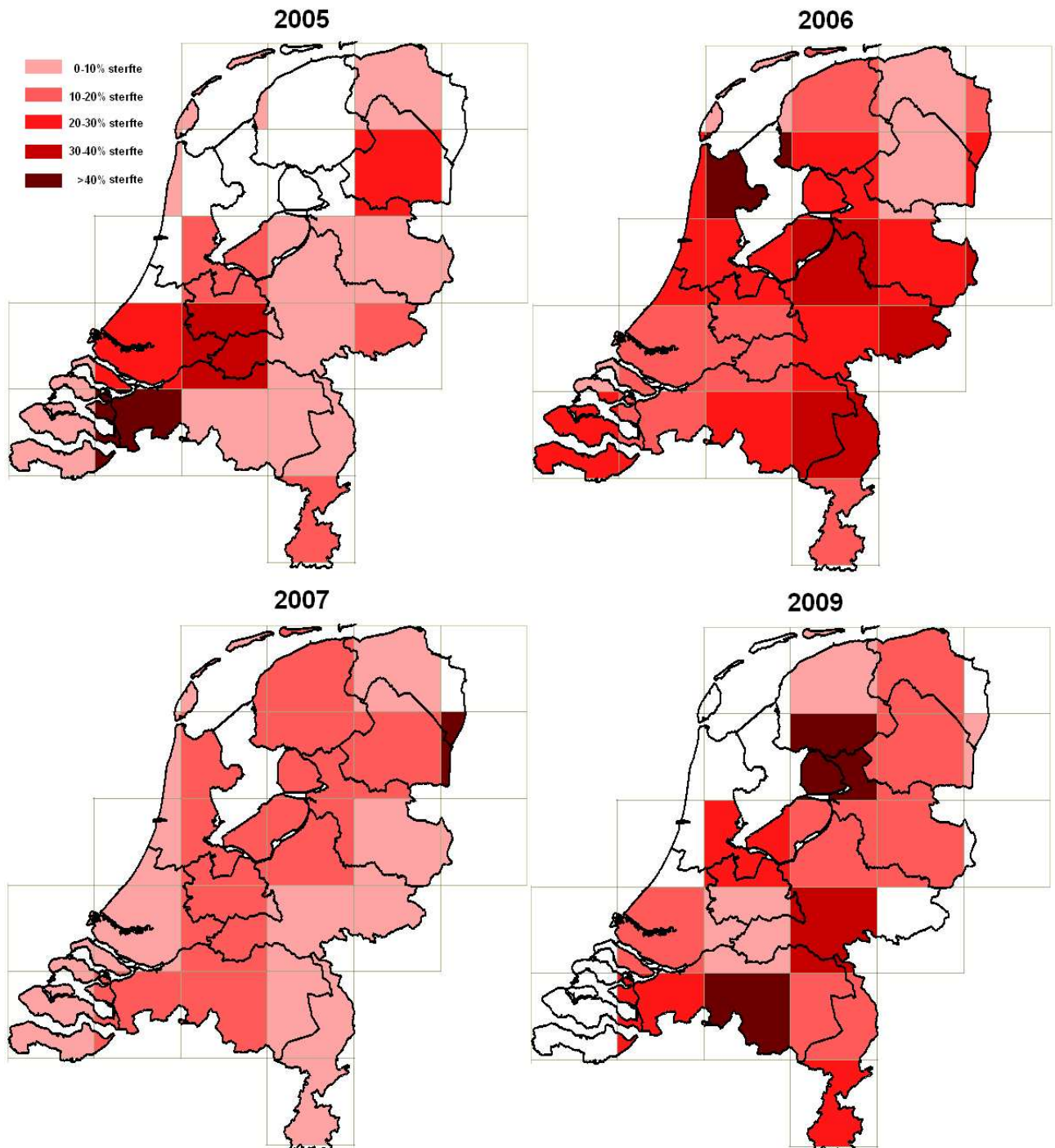
De Dommel

Hollands Noorderkwartier
Hunze en Aa's
Noorderzijlvest
Peel en Maasvallei
Regge en Dinkel
Rijn en IJssel
Rijnland
Rivierenland
Roer en Overmaas
Schieland en de Krimpenerwaard
De Stichtse Rijnlanden
Vallei & Eem
Velt en Vecht
Veluwe
Wetterskip Fryslân
Zeeuwse Eilanden
Zeeuws-Vlaanderen
Zuiderzeeland

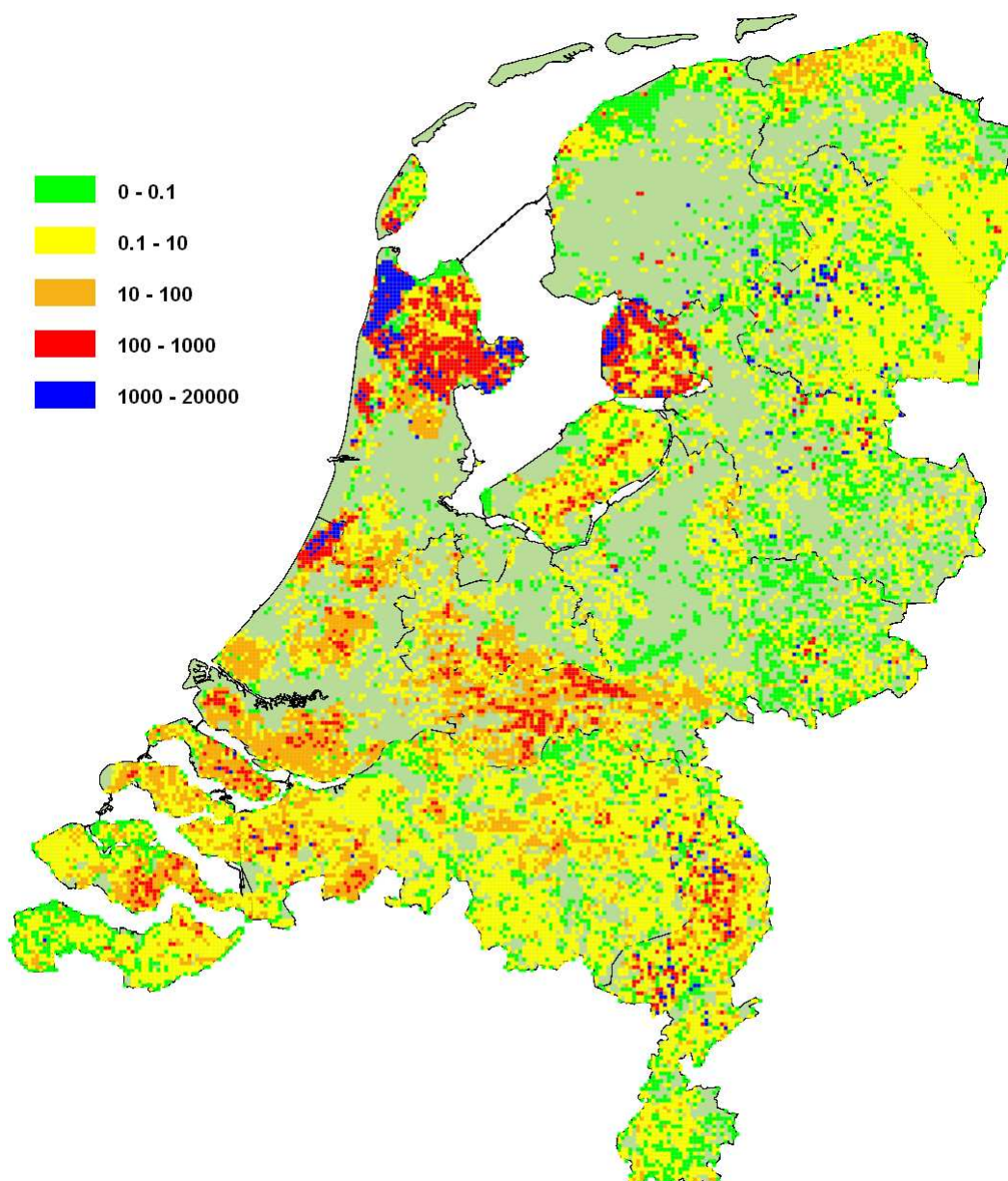
Bijlage I Neuron met axon en dendrieten



Bijlage II Bijensterfte in Nederland

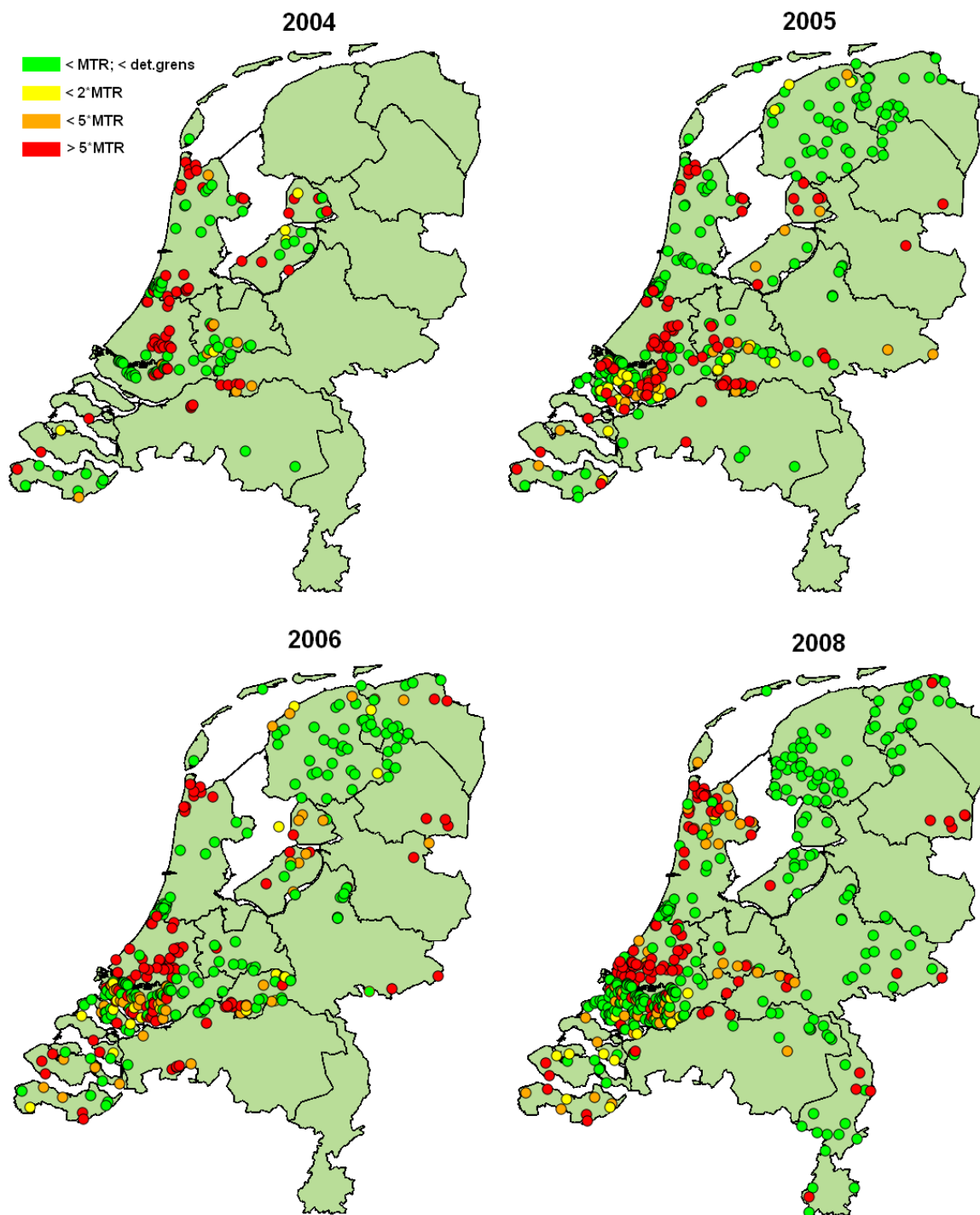


Bijlage III Berekende emissie van imidacloprid naar oppervlaktewater in 2004



Waarden weergegeven in mg per kilometerhok (NMI, Alterra).

Bijlage IV Overschrijdingen van imidacloprid in oppervlaktewater



De hier gebruikte MTR is voor alle jaren 0,013µg/l, om vergelijking van de verschillende jaren onderling mogelijk te maken.