



Effecten van herbicidendrift op zoomvegetaties

Veslag van een verkennende studie met het EPOP-model

Marleen Riemens, Jacques Davies, Corné Kempenaar & Tom Dueck





Effecten van herbicidendrift op zoomvegetaties

Verslag van een verkennende studie met het EPOP-model

Marleen Riemens, Jacques Davies, Corné Kempenaar & Tom Dueck

© 2004 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : post.plant@wur.nl
Internet : <http://www.plant.wur.nl>

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Methodiek	5
2.1 Effect parameter: fluorescentie metingen	5
2.2 Effect parameter: droge-stof bepalingen	5
2.3 Het EPOP-model	5
3. Voorbeeld 1: Atrazine	9
3.1 Dosis-effect relatie voor biomassa	9
3.2 Risico voor zoomvegetatie: resultaten	10
4. Voorbeeld 2: Diquat	11
4.1 Dosis-effect relatie: biomassa en het fotosynthetisch vermogen	11
4.2 Risico voor zoomvegetatie: resultaten	11
5. Voorbeeld 3: Glufosinaat-ammonium	15
5.1 Dosis-effect relatie: biomassa en het fotosynthetisch vermogen	15
5.2 Risico voor zoomvegetatie: resultaten	16
5.3 Vergelijking kasdata met velddata	18
6. Discussie	21
7. Conclusies en aanbevelingen	23
Literatuur	24
Bijlage I. Atrazine	2 pp.
Bijlage II. Diquat	2 pp.
Bijlage III. Glufosinaat-ammonium	3 pp.
Bijlage IV. Fotosynthese metingen	1 p.

Samenvatting

In de afgelopen jaren is er steeds meer belangstelling voor zoomvegetaties rondom akkers gekomen. Deze belangstelling komt mede voort uit het idee dat het groene 'netwerk' van zoomvegetaties door landbouwgebied de verspreiding van soorten door het gehele gebied kan bevorderen en de biodiversiteit in het gebied kan vergroten. Dit inzicht heeft er toe geleid dat herbicidengebruik steeds meer wordt gericht op zowel een goede onkruidbestrijding als ook op een maximaal haalbare bescherming van zoomvegetaties.

In dit rapport wordt verslag gedaan van een studie waarin de effecten van deze lage concentraties herbiciden op de zoomvegetaties en de afstand (bufferzone) voor bescherming van zoomvegetaties met behulp van literatuurstudie, experimentele data en het EPOP- model (Effects of Pesticides On Plants) worden gekwantificeerd.

Aan de hand van de dosis-effect relaties zijn de effecten van drie herbiciden (atrazine, diquat, glufosinaat-ammonium) op het fotosynthetisch vermogen en de biomassa van onkruidplanten (*Chenopodium album*, *Solanum nigrum* en *Taraxacum vulgare*) geanalyseerd. Deze effecten zijn met behulp van het EPOP-model vertaald naar effecten op de zoomvegetatie van een bespoten perceel. De resultaten van deze analyses zijn theoretisch, dwz de datasets die gebruikt zijn waren nog niet optimaal en niet direct vertaalbaar naar de praktijksituatie.

Uit de berekeningen blijkt dat planten in de zoomvegetatie dicht bij het perceel in groei worden geremd door herbicidendrift als een norm van 5% groeiremming gehanteerd wordt.

De eerste analyse werd uitgevoerd met Atrazine, een middel dat sinds 2000 in Nederland niet meer toegelaten is, maar waarvan de dataset zich goed leende als input voor het model. Bij een grenswaarde van een biomassa reductie van 5% en een dosering van 2.75 l/ha is een marge van 6,5 m. rondom het veld nodig voor atrazine. Deze marge komt overeen met de door Marrs en Frost (1991) en De Snoo (1999) voorgestelde marges van 3-10 m.

Voor de andere twee middelen, diquat en glufosinaat- ammonium liggen de marges een stuk hoger (rond de 15 m). Deze verschillen in veilige marge worden verklaard aan de hand van de dosis-effect relaties van de middelen.

Het kan gesteld worden dat het EPOP-model geschikt is om de depositie van bestrijdingsmiddelen in zoomvegetaties (tot een afstand van 20 m van het perceel) te voorspellen en daar een te verwachten effect op basis van experimentele data aan te koppelen.

Voorwaarde is dan wel dat de experimentele data berusten op meerdere plantensoorten, het meest relevante moment van waarnemen en meest geschikte stadium van de te testen planten om tot een goede dosis-effect relatie te komen. Daarnaast moet er een goede grenswaarde aan de maximaal geaccepteerde reductie van de zoomvegetatie worden bepaald. Er zijn nu geen normen voor deze reductie. En ten derde moeten de dosis-effect relaties van kasgegevens goed vergelijkbaar zijn met de dosis-effect relaties op basis van veldsituaties. Aanbevolen wordt om deze aspecten nader uit te werken.

1. Inleiding

Herbiciden worden voornamelijk gebruikt voor onkruidbestrijding op de akker. Het gevolg is dat onderzoek naar effecten van herbiciden primair gericht is op de op de akker aanwezige vegetatie. De randen van een perceel zijn namelijk van minder belang in economisch opzicht, waardoor het (herbicide) management niet gericht is op het instandhouden danwel bevorderen van natuurlijk vegetatie rond het perceel (De Snoo, 1999). In de afgelopen jaren is er steeds meer belangstelling voor zoomvegetaties rondom akkers gekomen. Deze belangstelling komt mede voort uit het idee dat het groene 'netwerk' van zoomvegetaties door landbouwgebied de verspreiding van soorten door het gehele gebied kan bevorderen en de biodiversiteit in het gebied kan vergroten. Dit inzicht heeft er toe geleid dat herbicidegebruik steeds meer wordt gericht op zowel een goede onkruidbestrijding als ook op een maximaal haalbare bescherming van zoomvegetaties door het minimaliseren van de drift.

Het aanpassen van het herbicidegebruik is op dit moment nog zeer lastig omdat de beschikbare informatie over de effecten van herbiciden op deze vegetaties nog zeer gering is. Alhoewel er wel veel data beschikbaar is over de effectiviteit van velddoseringen op de vegetatie, zijn er weinig kwantitatieve gegevens beschikbaar over de effecten van de lagere herbicide doseringen die via drift in de nabijgelegen vegetaties terecht kunnen komen (Marrs, Frost *et al.*, 1993).

Op basis van beschikbare data en extrapolaties is in het verleden voorgesteld om rondom de akkers een bufferzone van 3-10 m. te hanteren (Marrs, Frost *et al.*, 1991) (De Snoo, 1999) waarin niet gespoten wordt om non-target vegetatie te beschermen. De vraag is nu of deze voorgestelde bufferzones voldoende groot zijn en op voldoende wetenschappelijke basis berusten.

Binnen het programma 416 'Gewasbeschermingsmiddelen en milieu' heeft het project 'Neveneffecten bestrijdingsmiddelen op zoomvegetaties' (730003030) tot doel een verkenningsstudie uit te voeren naar mogelijke effecten van pesticiden via drift op zoomvegetaties.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de eerste fase van een studie waarin de effecten van deze lage concentraties herbiciden op de zoomvegetaties en de afstand (bufferzone) voor bescherming van zoomvegetaties met behulp van literatuurstudie, experimentele data en het EPOP- model (Effects of Pesticides On Plants) worden gekwantificeerd. De in dit rapport beschreven methode kan op termijn een belangrijke bijdrage leveren aan de evaluatie van effecten op niet doelwit planten van bestrijdingsmiddelen bij de toelating van de middelen.

2. Methodiek

De werking van herbiciden kan zeer verschillend zijn; middelen kunnen aangrijpen op de fotosynthese, de groei, de biochemie (lipiden, nucleïne-zuren en eiwitten, aminozuren) en kunnen een langzaam of direct te meten effect sorteren (Devine, Duke *et al.*, 1993).

Bij de bepaling van dosis- effect relaties is het van belang om parameters te kiezen die goed kwantificeerbaar zijn, zoals effecten op fotosynthese of de biomassa.

Gezien het beperkte budget voor deze studie zijn er data van bestaande studies gebruikt die andere doelstellingen hadden. De data van veel bestaande studies leenden zich om die reden vaak niet voor een analyse door ontbreken van o.a. een geschikte doseringsreeks of het ontbreken van effecten op andere planten dan de gewasplanten.

Vanwege het o.a. geschikt zijn van de doseringsreeks en de gemeten effecten op niet-gewasplanten zijn datasets uit drie studies gekozen waarin het fotosynthetisch vermogen en de biomassa van de planten na bespuiting met atrazine, diquat en glufosinaat-ammonium waren bepaald om tot een goede bepaling van de dosis-effect relatie te komen.

Daarbij moet wel vermeld worden dat de blootstelling a.g.v. drift mogelijk een ander effect op de plant sorteert dan de blootstelling a.g.v. directe bespuiting.

Voor de middelen diquat en glufosinaat-ammonium is gebruik gemaakt van ongepubliceerde data van Plant Research International. Voor de bepaling van de dosis-effect relatie van atrazine is gebruik gemaakt van data uit (Seefeldt, Jensen *et al.*, 1995). In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de fotosynthese- en biomassa bepalingen werden uitgevoerd.

2.1 Effect parameter: fluorescentie metingen

Het fotosynthetisch vermogen van een plant is voor een aantal herbiciden snel meetbaar en vormt een goede indicatie voor een te verwachten groeireductie of afsterven van de plant. Met behulp van een zogenaamde Plant Photosynthesis Meter (PPM-meter) kan de fluorescentie van een plant gemeten worden. Deze fluorescentie is een goede maat voor het fotosynthetisch vermogen. Indien een plant aan stress lijdt, bijvoorbeeld door blootstelling aan herbiciden, gaat het fotosynthetisch vermogen achteruit (www.mlhd.nl, handleiding). Meer informatie over de theoretische achtergrond van de MLHD staat in Bijlage 4.

2.2 Effect parameter: droge-stof bepalingen

In tegenstelling tot herbiciden waarvan de werking op remming van de fotosynthese berust, zullen van sommige herbiciden de effecten niet direct meetbaar zijn. Pas na verloop van tijd (2-5 weken) zal er een biomassareductie als gevolg van zo'n effect optreden. Om de dosis- effect relaties van deze middelen te kunnen bepalen is na een drietal weken de biomassa bepaald. De droge stof van de bespoten planten werd een aantal weken na bespuiting gemeten. De planten stonden minimaal 24 uur bij 70 °C en werden daarna gewogen.

2.3 Het EPOP-model

Het EPOP- model (Effects of Pesticides On Plants) is ontwikkeld op Plant Research International om de waarschijnlijkheid en de grootte van nadelige effecten op planten of vegetaties door druppels herbiciden die na drift op de planten terechtkomen te kunnen bepalen. In het model wordt emissie data gekoppeld aan dosis-respons data in specifieke situaties. EPOP berekent de afstand tot het behandelde veld in relatie tot de concentratie waaraan plant of vegetatie wordt blootgesteld en het effect op plant of vegetatie. Zo kan op simpele wijze snel in beeld gebracht worden waar welke effecten verwacht mogen worden ten opzichte van randen van een perceel.

In het eerste gedeelte van het model wordt de verspreiding van druppels herbicide als gevolg van drift berekend. In te voeren data zijn de toegepaste dosering actieve stof en een emissietype (depositie tgv drift). Er zijn dan vier mogelijke emissietypes:

1. Drift fixed amount: de hoeveelheid neergeslagen herbicidendruppels is op elke afstand van het veld gelijk.
2. Drift exponential decrease, standard parameter values: Het model is gebaseerd op kwantitatieve studies waarin de hoeveelheid neergeslagen herbicide sterk daalt bij een groter wordende afstand tot het bespoten veld. Waarnemingen uit deze studies zijn beperkt van 0 en 20 tot 50 m. buiten het veld. De relatie tussen afstand tot het veld en de hoeveelheid neergeslagen herbicide kan beschreven worden als: $Y = a \cdot \exp(b \cdot x)$. De parameters a en b zijn afgeleid uit een studie met het IDEFICS model voor pesticide druppel drift onder gemiddelde spuitomstandigheden (standaard spuitdop, 400 l spuitvloeistof per ha, druppelgrootteklasse Middel) (Van de Zande, Holterman *et al.*, 1995). De standaardwaarden zijn: $a = 26.8$ en $b = -0.37$.
3. Drift exponential decrease, calculated/estimated values: idem als onder 2, maar nu kunnen de parameters a en b handmatig ingevoerd worden.
4. Deposition fixed amount: de gemeten herbicidenconcentraties zijn bekend en staan vast.

In deze studie is gekozen voor drift exponential decrease, standard parameter values (2) als emissietype. Omdat het percentage van de gespoten hoeveelheid herbicide dat neerslaat in de praktijk zeer waarschijnlijk verandert met de afstand tot de rand van een perceel en de concentratie van het herbicide op een bepaalde afstand van het veld onbekend is, zijn emissietypes 1 en 4 voor de doelstelling van dit project ongeschikt. Daarnaast zijn er te weinig gegevens bekend om de parameters a en b onder type 3 te bepalen. Hieronder staat een voorbeeld van de inputfile voor het model weergegeven.

Input data die in rood staan weergegeven beïnvloeden de output die het model geeft.

Field data

Length of field		m
Width of field		m
Orientation of length axis		▼
Latitude, longitude		
Country name		
City name		
Soil type		

Crop data

Crop Name	aardappelen
Planting data	

Pesticide data

Herbicide name	reglone		
Active ingredient	diquat dibromide		
Content (kg/l) or weight proportion (-)	0.2		
GIFAP formulation code			
Dosis	5	▼	100 mg/m ²
Other pesticide applied?	▼		
Application date			
Application method			
Application conditions			

Description of crop or vegetation for which risk assessment is done	
---	--

Emission type	▼	a	26.871	c	1
		b	-0.3732	q	1

Effect type	▼
	photosynthesis
<input checked="" type="radio"/> Logistic increasing <input type="radio"/> Logistic decreasing	

m	0.02205
b	149
c	93.6

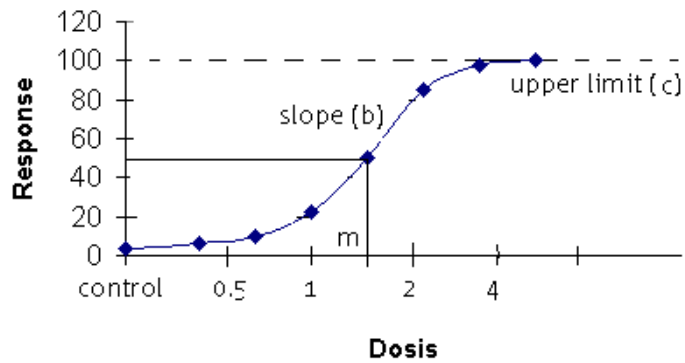
Output (on y-ax)	reduction (%)
------------------	---------------

De gegevens worden dan weergegeven in een grafiek met op de x-as de afstand tot de rand van een met herbicide behandeld veld en op de y-as de herbicide depositie.

Vervolgens wordt de berekende verspreiding van de druppels gekoppeld aan dosis-effect relaties om het effect op de vegetatie/plant te bepalen.

In te voeren data zijn de parameters van een stijgende of dalende logistische dosis- effect relatie van het herbicide. Voor een stijgende logistische dosis-effect relatie geldt de volgende vergelijking:

$$y = c / (1 + \exp(-b \cdot (\log(x) - \log(m))))$$

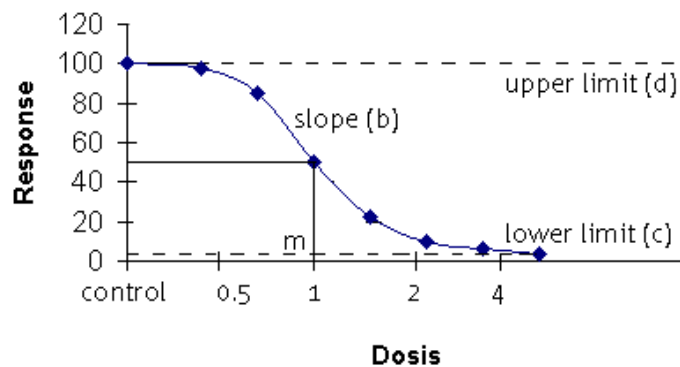


Figuur 1. *Stijgende logistische dosis- respons relatie.*

Waarin de parameters b , c en m respectievelijk de richtingscoëfficiënt, het maximale effect en de dosis waarbij 50% van de vegetatie effecten vertoont weergeven (Figuur 1).

Voor een dalende logistische dosis-respons relatie moeten vier parameters gegeven worden:

$$y = c + (d-c) / (1 + \exp(b \cdot \log(x) - \log(m)))$$



Figuur 2. *Dalende logistische dosis-respons relatie.*

Waarin de parameters b , c , d en m respectievelijk de richtingscoëfficiënt, het minimale effect, het maximale effect en de dosis waarbij 50% van de vegetatie effecten vertoont weergeven (Figuur 2).

Resultaten worden dan weergegeven in een grafiek met op de x-as de afstand tot de rand van een veld behandeld met herbicide en op de y-as de mate waarin er een effect op de plant/vegetatie wordt verwacht. In deze grafiek wordt de helling van de curve bepaald door de helling (b) van de dosis-effect relatie. Immers, indien de curve in de dosis-effect relatie een steile helling (b) heeft, betekent dit een kleine verhoging van de dosis resulterend in een groot (maximaal) effect. Als gevolg van drift neemt vanaf de rand van het veld de concentratie van het herbicide af met toenemende afstand. Op een bepaald moment zal bij nadering van het veld ook de afstand gepasseerd worden waar de dosering een grenswaarde overschrijdt en een maximaal effect op de vegetatie zal sorteren.

Deze aanpak wordt gedemonstreerd in de volgende hoofdstukken aan de hand van de herbiciden diquat en glufosinaat-ammonium (ongepubliceerde data Plant Research International) en atrazine (Seefeldt, Jensen *et al.*, 1995).

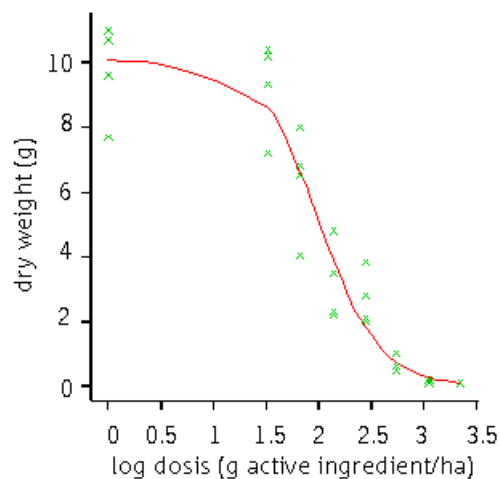
3. Voorbeeld 1: Atrazine

3.1 Dosis-effect relatie voor biomassa

Atrazine behoort tot de s-Triazines, een groep herbiciden die ingrijpt op het fotosynthese elektronen transport in fotosysteem II. Uitgebreidere informatie over de werking van atrazine staat vermeld in Bijlage 1.

De dosis-effect relatie voor atrazine is bepaald aan de hand van droge-stofgewicht metingen op Paardebloem (*Taraxacum vulgare*) (Seefeldt, Jensen *et al.*, 1995). Planten werden gekweekt in 5 liter potten (25 planten per pot) en bespoten bij het bereiken van het 2- en 3 bladstadium in een spuitcabine met een doseringsreeks van 0 tot 2250 gram actieve stof/ha met een 4110-16 flat-fan spuitdoppen. Een commerciële formulering werd gebruikt in combinatie met 3 l/ha olie (Olie 11E (previously named Shell Oil 11E). (Cyanamid Danmark, Borups Allé 177, DK-2400 København, Denmark.) Gespoten volume was 240 l/ha bij een druk van 400 kPa. Drie weken na bespuiting werden de bovengrondse delen gedroogd en gewogen (Bijlage I, Tabel1). Daarbij is niet gekeken naar de werking van het middel op de ondergrondse delen.

De biomassadata zijn uitgezet tegen de atrazine doseringen en geanalyseerd met regressie analyse (m.b.v. GenStat 6th edition) (Figuur 3).



Figuur 3. Dosis-effect relatie van atrazine bespuitingen op paardebloem (*T. vulgare*) drie weken na behandeling.

Vergelijking behorende bij deze dosis-effect relatie:

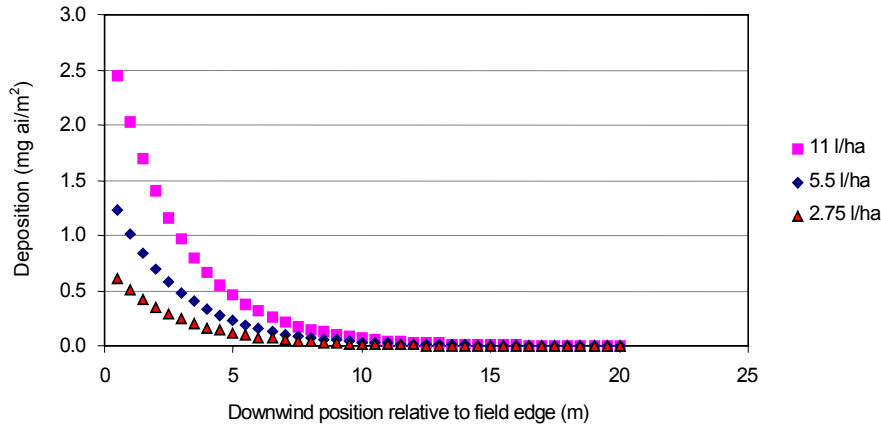
$$y = 10.097 / (1 + \exp(-3.543 * \log(x) - \log(2.0139))),$$

waarin $c = 10.097$, $b = -3.543$ en $m = 2.0139$

De parameters uit deze relatie b , c en m zijn vervolgens in het model ingevoerd om de effecten op de planten in zoomvegetaties (strook buiten het perceel) te bepalen. Daarbij is een vergelijking gemaakt van het effect tussen drie doseringen (respectievelijk 2.75; 5.5; 11 l/ha). In het verleden is in de praktijk vaak gebruik gemaakt van doseringen in de range rond 2.5 l/ha. Om tot een goed voorbeeld te komen van de relatie van de dosering en de afstand tot een veld, is hier voor de range van 2.75 tot 11 l/ha gekozen.

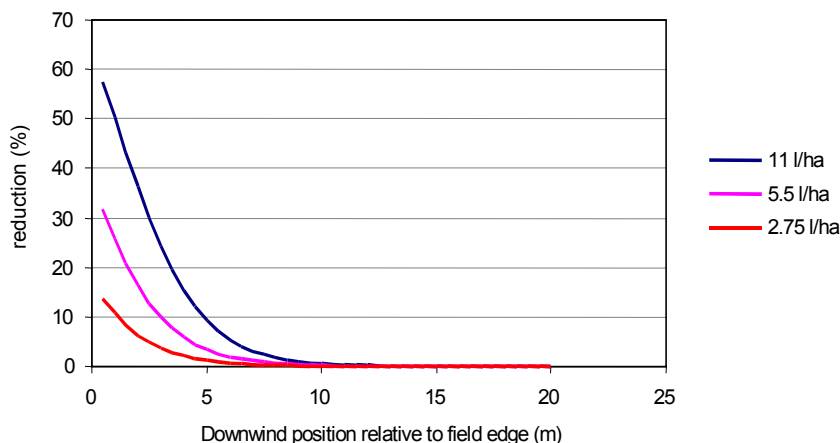
3.2 Risico voor zoomvegetatie: resultaten

De depositie van actieve stof per m² op een bepaalde afstand van het perceel als gevolg van drift is berekend (Figuur 4) voor de drie doseringen voor atrazine (2.75 l/ha is de praktijkdosering).



Figuur 4. Depositie van atrazine op een bepaalde afstand tot het veld voor de doseringen (respectievelijk 2.75 l/ha, 5.5 l/ha en 11 l/ha). De concentratie actieve stof is 0.05 kg/l. Bij een velddosering van 2.75 l/ha wordt dus 0.1375 kg actieve stof per ha, bij een dosering van 5.5 l/ha 0.275 kg actieve stof per ha en bij 11 l/ha 0.55 kg/ha toegepast.

De minimale effect dosering is <0.0004 mg/m² (tabel2 Bijlage I). De grootste effecten worden voorspeld in de eerste 5-10 meter naast het perceel (Figuur 5). In deze strook blijkt duidelijk een doseringseffect. Zo is de voorspelde reductie van de biomassa op een afstand van 1 m bij 2.75 l/ha 10%, bij 5.5 l/ha 30% en bij 11 l/ha 55%. Er blijkt dat er geen droge-stof reductie (afgerond 0% reductie) meer optreedt op een afstand van 20 m van de rand van het veld bij een gespoten dosis van 2.75 l/ha. De depositie als gevolg van drift is op deze afstand <0.0004 mg/m² (Tabel 2, Bijlage I). Indien een droge-stofreductie van maximaal 5% wordt gehanteerd is de minimale effect dosering 0.0653 mg/m², deze dosering wordt overschreden bij 6.5 m. Voor een velddosering van 5.5 l/ha blijkt een afstand van 8.5 m nodig te zijn voordat de grenswaarde van 5% droge-stof reductie overschreden wordt en bij een velddosering van 11 l/ha is een afstand van 10.5 m nodig.



Figuur 5. Droge stof (g) van Paardebloem (T. vulgare) versus de afstand tot de rand van een perceel voor de doseringen (2.75; 5.5; 11 l/ha) met atrazine. De concentratie actieve stof is 0.05 kg/l. Bij een velddosering van 2.75 l/ha wordt dus 0.1375 kg actieve stof per ha, bij een dosering van 5.5 l/ha 0.275 kg actieve stof per ha en bij 11 l/ha 0.55 kg/ha toegepast.

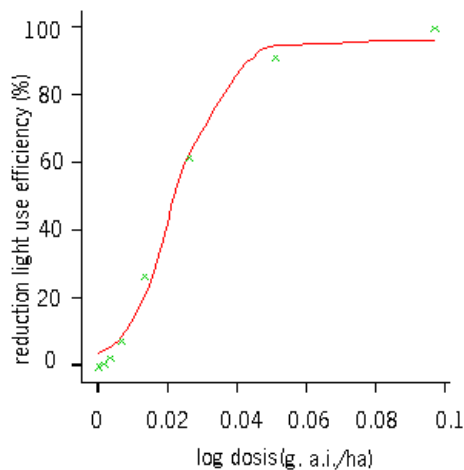
4. Voorbeeld 2: Diquat

4.1 Dosis-effect relatie: biomassa en het fotosynthetisch vermogen

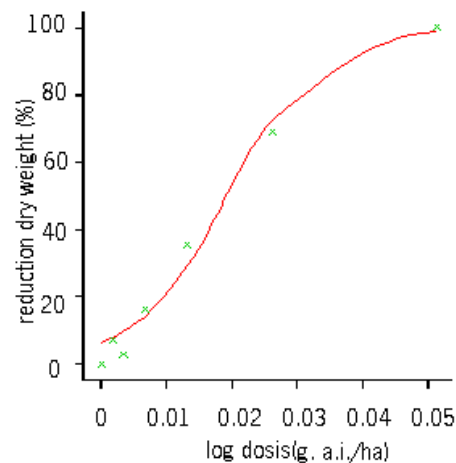
Diquat behoort net als paraquat tot de bipyridinium herbiciden (bh), die aangrijpen op fotosysteem I. Meer informatie over de werking van diquat staat vermeld in Bijlage II.

De dosis-effect relatie van diquat is bepaald voor twee parameters: fotosynthetisch vermogen (Figuur 6) en biomassa (Figuur 7). De data zijn verkregen via PPM-metingen en droge-stof bepalingen van zwarte nachtschade (*Solanum nigrum*) (ongepubliceerde data, Plant Research International, Wageningen). Deze bespuitingen zijn uitgevoerd in het laboratorium op gekweekte planten van 4 weken oud met Birchmeier doppen (1.2 mm met doorboorde tol (0.6 mm) bij een veldosering van 400 l/ha. De metingen zijn verricht aan de topbladeren. Gekweekte onkruidplanten hebben een hogere gevoeligheid voor herbiciden dan planten in het veld (pers. comm. A. Uffing).

De data zijn omgezet naar percentages fotosynthese reductie en biomassareductie (Bijlage II; Tabel 1).



Figuur 6. Dosis-effect relatie van reglone bespuitingen op zwarte nachtschade (*S. nigrum*), fotosynthese.



Figuur 7. Dosis-effect relatie van reglone bespuitingen op zwarte nachtschade (*S. nigrum*), droge stof.

Bijbehorende vergelijkingen:

$$y=149/(1+\exp(93.6*\log(x)-\log(0.02205))) \text{ voor fotosynthetisch vermogen,}$$

waarin $c=149$, $b= 93.6$ en $m= 0.02205$

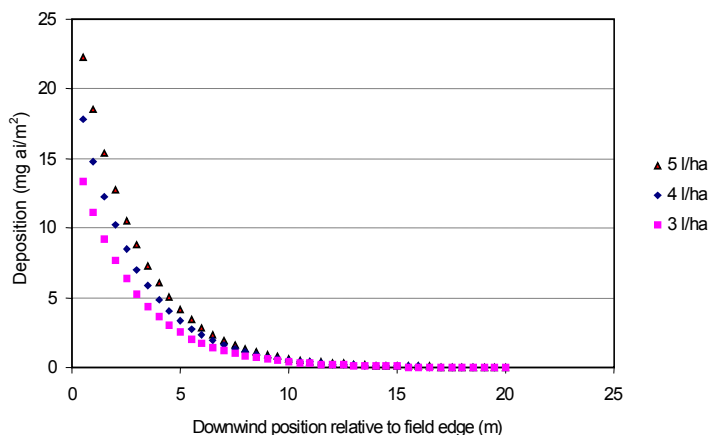
en

$$y=142.2/(1+\exp(97.09*\log(x)-\log(0.01949))) \text{ voor biomassa,}$$

waarin $c=142.2$, $b= 97.09$ en $m= 0.01949$

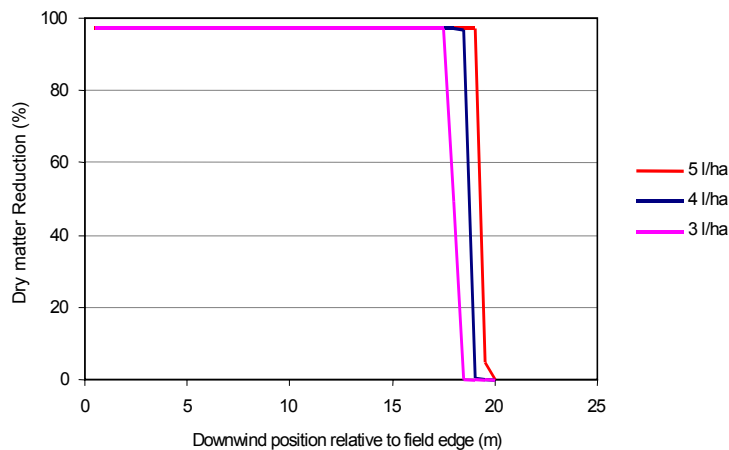
4.2 Risico voor zoomvegetatie: resultaten

De depositie actieve stof per m² op een bepaalde afstand van het perceel voor diquat voor drie doseringen staat weergegeven in Figuur 8. De in de praktijk gemiddeld gebruikte dosering van 4 l/ha (Dekkers, 2002) en de adviesdoseringen van 3 en 5 l/ha (Crijns, Galema *et al.*, 2001) op onkruiden in een aardappelteelt staan weergegeven.



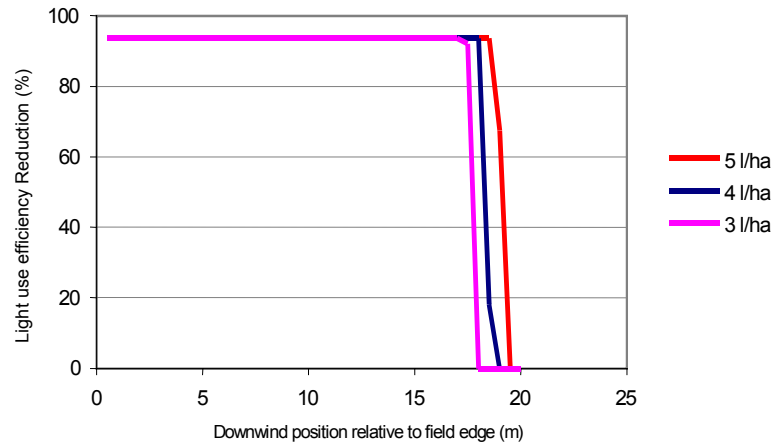
Figuur 8. Depositie van diquat op een bepaalde afstand tot het veld voor de praktijkdosering (4 l/ha) en de adviesdosering (3-5 l/ha) voor aardappel. De concentratie actieve stof is 0.08 kg/l. Bij een veld-dosering van 3 l/ha wordt dus 0.24 kg actieve stof per ha, bij een dosering van 4 l/ha 0.32 kg actieve stof per ha en bij 5 l/ha 0.40 kg actieve stof/ha toegepast.

De minimale effect dosering is vervolgens met behulp van de dosis-effect relaties bepaald op $<0.019 \text{ mg/m}^2$ (Figuur 8 en Tabel 2, Bijlage III) voor zowel de droge-stof reductie als het fotosynthetisch vermogen. Uit Figuur 9 blijkt dat er geen droge-stof reductie meer optreedt (0% reductie) op een afstand van 19.5 m van de rand van het perceel bij een gespoten dosis van 4 l/ha. Bij veld-doseringen van respectievelijk 3 en 5 l/ha blijken afstanden van 18.5 en 19.5 m nodig te zijn (Figuur 8 en Tabel 2, Bijlage III) voordat er geen effecten op de droge-stof meer waargenomen worden en de depositie beneden de 0.019 mg/m^2 blijft. Tussen de onderzochte doseringen is weinig verschil qua effect op een zoomvegetatie. Deze afstanden zijn bij een grenswaarde van maximaal 5% reductie even groot.



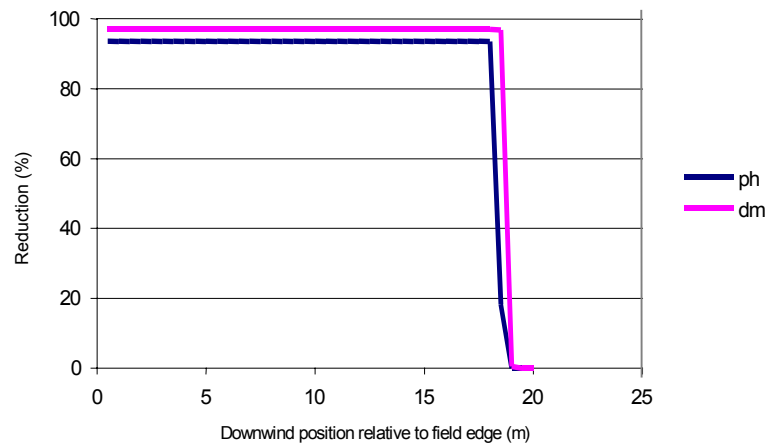
*Figuur 9. Droge-stof reductie (%) van zwarte nachtschade (*S. nigrum*) versus de afstand tot de rand van een perceel voor de praktijkdosering (4 l/ha) en de adviesdoseringen (3-5 l/ha) met diquat voor aardappel. De concentratie actieve stof is 0.08 kg/l. Bij een veld-dosering van 3 l/ha wordt dus 0.24 kg actieve stof per ha, bij een dosering van 4 l/ha 0.32 kg actieve stof per ha en bij 5 l/ha 0.40 kg actieve stof/ha toegepast.*

Voor de fotosynthesereductie geldt dat er bij een dosering van 4 l/ha geen effect (0% reductie) meer te vinden is na 19 m (Figuur 10 en Tabel 2, Bijlage II). Voor de overige doseringen van 3 en 5 l/ha, liggen deze afstanden op respectievelijk 17.5 en 20 m (Figuur 10 en Tabel 2, Bijlage II). Ook hier is tussen de onderzochte doseringen weinig verschil qua effect op een zoomvegetatie. Deze afstanden zijn bij een grenswaarde van maximaal 5% reductie even groot.



*Figuur 10. Fotosynthese reductie (%) van zwarte nachtschade (*S. nigrum*) versus de afstand tot de rand van een perceel voor de praktijkdosering (4 l/ha) en de adviesdoseringen (3-5 l/ha) met diquat voor aardappel. De concentratie actieve stof is 0.08 kg/l. Bij een velddosering van 3 l/ha wordt dus 0.24 kg actieve stof per ha, bij een dosering van 4 l/ha 0.32 kg actieve stof per ha en bij 5 l/ha 0.40 kg actieve stof/ha toegepast.*

Uit Figuur 11 blijkt dat het verschil in effect op het fotosynthetisch vermogen en de biomassa zeer klein is. Dit is te verklaren door de werking van het middel. Diquat werkt namelijk niet alleen op de fotosynthese (die wordt dus als eerste geremd), maar heeft daardoor ook indirecte effecten op de droge-stof productie (Bijlage II). Voorts is het een zeer snel werkend middel: effecten zoals verwelking en chlorose zijn al na 20 tot 30 minuten waarneembaar (Devine, Duke *et al.*, 1993).



*Figuur 11. Reductie fotosynthetisch vermogen (ph) en droge-stof reductie (dm) van zwarte nachtschade (*S. nigrum*) versus de afstand tot de rand van een perceel voor de praktijkdosering (4 l/ha) met diquat voor aardappel. De concentratie actieve stof is 0.08 kg/l. Bij een velddosering van 3 l/ha wordt dus 0.24 kg actieve stof per ha, bij een dosering van 4 l/ha 0.32 kg actieve stof per ha en bij 5 l/ha 0.40 kg actieve stof/ha toegepast.*

Indien een grenswaarde van maximaal 5% reductie gehanteerd wordt zijn dezelfde marges rondom het perceel nodig (Bijlage II). Dit wordt veroorzaakt door de scherpe knik in de Figuren 9 en 10 rond een meter of 17-18. Deze knik is het gevolg van de steile hellingen van de dosis-effect relaties (Figuur 6 en 7). Des te groter de richtingscoëfficiënt in deze relaties, des te groter het effect op respectievelijk het fotosynthetisch vermogen en de biomassa bij een kleine verhoging van de dosering. De depositie van het herbicide op de verschillende afstanden tot het veld kan gezien worden als een doseringsreeks. Op steeds groter wordende afstand zal de dosering namelijk steeds licht stijgen, terwijl het effect van op het fotosynthetisch vermogen en de biomassa van de planten per verhoging van de dosis fors toeneemt, op gelijke wijze als dit het geval is voor de dosis-effect relaties.

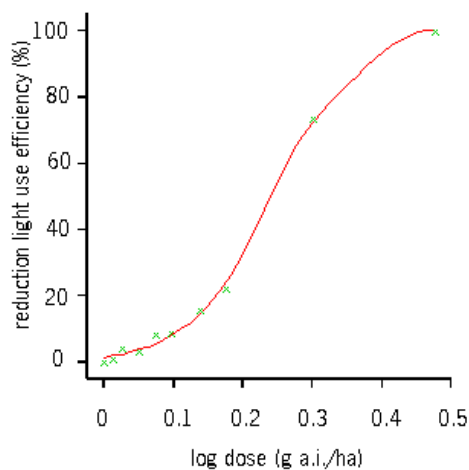
5. Voorbeeld 3: Glufosinaat-ammonium

5.1 Dosis-effect relatie: biomassa en het fotosynthetisch vermogen

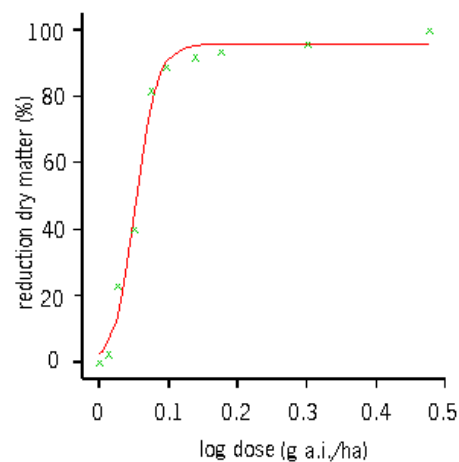
Glufosinaat voorkomt de omzetting van glutamate in glutamine (Devine, *Duke et al.*, 1993), een proces dat betrokken is bij de biosynthese van aminozuren. Meer informatie over de werking van glufosinaat-ammonium staat vermeld in Bijlage III.

De dosis-effect relaties van glufosinaat zijn bepaald aan de hand van fotosynthese metingen (Figuur 12) die met de PPM-meter zijn uitgevoerd en droge-stof bepalingen (Figuur 13), beide op melganzevoet (*Chenopodium album*) (ongepubliceerde data, Plant Research International, Wageningen). Deze bespuitingen zijn uitgevoerd in het laboratorium op gekweekte planten van 28 dagen oud met Birchmeier doppen (1.2 mm. met doorboorde tol (0.6 mm.) bij een velddosering van 400 l/ha. Deze onkruidplanten hebben een hogere gevoeligheid voor herbiciden dan planten in het veld (pers. comm. A. Uffing).

De data zijn omgezet naar percentages (Bijlage III; Tabel 1).



Figuur 12. Dosis-effect relatie van glufosinaat bespuitingen op melganzevoet (*C. album*), biomassa.



Figuur 13. Dosis-effect relatie van glufosinaat bespuitingen op melganzevoet (*C. album*), fotosynthetisch vermogen.

Bijbehorende vergelijkingen:

$$y = 102.58 / (1 + \exp(16.314 * \log(x) - \log(0.24683))) \text{ voor fotosynthetisch vermogen,}$$

waarin $c=102.58$, $b= 16.314$ en $m= 0.24683$

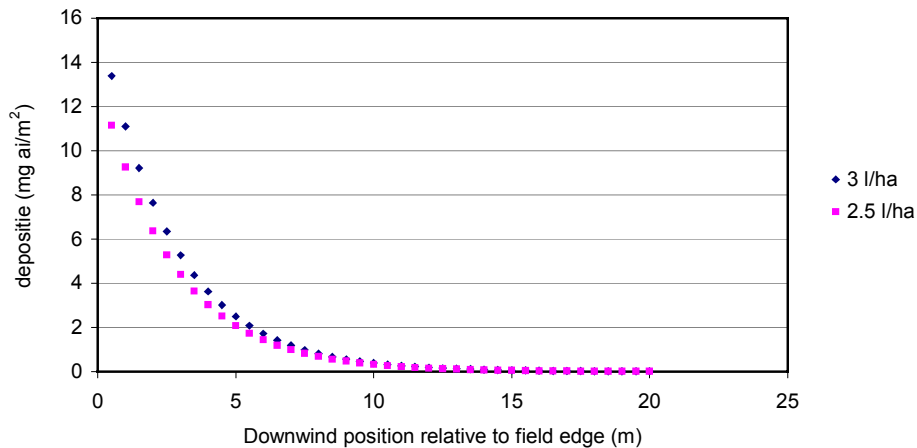
en

$$y = 95.55 / (1 + \exp(65.38 * \log(x) - \log(0.05262))) \text{ voor biomassa,}$$

waarin $c=95.55$, $b= 65.38$ en $m= 0.05262$

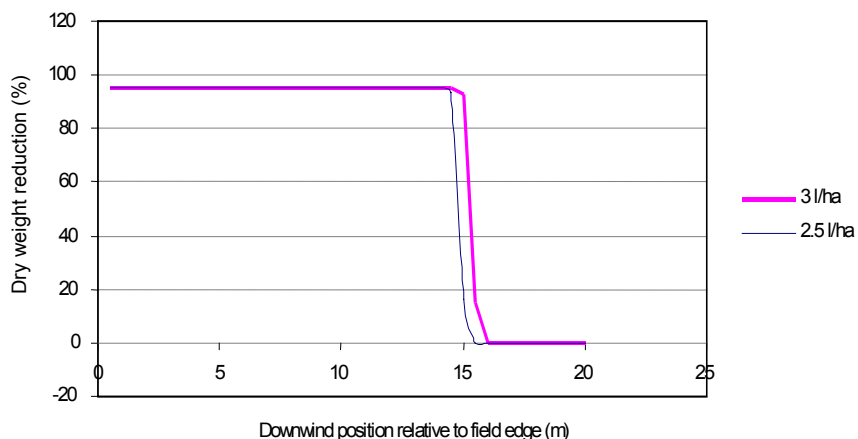
5.2 Risico voor zoomvegetatie: resultaten

De hoeveelheid actieve stof per m^2 op een bepaalde afstand van het perceel is voor glufosinaat-ammonium (finale) bepaald voor twee doseringen in aardappelen; de in de praktijk gemiddeld gebruikte dosering (2.5 l/ha) (Dekkers, 2002) en de adviesdosering (3 l/ha) (Crijns, Galema *et al.*, 2001) (Figuur 14).



Figuur 14. Depositie van glufosinaat-ammonium op een bepaalde afstand tot het veld voor de praktijkdosering (2.5 l/ha) en de adviesdosering (3.0 l/ha) voor aardappel. De concentratie actieve stof is 0.02 kg/l. Bij een velddosering van 2.5 l/ha wordt dus 0.05 kg actieve stof per ha, bij een dosering van 3 l/ha 0.06 kg actieve stof per ha toegepast.

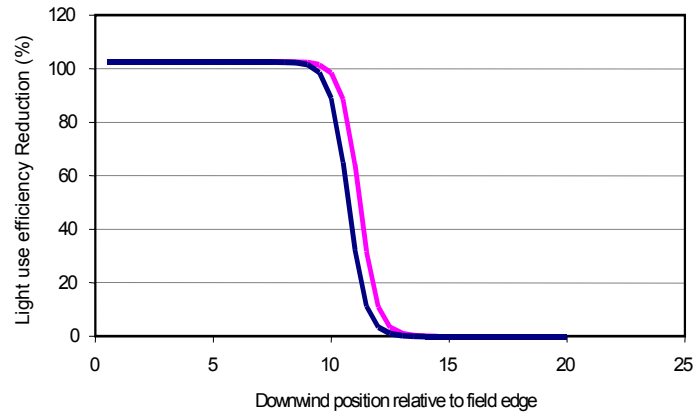
De minimale effect dosering is vervolgens bepaald op 0.034 mg/m^2 (Figuur 14 en Bijlage III, Tabel 2) voor de droge-stof reductie. Uit Figuur 15 blijkt dat er geen biomassa reductie (0% reductie) meer optreedt op een afstand van 16 m van de rand van het veld bij een gespoten dosis van 2.5 l/ha. Voor een dosering van 3 l/ha blijkt een afstand van 16.5 m nodig te zijn voordat er geen effecten op de droge-stof meer waargenomen worden en de depositie beneden de 0.034 mg/m^2 blijft.



Figuur 15. Droge-stof reductie (%) van melganzevoet (C. album) versus de afstand tot de rand van een perceel voor de praktijkdosering (2.5 l/ha) en de adviesdosering (3 l/ha) met glufosinaat-ammonium voor aardappel. De concentratie actieve stof is 0.02 kg/l. Bij een velddosering van 2.5 l/ha wordt dus 0.05 kg actieve stof per ha, bij een dosering van 3 l/ha 0.06 kg actieve stof per ha toegepast.

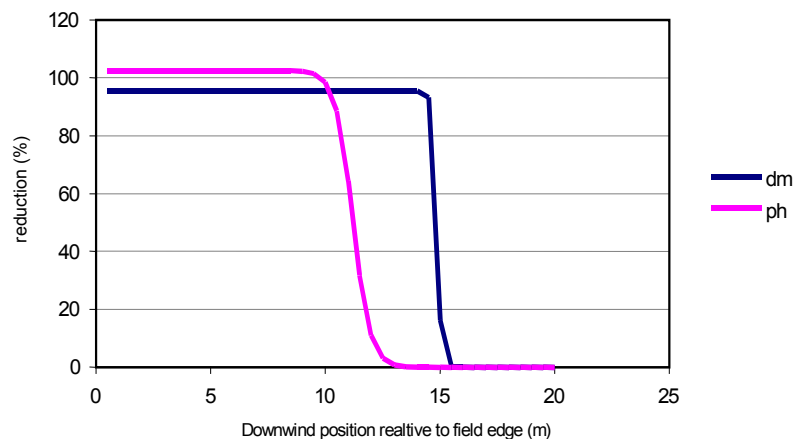
De minimale effect dosering voor het fotosynthetisch vermogen is 0.072 mg/m² (Figuur 14). Voor de reductie van het fotosynthetisch vermogen geldt dat er bij een dosering van 2.5 l/ha geen effect meer te vinden is na 14 m (Figuur 16). Voor de hogere, geadviseerde dosis van 3 l/ha, ligt deze afstand net als voor de droge-stof reductie een halve meter groter, op 14.5 m.

Voor zowel het fotosynthetisch vermogen als de biomassa geldt dat bij een grenswaarde van maximaal 5% reductie de veilige marges gelijk blijven.



Figuur 16. Reductie fotosynthetisch vermogen (%) van melganzevoet (C. album) versus de afstand tot de rand van een perceel voor de praktijkdosering (2.5 l/ha) en de adviesdosering (3 l/ha) met glufosinaat-ammonium voor aardappel. De concentratie actieve stof is 0.02 kg/l. Bij een veld dosering van 2.5 l/ha wordt dus 0.05 kg actieve stof per ha, bij een dosering van 3 l/ha 0.06 kg actieve stof per ha toegepast.

Dit verschil (Figuur 17) tussen de reductie van het fotosynthetisch vermogen en de biomassa reductie wat betreft de benodigde veilige afstand tot het veld, wordt veroorzaakt door de werking van het middel en het moment waarop de metingen voor de dosis-effect relaties uitgevoerd zijn.



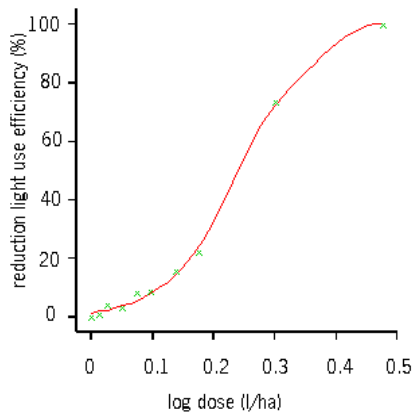
Figuur 17. Reductie fotosynthetisch vermogen (ph) en droge-stof reductie (dm) van melganzevoet (C. album) versus de afstand tot de rand van een perceel voor de praktijkdosering (2.5 l/ha) met glufosinaat-ammonium voor aardappel. De concentratie actieve stof is 0.02 kg/l. Bij een veld dosering van 2.5 l/ha wordt dus 0.05 kg actieve stof per ha, bij een dosering van 3 l/ha 0.06 kg actieve stof per ha toegepast.

Voor zowel de reductie van het fotosynthetisch vermogen als de biomassa reductie geldt dat er een knik in de grafieken te zien is (Figuur 17). Deze knik wordt net als bij diquat veroorzaakt door de steile helling van de dosis-effect relatie (Figuur 12 en 13). De helling van de relatie voor het fotosynthetisch vermogen is minder stijl als die voor de biomassa-reductie en ook de knik is voor de reductie van deze parameter minder duidelijk als die voor de biomassa-reductie.

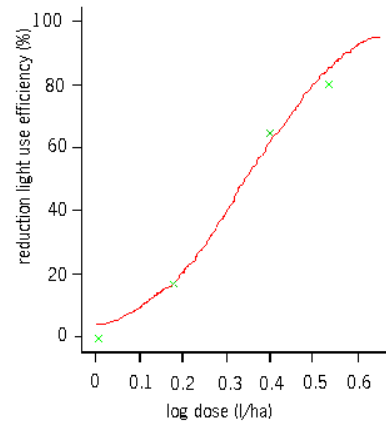
5.3 Vergelijking kasdata met velddata

In de kas opgekweekte planten zijn over het algemeen gevoeliger dan planten in het veld. Om inzicht te verkrijgen in de te verwachten dosis-effect relaties voor veldsituaties en de daarop gebaseerde veilige marge zijn data van een veldexperiment gebruikt in de volgende analyse.

Straatgras (*Poa annua*) planten in het veld werden bespoten met een doseringsreeks van glufosinaat-ammonium (Tabel 3, Bijlage III). Vervolgens zijn een dag later PPM metingen aan de topbladeren van de planten gedaan. Deze veldmetingen zijn uitgezet in een dosis-effect relatie voor glufosinaat- ammonium op straatgras. De dosis-effect relatie van de veldmetingen is vervolgens naast de dosis-effect relatie uit de kas van glufosinaat ammonium op *C. album* gelegd (Figuur 18 en 19).



Figuur 18. Dosis-effect relatie van glufosinaat bespuitingen op melganzevoet (*C. Album*), fotosynthetisch vermogen, in de kas.



Figuur 19. Dosis-effect relatie van glufosinaat bespuitingen op straatgras (*P. annua*), fotosynthetisch vermogen, in het veld.

Bijbehorende vergelijkingen:

$$y = 102.58 / (1 + \exp(16.314 * \log(x) - \log(0.24683))) \text{ voor kasdata op melganzevoet,}$$

waarin $c = 102.58$, $b = 16.314$ en $m = 0.24683$.

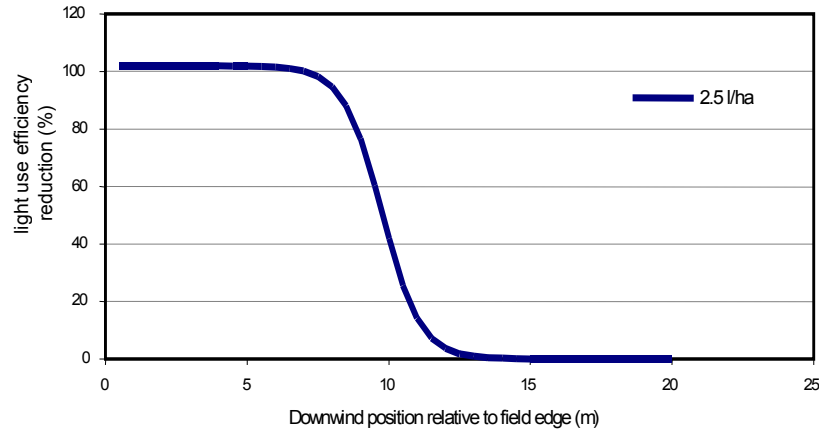
en

$$y = 102.00 / (1 + \exp(9.04 * \log(x) - \log(0.3524))) \text{ voor velddata op straatgras,}$$

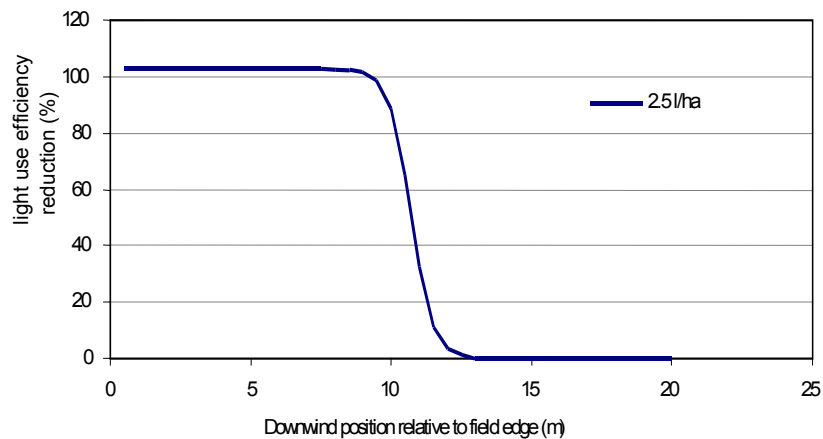
waarin $c = 102.00$, $b = 9.04$ en $m = 0.3524$.

Uit deze dosis-effect relaties blijkt dat de hellingshoek (b) van glufosinaat ammonium voor velddata op straatgras kleiner is als de hellingshoek voor kasdata op melganzevoet (b is 9.04 en 16.31 voor respectievelijk velddata en kasdata). Verder is ook de dosis waarbij 50% van de vegetatie effecten (m) vertoond hoger voor de velddata met straatgras ($m = 0.3524$ en $m = 0.2468$ voor respectievelijk velddata en kasdata).

Vervolgens zijn de parameters van deze relaties in het EPOP-model ingevoerd. De veilige marge die EPOP aangeeft bij een bespuiting van 2.5 l/ha is als gevolg van dit verschil in de dosis-effect relaties voor de velddata met straatgras iets groter (15 m en 11.5 m voor grenswaarden van respectievelijk 0% en 5% reductie) dan de marge voor de kasdata op melganzevoet (voor zowel een grenswaarde van zowel 0 als 5% reductie 14 m) (Figuur 20 en 21).



Figuur 20. Reductie fotosynthetisch vermogen (%) van melganzevoet (*C. album*) versus de afstand tot de rand van een perceel bij 2.5 l/ha met glufosinaat-ammonium in de kas. Dit komt overeen met 0.5 kg a.i. per ha.



Figuur 21. Reductie fotosynthetisch vermogen (%) van straatgras (*P. annua*) versus de afstand tot de rand van een perceel bij 2.5 l/ha met glufosinaat ammonium in het veld. Dit komt overeen met 0.5 kg a.i. per ha.

Op basis van deze vergelijking tussen kasdata en velddata kan echter niet geconcludeerd worden dat extrapolatie van kasdata naar een veldsituatie geoorloofd is. Ten eerste gaat het hier om één vergelijking van één middel, de effecten van andere middelen kunnen anders zijn. Ten tweede is in de kasexperimenten een andere plantensoort getoetst (*C. album*) als in de veldexperimenten (*P. annua*). In een vervolg op deze verkennende studie zal voor meerdere plantensoorten en meerdere middelen getoetst moeten worden of deze extrapolatie naar de veldsituatie al dan niet geoorloofd is.

6. Discussie

In deze verkennende studie zijn aan de hand van dosis-effect relaties de effecten van drie herbiciden (atrazine, diquat, glufosinaat-ammonium) op het fotosynthetisch vermogen en de biomassa van onkruidplanten (*Chenopodium album*, *Solanum nigrum* en *Taraxacum vulgare*) geanalyseerd. Deze effecten zijn met behulp van het EPOP-model vertaald naar effecten op planten buiten een bespoten perceel, de zogenaamde zoomvegetatie.

Uit de modelberekeningen blijkt dat planten in de zoomvegetatie dicht bij de rand van het perceel beïnvloed worden door drift van herbiciden als een referentiewaarde van 5% groeiremming gebruikt wordt.

De eerste analyse werd uitgevoerd met Atrazine, een middel dat sinds 2000 in Nederland niet meer toegelaten is, maar waarvan de dataset zich goed leende als input voor het model. Bij een grenswaarde van een biomassa-reductie van 5% en een dosering van 2.75 l/ha is een marge van 6.5 m. rondom het veld nodig voor atrazine. Deze marge komt overeen met de door Marrs en Frost (1991) en De Snoo (1999) voorgestelde marges van 3-10 m.

Voor de andere twee middelen, diquat en glufosinaat-ammonium liggen de marges een stuk hoger voor zowel de grenswaarde van 0% reductie als een grenswaarde van 5% reductie (rond de 15 m). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de scherpe knikken in de reductie-grafieken (Figuur 11 en 17). Zoals eerder in de resultaten beschreven ontstaan deze knikken als gevolg van de steile helling van de dosis-effect relaties van deze middelen. Het is mogelijk dat de doseringsreeks waarmee de middelen gespoten werden en het moment waarop het fotosynthetisch vermogen en de biomassa van de planten bepaald werden nog niet optimaal zijn voor de bepaling van een dosis-effect relatie. Daarnaast zijn de berekeningen gebaseerd op emissiedata van het IDEFICS model (versie 1995) die inmiddels ge-update is a.g.v. nieuwe inzichten.

Daarnaast zijn bij de bepaling van de dosis-effect relaties voor diquat en glufosinaat-ammonium in het laboratorium opgekweekte onkruidplanten gebruikt. Deze planten zijn gevoeliger voor pesticiden dan planten uit het veld en de dosis-effect relatie van planten uit het veld kan er anders uitzien. Om meer inzicht hierover te verkrijgen is een analyse van velddata uitgevoerd. De dosis-effect relatie op basis van de bespuitingen met glufosinaat ammonium op straatgras in het veld wijkt niet veel af van die voor de kasgegevens op melganzevoet. Het gaat hier echter om twee verschillende plantensoorten en slechts één getoetst middel. Het is nog niet mogelijk om op basis van deze vergelijking tussen kas- en velddata de extrapolatie van kasgegevens naar een veldsituatie voor meerdere herbiciden of meerdere plantensoorten te verantwoorden. Een ander verschil tussen veldbespuitingen en kasbespuitingen is het volume waarmee de planten bespoten worden. In het veld is de verdeling van het middel over een individuele plant waarschijnlijk minder gelijkmatig als de verdeling over een plant in een kasproef. Wanneer een zelfde concentratie actieve stof in het veld wordt toegepast als in de kas, kan het toegepaste middel (als gevolg van spuitdoppen, weersomstandigheden en type uitvloeiër) een ander effect sorteren, vanwege het verschil in volume dat op bepaalde plantendelen terecht komt. De gegevens die in deze studie gebruikt zijn kunnen voor de getoetste plantensoorten en herbiciden een overschatting of onderschatting geven van de veilige marges. In een vervolg op deze verkennende studie is het voor de extrapolatie naar een veldsituatie van belang om zicht te krijgen op de eventuele aanwezigheid en omvang van dit verschil tussen kasplanten en planten uit het veld.

Bij de vertaling van effecten van pesticiden op één of meerdere soorten in een zoomvegetatie naar het effect op de gehele zoomvegetatie is het van belang om het eventuele optreden van herstel na bespuiting en de snelheid waarmee het herstel optreedt te analyseren. Immers, hoe sneller een soort hersteld is, des te sneller zal deze soort weer concurreren met andere soorten. Een verschil in herstel tussen de soorten kan leiden tot verschuiving van soorten in de totale plantenpopulatie. De mate van herstel en ook de snelheid waarmee dat gebeurd is afhankelijk van de plantensoort en het middel waarmee gespoten wordt.

Belangrijk aspect in de discussie rond de effecten van pesticiden in het algemeen op zoomvegetaties zijn de grenswaarden die geaccepteerd worden. Op dit moment is er nog geen algemeen geaccepteerde grenswaarde voor de reductie die al dan niet toegelaten zal worden. Hierdoor is het moeilijk om uitkomsten uit deze en andere studies met elkaar te vergelijken. Immers, de veilige marge die vastgesteld wordt op basis van een grenswaarde waarbij

95% van de soorten beschermd wordt in een zoomvegetatie is anders dan die op basis van de bescherming van alle soorten.

De analyses in deze studie moeten gezien worden als een theoretisch voorbeeld. Voordat toepassing van de methode kan plaatsvinden, bijvoorbeeld als maat voor de toelating van middelen, zullen eerst aspecten als een goede dosis-effect relatie, de vaststelling van een goede grenswaarde, effecten op meerdere plantensoorten en -stadia en vertaling naar een veldsituatie onderzocht moeten worden.

7. Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- ❖ Het EPOP-model is geschikt om depositie van bestrijdingsmiddelen op zoomvegetaties (tot een afstand van 20 m van het perceel) in beeld te brengen en daar een te verwachten effect op de aanwezige planten te koppelen op basis van experimentele data.
- ❖ In principe kan met de in dit rapport beschreven methode elk effect van een middel op zoomvegetatie, zoals het effect op fysiologie, biomassa en sterfte, zowel per soort als voor de hele vegetatie berekend worden.
- ❖ In deze studie is gekeken naar effecten op biomassa en het fotosynthetisch vermogen. De omvang van deze effecten is sterk afhankelijk van het moment van waarnemen. Er zijn relatief weinig experimentele gegevens beschikbaar over effecten van drift van pesticiden op planten in zoomvegetaties.
- ❖ In tegenstelling tot veldgegevens zijn kasgegevens vaak beschikbaar en om die reden voornamelijk in deze studie gebruikt. Kasgegevens zijn goed bruikbaar voor een verkenning maar planten in de kas kunnen veel gevoeliger zijn voor chemische middelen als veldplanten. Alhoewel de dosis-effect relatie van velddata voor glufosinaat ammonium op straatgras weinig afwijkt van die voor de dosis-effect relatie op basis van kasdata op melganzevoet, kan de veilige marge die op basis van kasdata in het algemeen wordt voorspeld een over- dan wel onderschatting zijn van de werkelijk benodigde afstand tot het perceel. Andere middelen kunnen immers een ander effect hebben op de planten en ook de plantensoort kan het effect beïnvloeden.
- ❖ Deze verkennende studie is alleen uitgevoerd met herbiciden, die een effect op planten buiten het bespoten veld blijken te hebben. De in dit rapport beschreven methode kan echter ook gebruikt worden bij de voorspelling van effecten van bijv. fungiciden en insecticiden op zoomvegetaties van een bespoten perceel, hetgeen vanwege de in dit rapport beschreven effecten van herbiciden zeker aan te raden is.

Aanbevelingen

- ❖ Om een goede inschatting te kunnen maken van het effect van middelen op zoomvegetaties is het van belang meer goede experimentele data te verzamelen. Aan de hand van één herbicide en/of één plantensoort kan nog geen effect voorspeld worden voor de gehele zoomvegetatie. Het is nodig om goede dosis-effect relaties van de te testen herbiciden voor meerdere plantensoorten te hebben om degelijke risico-evaluaties te doen.
- ❖ In deze studie zijn data sets gebruikt die verkregen zijn met experimenten op nog niet volgroeide planten, in de toekomst zal getoetst moeten worden of deze planten gevoeliger zijn als volwassen planten.
- ❖ Een goede vergelijking van de dosis-effect relaties van kasgegevens met de dosis-effect relaties op basis van veldsituaties is nodig vanwege het mogelijk optreden van verhoogde gevoeligheid van kasplanten op bestrijdingsmiddelen.
- ❖ Om de output van het model te kunnen vertalen naar effecten op langere termijn op zoomvegetaties zullen meer gegevens verzameld moeten worden betreffende het herstel van de planten na behandeling.
- ❖ Inmiddels zijn sinds de publicatie uit 1995 waarin het IDEFICS model wordt beschreven, nieuwe inzichten verkregen met het model, die tot nieuwe inzichten in driftdepositie hebben geleid. Deze nieuwe gegevens zullen in een vervolgstudie verwerkt moeten worden in het EPOP model om tot een realistische schatting van de veilige marges te kunnen komen.
- ❖ Het meest relevante moment van waarnemen en meest geschikte stadium van de te testen plant moeten bepaald worden om tot een eenduidig beeld voor elk herbicide te kunnen komen.
- ❖ Tot slot moet de centrale vraag beantwoord worden welk beschermingsniveau men in de zoomvegetatie wil nastreven. Onderliggende vragen zijn: Welke grenswaarden vindt men nog acceptabel? Is het van belang dat de huidige vegetatie gehandhaafd blijft? Wil men terug naar de vegetaties rond akkers voordat deze beïnvloed werden door chemische middelen? Deze vragen vergen brede afstemming met partijen.

Literatuur

- Crijns, J. & J. Galema *et al.*, 2001.
Gewasbescherming in 2001 in de Akkerbouw en Veehouderij. DLV, Assen.
- De Snoo, G.R., 1999.
'Unsprayed field margins: effects on environment, biodiversity and agricultural practice.' *Landscape and urban planning* 46: 151-160.
- Dekkers, W.A., 2002.
Kwantitatieve informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2002. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving: 1-320.
- Devine, M. & S.O. Duke *et al.*, 1993.
Physiology of herbicide action. New Jersey, P T R Prentice-Hall, Inc.
- Eerden, L. van & M. Pérez-Soba *et al.*, 2000.
Vergelijking van effectiviteit van gereduceerd en geoxideerd stikstof. Wageningen, Plant Research International B.V.: 60.
- Kirkwood, R.C., Ed., 1991.
Target sites for herbicide action. Topics in applied chemistry. New York, Plenum Press.
- Marrs, R.H. & A.J. Frost *et al.*, 1991.
'Assessment of the effects of herbicide spray drift on selected species of conservation interest: The effect of plant age and surrounding vegetation structure.' *Environmental Pollution* 69: 223-235.
- Marrs, R.H. & A.J. Frost *et al.*, 1993.
'Determination of buffer zones to protect seedlings of non-target plants from the effects of glyphosate spray drift.' *Agriculture, Ecosystem and Environment* 45: 283-293.
- Seefeldt, S.S. & J.E. Jensen *et al.*, 1995.
'Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships.' *Weed Technology* 9: 218-227.
- Zande, J.C. van de & H.J. Holterman *et al.*, 1995.
Driftbeperking bij de toepassing van gewasbeschermingsmiddelen. Evaluatie van de technische mogelijkheden met een driftmodel. Wageningen, DLO-instituut voor Milieu- en Agritechniek.

Bijlage I.

Atrazine

Middelen gebaseerd op atrazine, binden aan proteïne D1 van fotosysteem II, waardoor de elektronenstroming in dat systeem voorkomen wordt. Uiteindelijk zal dit leiden tot een maximale fluorescentie, een te veel aan energie dat via zuurstof en andere nabijgelegen moleculen verloren gaat, foto-oxidatie en fytotoxiciteit (Devine, Duke *et al.*, 1993). Het gebruik van herbiciden die het fotosynthese apparaat hinderen lijkt op het eerste gezicht gunstig, omdat deze middelen minder problemen zullen opleveren wat betreft de toxiciteit voor mens en dier. De gelijke aard van het fotosynthese proces in zowel onkruiden als niet-doelplanten (m.u.v. C4 planten) betekent echter wel dat de selectiviteit van een herbicide via verschillen in opname, metabolisme of transport in de plant verkregen moet worden (Kirkwood, 1991) en niet alleen onkruiden er effecten van zullen ondervinden. Atrazine is in Nederland verboden met ingang van het jaar 2000.

Tabel I-1. Droge-stof gewicht van de bovengrondse delen van paardebloem (*T. vulgare*) na bespuitingen met atrazine.

Dry weight (g)	Doses (g ai/ha)
7.7	0
9.6	0
10.7	0
11	0
7.2	32.2
9.3	32.2
10.2	32.2
10.4	32.2
4	67.2
6.5	67.2
6.8	67.2
8	67.2
2.2	140
2.3	140
3.5	140
4.8	140
2	280
2.1	280
2.8	280
3.8	280
0.5	560
0.6	560
1	560
0.1	1125
0.2	1125
0.1	1125
0.1	2250

Tabel I-2. Model output; depositie (mg/m^2), afstand tot veld (m) en droge-stof reductie (%) voor drie fictieve doseringen atrazine.

Dose: 11 l/ha			Dose: 5.5 l/ha			Dose: 2.75 l/ha		
Deposition	Distance	Dry matter reduction	Deposition	Distance	Dry matter reduction	Deposition	Distance	Dry matter reduction
(mg/m^2)	(m)	(%)	(mg/m^2)	(m)	(%)	(mg/m^2)	(m)	(%)
2.4527	0.5	57.5236	1.2263	0.5	31.7932	0.6132	0.5	13.8258
2.0352	1.0	50.4030	1.0176	1.0	25.9145	0.5088	1	10.7459
1.6887	1.5	43.2659	0.8444	1.5	20.7914	0.4222	1.5	8.2861
1.4013	2.0	36.3978	0.7006	2.0	16.4561	0.3503	2	6.3491
1.1627	2.5	30.0425	0.5814	2.5	12.8778	0.2907	2.5	4.8411
0.9648	3.0	24.3717	0.4824	3.0	9.9845	0.2412	3	3.6774
0.8006	3.5	19.4732	0.4003	3.5	7.6839	0.2001	3.5	2.7851
0.6643	4.0	15.3592	0.3321	4.0	5.8788	0.1661	4	2.1046
0.5512	4.5	11.9850	0.2756	4.5	4.4771	0.1378	4.5	1.5876
0.4574	5.0	9.2707	0.2287	5.0	3.3975	0.1143	5	1.1961
0.3795	5.5	7.1213	0.1898	5.5	2.5712	0.0949	5.5	0.9002
0.3149	6.0	5.4402	0.1575	6.0	1.9418	0.0787	6	0.6770
0.2613	6.5	4.1382	0.1307	6.5	1.4641	0.0653	6.5	0.5088
0.2168	7.0	3.1374	0.1084	7.0	1.1026	0.0542	7	0.3821
0.1799	7.5	2.3725	0.0900	7.5	0.8295	0.0450	7.5	0.2871
0.1493	8.0	1.7905	0.0746	8.0	0.6236	0.0373	8	0.2159
0.1239	8.5	1.3492	0.0619	8.5	0.4685	0.0310	8.5	0.1618
0.1028	9.0	1.0155	0.0514	9.0	0.3519	0.0257	9	0.1214
0.0853	9.5	0.7635	0.0426	9.5	0.2641	0.0213	9.5	0.0911
0.0708	10.0	0.5736	0.0354	10.0	0.1982	0.0177	10	0.0681
0.0587	10.5	0.4306	0.0294	10.5	0.1486	0.0147	10.5	0.0511
0.0487	11.0	0.3230	0.0244	11.0	0.1114	0.0122	11	0.0384
0.0404	11.5	0.2421	0.0202	11.5	0.0835	0.0101	11.5	0.0281
0.0336	12.0	0.1813	0.0168	12.0	0.0625	0.0084	12	0.0219
0.0278	12.5	0.1357	0.0139	12.5	0.0467	0.0070	12.5	0.0161
0.0231	13.0	0.1014	0.0116	13.0	0.0349	0.0058	13	0.0120
0.0192	13.5	0.0756	0.0096	13.5	0.0260	0.0048	13.5	0.0090
0.0159	14.0	0.0563	0.0080	14.0	0.0194	0.0040	14	0.0061
0.0132	14.5	0.0418	0.0066	14.5	0.0144	0.0033	14.5	0.0050
0.0110	15.0	0.0309	0.0055	15.0	0.0106	0.0027	15	0.0031
0.0091	15.5	0.0227	0.0045	15.5	0.0078	0.0023	15.5	0.0021
0.0075	16.0	0.0166	0.0038	16.0	0.0057	0.0019	16	0.0020
0.0063	16.5	0.0120	0.0031	16.5	0.0041	0.0016	16.5	0.0014
0.0052	17.0	0.0085	0.0026	17.0	0.0029	0.0013	17	0.0010
0.0043	17.5	0.0059	0.0022	17.5	0.0020	0.0011	17.5	0.0007
0.0036	18.0	0.0040	0.0018	18.0	0.0014	0.0009	18	0.0005
0.0030	18.5	0.0025	0.0015	18.5	0.0009	0.0007	18.5	0.0003
0.0025	19.0	0.0014	0.0012	19.0	0.0005	0.0006	19	0.0002
0.0020	19.5	0.0006	0.0010	19.5	0.0002	0.0005	19.5	0.0001
0.0017	20.0	0.0000	0.0008	20.0	0.0000	0.0004	20	0.0000

Bijlage II.

Diquat

Diquat is een bipyridinium herbicide (bp) dat interactie heeft met fotosysteem I. Bp's worden door een reactie in fotosysteem I, waarbij elektronen transport plaatsvindt, gereduceerd. Er ontstaat als gevolg hiervan een anion dat spontaan met moleculaire zuurstof reageert waarbij het anion O_2^- ontstaat. Van dit anion wordt aangenomen dat het de reactieketen begint die de herbicide werking veroorzaakt. De uiteindelijke reactieproducten, zoals waterstofperoxide en hydroxyl, tasten de membranen aan door aan te grijpen op de onverzadigde vetzuren. Uiteindelijk heeft dit proces verwelking en uitdroging tot gevolg (Kirkwood, 1991).

Tabel II-1. Reductie fotosynthetisch vermogen en droge-stof reductie als gevolg van diquatbespuitingen in zwarte nachtschade.

Dosis (l/ha)	PPM-waarde	Fotosynthese reduction %	Dry weight (g)	Dry weight reduction %
0	78.4	0.0	1.051	0.0
0.0039	78.0	0.6	0.98	7.0
0.0078	76.8	2.3	1.025	2.6
0.0156	73.2	7.6	0.887	16.2
0.0312	60.4	26.3	0.692	35.5
0.0625	36.4	61.4	0.354	69.0
0.125	16.0	91.2	0.041	100.0
0.25	10.0	100.0	*	*

Tabel II-2. Model output; depositie (mg/m²), afstand tot veld (m) en droge-stof reductie (%) voor drie doseringen diquat.

Distance to field (m)	Dose: 4 l/ha			Dose: 3 l/ha			Dose: 5 l/ha		
	Deposition (mg/m ²)	Dry matter reduction (%)	Photo- synthesis reduction (%)	Deposition (mg/m ²)	Dry matter reduction (%)	Photo- synthesis reduction (%)	Deposition (mg/m ²)	Dry matter reduction (%)	Photo- synthesis reduction (%)
0.5	17.8375	97.1	93.6	13.3781	97.0	93.6	22.2969	97.1	93.6
1.0	14.8011	97.1	93.6	11.1009	97.0	93.6	18.50142	97.1	93.6
1.5	12.2816	97.1	93.6	9.2112	97.0	93.6	15.35203	97.1	93.6
2.0	10.1910	97.1	93.6	7.6432	97.0	93.6	12.73874	97.1	93.6
2.5	8.4562	97.1	93.6	6.3422	97.0	93.6	10.57029	97.1	93.6
3.0	7.0168	97.1	93.6	5.2626	97.0	93.6	8.770972	97.1	93.6
3.5	5.8224	97.1	93.6	4.3668	97.0	93.6	7.277938	97.1	93.6
4.0	4.8312	97.1	93.6	3.6234	97.0	93.6	6.039056	97.1	93.6
4.5	4.0088	97.1	93.6	3.0066	97.0	93.6	5.011061	97.1	93.6
5.0	3.3264	97.1	93.6	2.4948	97.0	93.6	4.158056	97.1	93.6
5.5	2.7602	97.1	93.6	2.0702	97.0	93.6	3.450253	97.1	93.6
6.0	2.2903	97.1	93.6	1.7178	97.0	93.6	2.862936	97.1	93.6
6.5	1.9005	97.1	93.6	1.4254	97.0	93.6	2.375594	97.1	93.6
7.0	1.5770	97.1	93.6	1.1827	97.0	93.6	1.97121	97.1	93.6
7.5	1.3085	97.1	93.6	0.9814	97.0	93.6	1.635662	97.1	93.6
8.0	1.0858	97.1	93.6	0.8143	97.0	93.6	1.357232	97.1	93.6
8.5	0.9010	97.1	93.6	0.6757	97.0	93.6	1.126198	97.1	93.6
9.0	0.7476	97.1	93.6	0.5607	97.0	93.6	0.934492	97.1	93.6
9.5	0.6203	97.1	93.6	0.4653	97.0	93.6	0.775419	97.1	93.6
10.0	0.5147	97.1	93.6	0.3861	97.0	93.6	0.643423	97.1	93.6
10.5	0.4271	97.1	93.6	0.3203	97.0	93.6	0.533897	97.1	93.6
11.0	0.3544	97.1	93.6	0.2658	97.0	93.6	0.443015	97.1	93.6
11.5	0.2941	97.1	93.6	0.2206	97.0	93.6	0.367603	97.1	93.6
12.0	0.2440	97.1	93.6	0.1830	97.0	93.6	0.305028	97.1	93.6
12.5	0.2025	97.1	93.6	0.1519	97.0	93.6	0.253105	97.1	93.6
13.0	0.1680	97.1	93.6	0.1260	97.0	93.6	0.21002	97.1	93.6
13.5	0.1394	97.1	93.6	0.1046	97.0	93.6	0.174269	97.1	93.6
14.0	0.1157	97.1	93.6	0.0868	97.0	93.6	0.144605	97.1	93.6
14.5	0.0960	97.1	93.6	0.0720	97.0	93.6	0.119989	97.1	93.6
15.0	0.0797	97.1	93.6	0.0597	97.0	93.6	0.099564	97.1	93.6
15.5	0.0661	97.1	93.6	0.0496	97.0	93.6	0.082616	97.1	93.6
16.0	0.0548	97.1	93.6	0.0411	97.0	93.6	0.068553	97.1	93.6
16.5	0.0455	97.1	93.6	0.0341	97.0	93.6	0.056883	97.1	93.6
17.0	0.0378	97.1	93.6	0.0283	97.1	93.6	0.0472	97.1	93.6
17.5	0.0313	97.1	93.6	0.0235	97.1	92.1	0.039166	97.1	93.6
18.0	0.0260	97.1	93.6	0.0195	0.0	49.3	0.032499	97.1	93.6
18.5	0.0216	96.9	18.3	0.0162	0.0	0.0	0.026967	97.1	93.6
19.0	0.0179	0.5	0.0	0.0134	0.0	0.0	0.022376	97.1	67.5
19.5	0.0149	0.0	0.0	0.0111	0.0	0.0	0.018567	4.6	0.0
20.0	0.0123	0.0	0.0	0.0092	0.0	0.0	0.015407	0.0	0.0

Bijlage III.

Glufosinaat-ammonium

Glufosinaat voorkomt de omzetting van glutamaat in glutamine een proces dat van belang is voor de binding van stikstof (Devine, Duke et al. 1993). Atmosferische stikstof wordt via de apoplast en het cytoplasma naar de chloroplast getransporteerd. Eenmaal omgezet in NH_4^+ wordt de stikstof geassimileerd door de glutamine synthetase/ glutamaat synthase cyclus (GS/GOGAT). Wanneer glufosinaat-ammonium de werking van deze cyclus remt, treedt er ophoping van NH_4^+ in de chloroplast op, hetgeen allerlei negatieve effecten op de plant heeft (Van Eerden, Pérez-Soba *et al.*, 2000).

Tabel III-1. *Reductie fotosynthetisch vermogen en droge-stof reductie als gevolg van glufosinaat bespuitingen in melganzevoet.*

Dosis (l/ha)	PPM-waarde	Reductie fotosynthetisch vermogen (%)	Droge stof (g)	Droge-stof reductie (%)
0	78.3	0	0.3005	0.00
0.03125	77.9	1.1	0.2935	2.79
0.0625	76.7	4.1	0.24275	23.05
0.125	77.0	3.4	0.2005	39.92
0.187	75.0	8.5	0.09575	81.74
0.25	74.9	8.9	0.07725	89.12
0.375	72.1	16.0	0.07025	91.92
0.5	69.7	22.2	0.06675	93.31
1	50.0	73.3	0.06025	95.91
2	39.7	100	0.05	100.00

Tabel III-2. Model output; depositie (mg/m^2), afstand tot veld (m) en droge-stof reductie (%) voor 2 doseringen glufosinaat-ammonium.

Distance to field (m)	Dose: 2.5 l/ha			Dose: 3 l/ha		
	Deposition (mg/m^2)	Dry matter reduction (%)	Light use efficiency reduction (%)	Deposition (mg/m^2)	Dry matter reduction (%)	Light use efficiency reduction (%)
0.5	11.1484	95.6	102.6	13.37814	95.6	102.6
1	9.2507	95.6	102.6	11.10085	95.6	102.6
1.5	7.6760	95.6	102.6	9.21122	95.6	102.6
2	6.3694	95.6	102.6	7.64324	95.6	102.6
2.5	5.2851	95.6	102.6	6.34218	95.6	102.6
3	4.3855	95.6	102.6	5.26258	95.6	102.6
3.5	3.6390	95.6	102.6	4.36676	95.6	102.6
4	3.0195	95.6	102.6	3.62343	95.6	102.6
4.5	2.5055	95.6	102.6	3.00664	95.6	102.6
5	2.0790	95.6	102.6	2.49483	95.6	102.6
5.5	1.7251	95.6	102.6	2.07015	95.6	102.6
6	1.4315	95.6	102.6	1.71776	95.6	102.6
6.5	1.1878	95.6	102.6	1.42536	95.6	102.6
7	0.9856	95.6	102.6	1.18273	95.6	102.6
7.5	0.8178	95.6	102.6	0.98140	95.6	102.6
8	0.6786	95.6	102.5	0.81434	95.6	102.6
8.5	0.5631	95.6	102.3	0.67572	95.6	102.5
9	0.4672	95.6	101.5	0.56070	95.6	102.3
9.5	0.3877	95.6	98.6	0.46525	95.6	101.5
10	0.3217	95.6	89.0	0.38605	95.6	98.5
10.5	0.2669	95.6	65.1	0.32034	95.6	88.6
11	0.2215	95.6	32.5	0.26581	95.6	64.4
11.5	0.1838	95.6	11.3	0.22056	95.6	31.8
12	0.1525	95.5	3.3	0.18302	95.6	11.0
12.5	0.1266	95.5	0.9	0.15186	95.5	3.2
13	0.1050	95.5	0.2	0.12601	95.5	0.9
13.5	0.0871	95.5	0.1	0.10456	95.5	0.2
14	0.0723	95.5	0.0	0.08676	95.5	0.1
14.5	0.0600	93.3	0.0	0.07199	95.5	0.0
15	0.0498	16.4	0.0	0.05974	93.0	0.0
15.5	0.0413	0.1	0.0	0.04957	14.8	0.0
16	0.0343	0.0	0.0	0.04113	0.1	0.0
16.5	0.0284	0.0	0.0	0.03413	0.0	0.0
17	0.0236	0.0	0.0	0.02832	0.0	0.0
17.5	0.0196	0.0	0.0	0.02350	0.0	0.0
18	0.0162	0.0	0.0	0.01950	0.0	0.0
18.5	0.0135	0.0	0.0	0.01618	0.0	0.0
19	0.0112	0.0	0.0	0.01343	0.0	0.0
19.5	0.0093	0.0	0.0	0.01114	0.0	0.0
20	0.0077	0.0	0.0	0.00924	0.0	0.0

Tabel III-3. *Reductie fotosynthetisch vermogen als gevolg van glufosinaat ammonium bespuitingen in veld op straatgras (P. annua).*

Dosis (l/ha)	PPM waarde	Reduction light use efficiency (%)
0	71.0	0.0
0.5	63.0	17.1
1.5	40.9	64.7
2.5	33.9	79.8
3.5	24.5	100.0

Tabel III-4. *Model output; depositie (mg/m²), afstand tot veld (m) en droge-stof reductie (%) voor 2,5 l/ha glufosinaat-ammonium van velddata op straatgras.*

Distance to field	Deposition (mg/m ²)	Light use efficiency reduction (%)
0.5	11.1	102.0
1	9.3	102.0
1.5	7.7	102.0
2	6.4	102.0
2.5	5.3	102.0
3	4.4	102.0
3.5	3.6	102.0
4	3.0	102.0
4.5	2.5	102.0
5	2.1	101.9
5.5	1.7	101.8
6	1.4	101.6
6.5	1.2	101.1
7	1.0	100.2
7.5	0.8	98.4
8	0.7	94.8
8.5	0.6	88.0
9	0.5	76.7
9.5	0.4	60.4
10	0.3	42.0
10.5	0.3	25.7
11	0.2	14.2
11.5	0.2	7.3
12	0.2	3.7
12.5	0.1	1.8
13	0.1	0.9
13.5	0.1	0.4
14	0.1	0.2
14.5	0.1	0.1
15	0.0	0.0
15.5	0.0	0.0
16	0.0	0.0
16.5	0.0	0.0
17	0.0	0.0
17.5	0.0	0.0
18	0.0	0.0
18.5	0.0	0.0
19	0.0	0.0
19.5	0.0	0.0
20	0.0	0.0

Bijlage IV.

Fotosynthese metingen

De werking van de PPM meter berust op het principe dat licht dat op de plant valt door de plant wordt vastgelegd als energie. In het fotosynthese-apparaat wordt licht geabsorbeerd en tegelijkertijd wordt een elektron geactiveerd die daardoor in een hogere baan wordt gebracht. De energie die vrijkomt terwijl het elektron weer in zijn oude baan terechtkomt, kan op 3 manieren vrijkomen:

1. als input-energie voor de fotosynthese reactie
2. als warmte
3. als fotonstraling (fluorescentie)

Deze drie mogelijkheden van energie emissie samen corresponderen met 100% van de geabsorbeerde hoeveelheid licht. De fractie van het geabsorbeerde licht dat voor de fotosynthese wordt gebruikt wordt de fotosynthese opbrengst (Φ_p) genoemd. Het gedeelte dat via straling vrijkomt, de fluorescentie opbrengst.

De fotosynthese opbrengst wordt door de PPM-meter bepaald aan de hand van de fluorescentie opbrengst. De fluorescentie opbrengst onder normale lichtomstandigheden is zeer laag en bedraagt minder dan 1 %. Daarom voert de meter 2 metingen uit: in de eerste wordt de fluorescentie onder normale omstandigheden gemeten (F). Vervolgens wordt een sterke lamp aangezet waardoor het blad van de plant volledig verzadigd raakt en de energie niet als input voor de fotosynthese gebruikt wordt, maar vrij komt als fotonen (fluorescentie). Het gevolg is dat de fluorescentie opbrengst sterk stijgt tot een maximale waarde (F_m). Vervolgens rekent de meter de fotosyntheseopbrengst uit via de formule: $\Phi_p = 1 - F/F_m$.

De maximale fotosynthese activiteit die zo gemeten kan worden ligt rond de 70-80%. Wanneer planten behandeld zijn met herbiciden die invloed hebben op de fotosynthesepathways, zal dit percentage dalen tot onder de 20%. In de praktijk is gebleken dat planten die een activiteit onder deze 20% tonen, de behandeling met het herbicide niet overleven.

