

# **Ontwikkeling van criteria voor beperking van het herbicidegebruik in granen**

J. Wallinga

**ab-dlo**

**NGC**

Het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO) is onderdeel van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

Het instituut is opgericht op 1 november 1993 en is ontstaan door de samenvoeging van het Wageningse Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO-DLO) en het in Haren gevestigde Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB-DLO).

DLO heeft tot taak het genereren van kennis en het ontwikkelen van expertise ten behoeve van de beleidsvoorbereiding en -uitvoering van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, het bevorderen van de primaire landbouw en de agrarische industrie, het inrichten en beheren van het landelijk gebied, en het beschermen van natuur en milieu.

AB-DLO heeft tot taak het verrichten van zowel fundamenteel-strategisch als toepassingsgericht onderzoek en is gepositioneerd tussen het fundamentele basisonderzoek van de universiteiten en het praktijkgerichte onderzoek op proefstations. De verkregen onderzoeksresultaten dragen bij aan de bevordering van:

- de bodemkwaliteit;
- duurzame plantaardige produktiesystemen;
- de kwaliteit van landbouwprodukten.

Kernexpertises van het AB-DLO zijn: plantenfysiologie, bodembioïogie, bodemchemie en -fysica, nutriëntenbeheer, gewas- en onkruidedologie, graslandkunde en agrosysteemkunde.

#### **Adres**

##### *Vestiging Wageningen:*

Postbus 14, 6700 AA Wageningen

tel. 0317-475700

fax. 0317-423110

e-mail [postkamer@ab.agro.nl](mailto:postkamer@ab.agro.nl)

##### *Vestiging Haren:*

Postbus 129, 9750 AC Haren

tel. 050-5337777

fax. 050-5337291

e-mail [postkamer@ab.agro.nl](mailto:postkamer@ab.agro.nl)

# Inhoudsopgave

|                                                                                                               | <b>pagina</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Samenvatting</b>                                                                                           | <b>1</b>      |
| <b>Summary</b>                                                                                                | <b>2</b>      |
| <b>1. Inleiding</b>                                                                                           | <b>3</b>      |
| 1.1. Probleembeschrijving                                                                                     | 3             |
| 1.2. Doel                                                                                                     | 3             |
| 1.3. Opzet en afbakening van het onderzoek                                                                    | 4             |
| <b>2. Criteria voor onkruidbestrijding</b>                                                                    | <b>5</b>      |
| 2.1. Korte termijn: schadedrempel als criterium                                                               | 5             |
| 2.2. Lange termijn: stabiliteit van onkruid dichtheid als criterium                                           | 5             |
| 2.3. Consequenties                                                                                            | 7             |
| <b>3. Veldproeven</b>                                                                                         | <b>9</b>      |
| 3.1. Meerjarige proef                                                                                         | 9             |
| 3.2. Rassenproef                                                                                              | 10            |
| 3.3. Verdeling van onkruiden                                                                                  | 11            |
| <b>4. Discussie</b>                                                                                           | <b>13</b>     |
| 4.1. Rol in bouwplan                                                                                          | 13            |
| 4.2. Vermindering van herbicidegebruik                                                                        | 13            |
| 4.3. Naar een toepassing                                                                                      | 15            |
| <b>5. Conclusies</b>                                                                                          | <b>17</b>     |
| <b>Dankwoord</b>                                                                                              | <b>18</b>     |
| <b>Literatuur</b>                                                                                             | <b>19</b>     |
| <b>Publikaties</b>                                                                                            | <b>23</b>     |
| <b>Bijlage I:</b>                                                                                             |               |
| Over optimale aanwending van herbiciden gezien over langere termijn:<br>schadedrempels en stabiele populaties | 4 pp.         |
| <b>Bijlage II</b>                                                                                             |               |
| Resultaten van de meerjarige proef                                                                            | 15 pp.        |
| <b>Bijlage III</b>                                                                                            |               |
| Resultaten van de rassenproef                                                                                 | 3 pp.         |
| <b>Bijlage IV</b>                                                                                             |               |
| Een ruimtelijk model van onkruidpopulatie dynamica                                                            | 2 pp.         |
| <b>Bijlage V</b>                                                                                              |               |
| Waarneming van ruimtelijke verdeling van onkruiden                                                            | 4 pp.         |
| <b>Bijlage VI</b>                                                                                             |               |
| Beperking van het herbicidegebruik: berekening van de limiet                                                  | 4 pp.         |

## Samenvatting

Kan het herbicidegebruik in granen worden teruggedrongen zonder dat dit resulteert in veronkruiding van volggewassen? Het herbicidegebruik kan natuurlijk verminderd worden door het verhogen van de inzet van andere onkruidbestrijdingsmethoden of door het veranderen van het bouwplan. Als deze mogelijkheden uitgesloten worden, blijft de volgende vraag over: wat is de vereiste bestrijdingsintensiteit voor onkruiden in granen?

Voor het oplossen van dit vraagstuk is een criterium nodig waaraan de vereiste intensiteit van bestrijding kan worden afgemeten. Dit criterium moet aangeven wanneer bestrijding nodig is en wanneer niet. Welk criterium daarvoor gebruikt moet worden hangt af van de termijn waarover het effect van de bestrijding geëvalueerd wordt. Indien de bestrijding zichzelf binnen het lopend jaar moet terug verdienen is bestrijding rendabel als de dichtheid boven de schadedrempel uitkomt. Dit is dus een schadedrempel-criterium. Indien de bestrijding zichzelf over meerdere jaren moet terug verdienen dient ook gezorgd te worden dat de dichtheid onder de schadedrempel komt en daar voor meerder jaren onder blijft. Dit houdt in dat de dichtheid voor meerdere jaren beneden de schadedrempel stabiel gehouden wordt. Dit is dus een stabiliteits-criterium, in tegenstelling tot bovenstaand schadedrempel criterium.

Het aantal zaden dat gemiddeld door een onkruid wordt gevormd en de effectiviteit van bestrijding zijn voor onkruidichtheid rond en beneden de eenjarige schadedrempel niet of nauwelijks afhankelijk van de dichtheid. Het benodigd herbicidegebruik om de populatie over de jaren heen stabiel te houden is dan ook vrijwel onafhankelijk van de dichtheid. Dit houdt in dat het tolereren van een hogere dichtheid dan nu gangbaar is, op lange termijn niet zal resulteren in verandering in herbicidegebruik.

Resultaten van een vierjarige veldproef, waarin het verloop van onkruidichtheid werd gevolgd na het al of niet toepassen van herbiciden in wintertarwe, werden achteraf getoetst aan beide bovengenoemde criteria. Herbicidegebruik in wintertarwe bleek op korte termijn (schadedrempel-criterium) niet altijd rendabel, op lange termijn (stabiliteits-criterium) wel. Aan de lange-termijn eis (stabiliteits-criterium) kan ook worden afgemeten hoever het herbicidegebruik kan worden teruggedrongen met diverse methoden, en wat het beperkende proces is. Het resultaat van toepassing van bestrijdingsdrempels wordt op lange termijn beperkt door de populatiedynamische kenmerken van het onkruid. Het resultaat van toepassing van herbiciden in verlaagde doseringen wordt op lange termijn beperkt door populatiedynamische kenmerken van het onkruid en de dosis-responscurve van het herbicide. Ook vermindering van herbicidegebruik door pleksgewijze bestrijding is geanalyseerd. Pleksgewijze bestrijding wordt hier opgevat als kleinschalige bestrijding waarbij voor bijvoorbeeld iedere vierkante meter beslissingen over onkruidbestrijding worden genomen. Het resultaat van pleksgewijze bestrijding wordt beperkt door de beschikbaarheid van betaalbare adequate techniek om nauwkeurig en gericht onkruiden te bestrijden.

Het meerjarige stabiliteits-criterium kan gebruikt worden in een al bestaand systeem voor advisering van herbicide dosis, zodat lange-termijn effecten kunnen worden meegewogen in het advies.

## Summary

Can the use of herbicides in cereals be reduced without drawing on a future increase of weed infestations? Of course, herbicide use can be reduced by the application of other weed control techniques or by altering the crop rotation. Beside these options, the question remains: what is the required intensity of weed control in cereals?

In order to provide an answer to this question, a criterion is needed to determine the required intensity of weed control. This criterion has to indicate whether or not weed control is needed. The criterion to be used will be determined by the period over which the effect of control is evaluated. When the costs of control measure should be met within the current year, control is cost-effective when weed density transgresses the economic weed control threshold. So the criterion is an economic threshold. When the cost of the control has to be met over a number of years, the weed density has to remain below the economic threshold for a couple of years. That is, the density has to be kept stable at a level below the economic threshold. So, stability is the criterion, as opposed to the above mentioned threshold criterion.

The average number of seeds produced by a weed plant, as well as the efficacy of control, hardly depends on weed density over the range of density near and below the one-year economic threshold. Therefore, the herbicide use required to maintain a stable population density over years will hardly depend on density. This means that tolerating weeds up to a higher density will, on the long term, not result in lower herbicide use.

The results of a four-year field trial, in which change in weed density over time was recorded as influenced by the application of herbicides in winter wheat, were afterwards subject to the above mentioned criteria. Herbicide use in winter wheat was not always cost-effective on a short term (threshold criterion) whereas it was on a long term (stability criterion).

The long-term stability criterion can be used to infer the possible reduction of herbicide use and the limiting process involved for any particular method. The result of applying thresholds will be limited by population dynamic characteristics of the weed. The result of reduced herbicide dose will be limited by population dynamic characteristics of the weed, and by the dose-response curve of the herbicide. The result of patch spraying - understood as making decisions about control at small spatial scales - will be limited by the availability of an adequate and affordable technique to control weeds accurately.

The criteria of stability might also be used in an already existing system for advise on herbicide doses, in order to include long-term effects into the process of decision making.

# 1. Inleiding

## 1.1. Probleembeschrijving

In de Nederlandse graanteelt worden herbiciden gebruikt. Als redenen voor het herbicidegebruik wordt aangevoerd het voorkomen van opbrengstderving in het lopende jaar, of het bestrijden van onkruid dat in andere gewassen in de vruchtopvolging moeilijker is te bestrijden, of het tegengaan van een toename in de onkruidpopulatie. De exacte reden hangt natuurlijk af van de specifieke situatie: heeft men van doen met een eenjarig of een meerjarig onkruid, geeft het onkruid opbrengstderving of is het onkruid een waardplant voor ziekten en plagen. In de Nederlandse situatie bestaat de indruk dat bestrijding niet vaak wordt gedaan om directe opbrengstderving te voorkomen (Lotz et al., 1990). In buitenlandse studies wordt de indruk gewekt dat herbicidegebruik ook over meerdere jaren niet gerechtvaardigd wordt door voorkoming van opbrengstderving (Wahmhoff, 1990; maar zie ook Wilson & Wright, 1991). Het is vooralsnog een open vraag of er teveel en onnodig herbiciden gebruikt worden in de graanteelt. En deze vraag is zeer actueel, gezien het overheidsbeleid (MJP-G) en economische motieven (geringe winstmarges bij granen).

Een blik op de landbouwgeschiedenis leert dat de mensheid eeuwenlang granen heeft geteeld zonder herbiciden te gebruiken. In de destijds toegepaste teeltsystemen werden na granen echter andere gewassen geteeld of het land bleef braak om onkruid te bestrijden (Bieleman, 1992). In het huidige systeem is de situatie eerder omgekeerd, granen worden gebruikt om onkruid te bestrijden die in andere gewassen moeilijk te bestrijden zijn. Kan, gegeven het huidige teeltsysteem, het herbicidegebruik teruggedrongen worden? De beperking tot het huidige teeltsysteem houdt in dat niet wordt ingegaan op de vraag of herbicidegebruik kan worden vervangen door andere onkruidbestrijdingsmethoden. De vraag kan dan als volgt worden geïnterpreteerd: wordt onkruid te intensief bestreden in sommige jaren of op sommige plaatsen?

Het oplossen van deze vraag maakt het noodzakelijk aan te geven wanneer er problemen met veronkruiding ontstaan. Hiervoor zijn criteria nodig. Deze criteria kunnen ook gebruikt worden bij beslissings-ondersteuning bij het bestrijden van onkruid; de vraag 'worden er onnodig herbiciden gebruikt' en het tegengaan van onnodig herbicidegebruik liggen in elkaars verlengde.

## 1.2. Doel

Het onderzoek beoogt:

1. aan te geven wat de rol is van granen in onkruidbestrijding in bouwplan;
2. aan te geven hoe en hoever het herbicidegebruik in granen teruggedrongen kan worden zonder herbiciden te vervangen door andere onkruidbestrijdingsmethoden en hiervoor criteria aan te geven;
3. bij te dragen aan een adviessysteem voor onkruidbestrijding.

### 1.3. Opzet en afbakening van het onderzoek

Eerst is er een concept voor onkruidbestrijding nodig waarin duidelijk moet worden wat de belangrijke biologische processen en factoren zijn die bepalen wanneer veronkruiding in een bouwplan ontstaat. Hieruit kunnen dan de criteria worden afgeleid die aangeven in welke situaties herbicidegebruik teruggedrongen kan worden, en wanneer niet.

Een indicatie hoe deze criteria uit zullen werken in de praktijk kan alleen verkregen worden door veldproeven te doen met onkruidbestrijding en veronkruiding. Hiertoe is een meerjarige veldproef op verschillende locaties in Nederland uitgevoerd waarin onkruid wel of niet werd bestreden. Voor enkele deelproblemen, te weten het effect van tarweras op onkruidgroei en het effect van ruimtelijke verdeling van onkruiden, zijn enkele kortlopende veldproeven uitgevoerd.

In dit onderzoek is aandacht besteed aan de vraag of herbicidegebruik teruggedrongen kan worden binnen een gegeven vruchtwisselingsschema en teeltsysteem. Uiteraard zijn er ook andere methoden om tot vermindering van herbicidegebruik te komen. Deze vallen buiten het kader van dit onderzoek. Er is geen aandacht besteed aan de vervanging van chemische bestrijding door mechanische of biologische bestrijdingsmethoden. Ook is geen aandacht besteed aan vermindering van herbicidegebruik door overschakelen op een ander teeltsysteem of door verhoging van effectiviteit van herbiciden, of door optimalisering van het toedieningstijdstip.

## 2. Criteria voor onkruidbestrijding

### 2.1. Korte termijn: shadedrempel als criterium

Het doel van onkruidbestrijding is uiteindelijk het behalen van een goed economisch resultaat. Het nastreven van een goed economisch resultaat houdt in dat een afweging wordt gemaakt tussen de baten en de kosten van onkruidbestrijding. Het nastreven van maximum opbrengst en uitroeiing van onkruid is daarbij niet noodzakelijk.

Het afwegen van kosten en baten is diepgaand onderzocht in het geval van bestrijding van epidemieën in granen zoals roest, meeldauw en bladluizen (Zadoks, 1985; Rossing, 1993). Ook de situatie voor onkruiden waarbij maar voor één jaar de kosten en baten worden geanalyseerd is goed onderzocht (Auld et al., 1987; Cousens, 1987). Criterium voor bestrijding is op eenjarige basis de shadedrempel. Deze shadedrempel is de populatiedichtheid van het schadelijk organisme waarbij de bestrijdingskosten gelijk zijn aan de schade die geleden zou zijn als er niet bestreden was. Voor dichtheden beneden deze drempelwaarde is bestrijding niet lonend in één jaar, en boven deze drempelwaarde is bestrijding wel lonend in één jaar.

### 2.2. Lange termijn: stabiliteit van onkruidichtheid als criterium

Soms kan het herhaald maken van een beslissing waarbij over een bepaalde termijn vooruit wordt gekeken leiden tot een stabiele situatie. Als voorbeeld dient het houden van een lopende rekening. Een goed management van een lopende rekening houdt in dat er evenveel wordt bijgeschreven als afgeschreven, het saldo blijft dus over lange termijn stabiel. Het absolute saldo is (binnen zekere grenzen) daarbij niet zo belangrijk, belangrijker is te zorgen dat het saldo niet continu toeneemt of afneemt. Het optreden van stabiele situaties in dergelijke gevallen is bekend in de optimaliserings- en controletheorie (zie bijv. Bertsekas, 1976).

Zo'n stabiele situatie kan ook bij onkruidbestrijding op lange termijn verkregen worden, maar echter niet bij bestrijding van epidemieën van ziekten en plagen in granen. Voor het onderling vergelijken en overdragen van resultaten tussen bestrijding van onkruiden en bestrijding van ziekten en plagen lijkt een korte uiteenzetting van overeenkomsten en verschillen op zijn plaats.

Bij epidemieën van ziekten en plagen in granen wordt de epidemie beëindigt als het gewas geoogst wordt, de duur van een epidemie is dus beperkt tot een groeiseizoen. Het volgende jaar kan er weer een nieuwe epidemie opstarten vanuit infectiehaarden buiten het perceel. Omdat er geen duidelijk verband is tussen dichtheden in opeenvolgende seizoenen, is de afweging van kosten en baten over meerdere seizoenen gewoonweg het herhaald maken van afwegingen van kosten en baten per seizoen.

Bij onkruiden ligt de zaak iets anders (zie Tabel 1). Als het gewas geoogst wordt, is de plaag niet afgelopen, want de geproduceerde zaden blijven op het perceel achter en kunnen volgende jaren nog schade op dat perceel geven. Bij dichtheden boven de shadedrempel blijft bestrijding natuurlijk nog steeds nodig, maar voor lagere dichtheden beneden de eenjarige shadedrempel kan bestrijding nu niet zonder meer achterwege blijven, want schade in de komende jaren moet ook worden voorkomen. Die toekomstige schade kan alleen ontstaan

Tabel 1      Schematische weergave van criteria voor bestrijding over meerdere jaren

| Meeldauw, roest, bladluizen                                         | Onkruiden                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| elk groeiseizoen start er een nieuwe epidemie                       | dichtheid en bestrijding in een lopend seizoen<br>bepalen dichtheid in komend seizoen                              |
| bestrijden om schade in lopend seizoen te vermijden                 | bestrijden om schade in lopend seizoen en schade in komende seizoenen te vermijden                                 |
| schade in lopend seizoen alleen als dichtheid te hoog is            | schade in lopend seizoen alleen als dichtheid te hoog is, toekomstige schade alleen als dichtheid toeneemt         |
| populatiedichtheid boven de schadedrempel: bestrijding loont        | populatiedichtheid boven de schadedrempel: bestrijding loont                                                       |
| populatiedichtheid beneden de schadedrempel: bestrijding loont niet | populatiedichtheid beneden de schadedrempel: populatiedichtheid mag niet toenemen                                  |
| over meerdere jaren is schadedrempel het criterium voor bestrijding | over meerdere jaren is handhaving van de onkruidichtheid (beneden de schadedrempel) het criterium voor bestrijding |
| hogere drempel betekent minder vaak bestrijden                      | hoogte van de drempel heeft geen invloed op aantal bestrijdingen                                                   |

als de onkruidichtheid toe zal nemen. Dus bij het vooruitzien over meerdere jaren is het tegengaan van populatietoename, oftewel het nastreven van stabiliteit over de jaren heen, een extra criterium waaraan tegemoet moet worden gekomen.

Het begrip 'schadedrempel' wordt soms algemener opgevat, de drempeldichtheid hoeft dan niet noodzakelijk bepaald te worden door de eenjarige afweging van schade en bestrijdingskosten, deze afweging kan ook over meerder jaren worden gemaakt. Een dergelijke generalisatie wordt hier 'bestrijdingsdrempel' genoemd. De achterliggende idee bij het gebruik van bestrijdingsdrempels is dat door het tolereren van onkruiden totdat een 'bepaalde' dichtheid wordt bereikt, er minder vaak bestreden hoeft te worden. Maar dit idee ontbeert bij onkruidbestrijding een goede argumentatie. Voor dichtheden rond en beneden de eenjarige schadedrempel is het gemiddeld aantal geproduceerde zaden per plant vrijwel onafhankelijk van de onkruidichtheid. Hierdoor is de benodigde bestrijding (aantal malen bestrijding, of bestrijdingsintensiteit) om de populatie de 'bepaalde' dichtheid niet te laten overschrijden over de jaren heen ook vrijwel onafhankelijk van dichtheid, en daarmee ook onafhankelijk van hoogte van bestrijdingsdrempel. Dit houdt in dat manipulatie van benodigde bestrijding op lange termijn niet of nauwelijks mogelijk is door het alleen instellen van een bepaalde na te streven 'bepaalde' dichtheid.

Een factor waarop de onkruidichtheid wel invloed heeft is de termijn waarover bestrijding zich terug verdient. Bij een dichtheid in de buurt van de schadedrempel verdienen bestrijdingen zichzelf terug in ongeveer een jaar. Bij dichtheden van ongeveer een factor 10 lager, verdienen bestrijdingen zich pas terug over een periode van 10-15 jaar (exacte getallen hangen af van de betreffende situatie, zie Cousens, 1987; Pandey & Medd, 1991; Mortensen *et al.*, 1993). De na te streven dichtheid hangt dus nauw samen met de termijn waarover de boer vooruitkijkt (de zogenaamde planning-horizon) (zie bijlage I).

## 2.3. Consequenties

Het bovenstaande concept heeft belangrijke consequenties voor de opzet van een advies-systeem voor bestrijding van onkruiden. De exacte hoogte van de onkruidichtheid heeft geen of weinig invloed op de hoeveelheid bespuitingen die nodig zijn, deze hoeveelheid hangt van andere factoren af. Vanuit het oogpunt van herbicidenbesparing heeft het weinig zin om nauwkeurigheid te betrachten bij het adviseren van de hoogte van een na te streven onkruidichtheid of bestrijdingsdrempel (Cousens, 1987, bereikt een soortgelijke conclusie op meer pragmatische gronden). Dit contrasteert met de opzet van veel advies-systemen voor onkruidbestrijding die wel volgens een bestrijdingsdrempel-concept zijn opgezet (bijv. Aarts, 1986; Baandrup & Ballegaard, 1990; Gerowitt, 1990; Dekkers & Gruneveld, 1994; Swinton & King, 1994).

Een andere belangrijke consequentie is dat er nu een criterium is gevonden voor rentabiliteit van onkruidbestrijding op lange termijn: tegengaan van populatietoename. Hoe dit criterium in de praktijk kwantitatief uitpakt kan nu worden geïllustreerd met behulp van de veld-proeven.

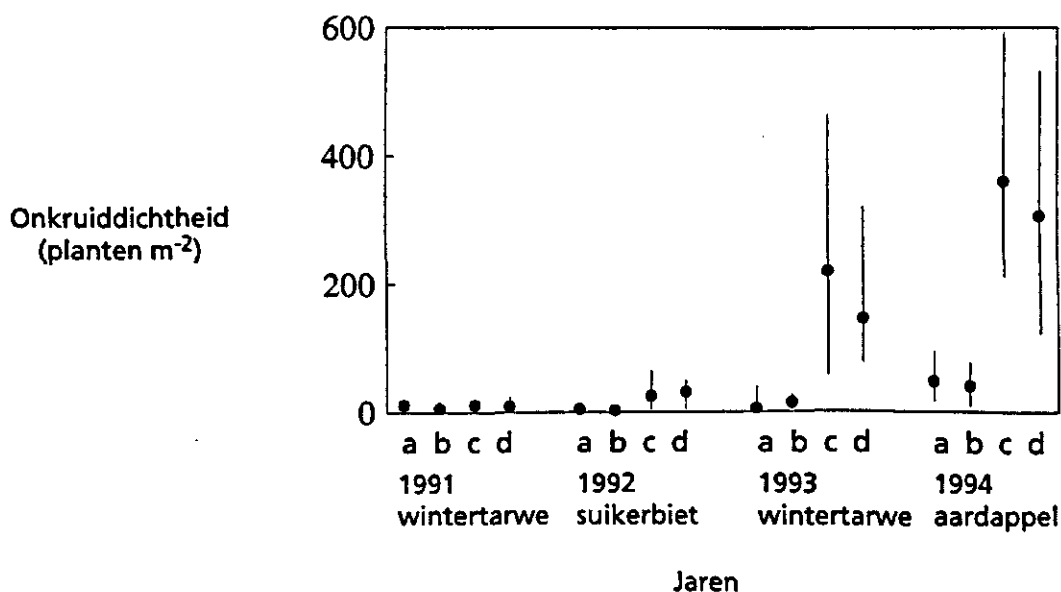


### 3. Veldproeven

#### 3.1. Meerjarige proef

Een meerjarige proef is uitgevoerd met het doel meer kwantitatief inzicht te verkrijgen in de populatiedynamica van onkruiden bij wel en niet bestrijden in wintertarwe. Een uitvoerig verslag van deze proef is te vinden in bijlage II. De proef is op vier locaties met verschillende grondsoort uitgevoerd, te weten Valthermond, Nagele, Randwijk en Wageningen. De proef liep van 1990 tot en met 1994, in deze periode zijn gewassen verbouwd volgens de vruchtwisseling wintertarwe - suikerbiet - wintertarwe - aardappel. De behandelingen in de proef waren 1) wel of niet bestrijden van onkruiden in wintertarwe, 2) 'gangbare' en 'gereduceerde' N-bemesting in wintertarwe (waarbij de gereduceerde bemesting 30 kg N/ha minder is dan gangbaar). Elke behandeling is uitgevoerd in 5 herhalingen. In de teelt van suikerbieten en aardappelen werd de onkruidbestrijding en bemesting volgens normale 'praktijk' normen toegepast. Voor elke onkruidbestrijdende teeltwerking werd het aantal onkruidplanten geteld. Daardoor kon het verloop in de dichtheid van de meest voorkomende onkruiden op de proefvelden werd gevolgd.

Een indruk hoe de waargenomen onkruidichtheden verliepen voor de verschillende behandelingen kan worden verkregen door de 'piekdichtheden' per jaar uit te zetten. Deze dichtheden werden waargenomen in het voorjaar, na het zaaien of poten, en voor de eerste onkruidbestrijding. In Figuur 1 zijn de piekdichtheden uitgezet voor de waarnemingen van kleeftkruud op de proefboerderij te Randwijk.



**Figuur 1** Piekdichtheden van kleeftkruud op proefboerderij te Randwijk. Aangegeven zijn gemiddelde, minimum en maximum per behandeling. De letters geven de behandelingen in wintertarwe aan: a: herbiciden, 'gereduceerde' N-gift; b: herbiciden, 'gangbare' N-gift; c: geen herbiciden, 'gereduceerde' N-gift; d: geen herbiciden, 'gangbare' N-gift.

In deze figuur is duidelijk te zien dat, zoals te verwachten was, het niet bestrijden van onkruid in wintertarwe leidde tot grote stijging van de onkruidichtheid. Bij wel bestrijden van onkruiden bleef de onkruidichtheid ongeveer gelijk. De relatieve verschillen tussen bemestingsbehandelingen zijn zeer klein tussen de begin- en de eindsituatie. Voor andere onkruidsoorten en andere proefboerderijen werden soortgelijke figuren verkregen (zie bijlage II).

In 1991 en in 1993 werd wintertarwe geteeld. De toename van dichtheden in 1993 ten opzichte van 1991, de vermeerderingsfactor, is geschat aan de hand van waarnemingen en weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Vermeerderingsfactoren over de periode voorjaar 1991- voorjaar 1993 (wintertarwe, suikerbiet en wintertarwe)

| Herbicide | Randwijk<br>kleefkruid | Randwijk<br>kamille | Nagele<br>vogelmuur | Wageningen<br>vogelmuur | Valthermond<br>vogelmuur |
|-----------|------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| Niet      | 17,8                   | 7,1                 | 43,5                | 2,0                     | 0,9                      |
| Wel       | 1,7                    | 1,4                 | 0,7                 | 0,8                     | 0,3                      |

De vermeerderingsfactor voor vogelmuur in Wageningen is onderschat doordat in 1993 de grond zeer nat was, waardoor zeer slechte omstandigheden voor kieming en vestiging ontstonden. De vermeerderingsfactoren zijn enigszins onbetrouwbaar indien ze gebaseerd zijn op zeer lage waargenomen dichtheden (zie bijlage II). Dit is het geval voor de behandelingen met herbiciden, en voor de waarnemingen op locatie Valthermond. Uit Tabel 2 volgt dat de vermeerderingsfactor van een soort (vogelmuur) geen constante waarde is, maar afhangt van de specifieke lokale omstandigheden.

De resultaten van de meerjarige proef zijn als volgt samen te vatten:

- onkruidichtheden stegen fors zonder bestrijding in tarwe;
- onkruidichtheden bleven ongeveer gelijk met bestrijding in tarwe;
- er was geen of weinig effect van de stikstofgift op onkruidichtheden.

### 3.2. Rassenproef

In de meerjarige proef werden verschillende wintertarwe-rassen geteeld op de verschillende locaties. Dit roept de vraag op of het raseffect grote verschillen in produktie van zaad door de onkruiden tussen de locaties kan bewerkstelligen. Meer specifiek: kan het raseffect gekwantificeerd worden, zodat het kan dienen bij analyse van de meerjarige proef en kan resulteren in een waarderingscijfer in de rassenlijst?

Een blik in de literatuur leert dat er voor granen wel belangrijke verschillen zijn in het effect van ras op onkruidgroei, maar met welke raskenmerken dit samenhangt is niet duidelijk (Moss, 1985; Niemann, 1992; Richards & Davies, 1992; Christensen, 1993; Verschwele, 1994).

In 1992 is in een rassenproef van het PAGV op de locaties Valthermond en Randwijk een experiment uitgevoerd, waarbij onkruiden (muur en kleefkruid) werden uitgezet in diverse wintertarwe-rassen. Van deze rassen werden de eigenschappen hoogte en bladoppervlak gemeten omdat deze belangrijk werden geacht in de literatuur. De resultaten toonden een aanzienlijk verschil in de bereikte grootte van de onkruiden, maar deze verschillen in grootte gaven geen duidelijk verband te zien met hoogte of bladoppervlak van de rassen (zie bijlage III). Er kunnen dus raseffecten zijn, maar deze proefresultaten en de literatuurgegevens bieden hier geen direct bruikbaar aanknopingspunt voor kwantificering en verder analyse.

### 3.3. Verdeling van onkruiden

In de meerjarige proef wordt de onkruidichtheid gevolgd in de tijd. Maar dichtheid varieert ook over de ruimte. In een poging om beter begrip te krijgen hoe deze ruimtelijke variatie ontstaat is een ruimtelijk populatiedynamisch model van onkruid gemaakt (bijlage IV). Dit model laat zien dat zelfs onder homogene omstandigheden onkruiden de neiging hebben pleksgewijs voor te komen, en dat de onkruidplekken zeer lange tijd op dezelfde plaats blijven. Om een indruk te krijgen hoe de verdeling van onkruid over de ruimte in de praktijk is, is de verdeling van kleeftkruidplantjes op een veld wintertarwe nabij Wageningen in kaart gebracht (zie bijlage V). De waarneming gaf aan dat, op kleine schaal bekeken, veel kleeftkruid op een relatief klein oppervlakte geaggregeerd is. Veel oppervlak is dus onkruidvrij. Dit biedt gelegenheid tot reductie van het herbicidegebruik door bij onkruidbestrijding onkruidvrije plaatsen over te slaan (zie bijvoorbeeld Mortensen et al., 1995). Een andere consequentie is dat, vanwege de zeer scheve frequentieverdeling van onkruidichtheid (zeer veel lage dichtheid, zeer weinig hoge dichtheid, zeer hoge maximale dichtheid), de schattingen van onkruidichtheid veel ruis bevatten. Dit heeft gevolgen voor interpretatie van de gegevens van de meerjarige veldproef: veel van de variatie in waarnemingen van onkruidichtheid op een tijdstip en in de loop van de tijd is te wijten aan variatie van onkruidichtheid over de ruimte.



## 4. Discussie

### 4.1. Rol in bouwplan

De veldproefgegevens kunnen getoetst worden aan de criteria voor onkruidbestrijding, die in hoofdstuk 2 gepresenteerd werden. Toepassing van het criterium waarbij alleen maar naar het lopend jaar wordt gekeken (schadedrempel-criterium) leert dat bestrijding alleen op de locatie Randwijk rendabel was. Toepassing van het criterium waarbij ook met toekomstige jaren rekening wordt gehouden (stabiliteits-criterium) leert dat bestrijding op alle locaties rendabel was: de onkruidichtheden die zijn waargenomen in 1991 en 1993 waren in alle gevallen ongeveer gelijk voor behandelingen met herbiciden, en vertoonden toename van dichtheid bij behandelingen zonder herbiciden.

Op soortgelijke wijze kan de rol van granen in het bouwplan worden vastgesteld. Uit de veldproef bleek dat bij toepassing van herbiciden in wintertarwe geen van de waargenomen onkruidichtheden toenam. Andere onkruidsoorten kwamen niet op in wintertarwe, maar waren wel in de zaadvoorraad aanwezig (zoals bijvoorbeeld melganzevoet). De onkruidichtheden van deze soorten bleven stabiel of namen af door natuurlijke sterfte van zaden. Dientengevolge kan worden geconcludeerd dat bij teelt van wintertarwe met toepassing van herbiciden de onkruidichtheden stabiel bleven of afnamen. De teelt heeft dan een 'sanerende' werking. Indien er minder bestreden wordt in wintertarwe, moet de afname in effectiviteit van onkruidbestrijding in wintertarwe elders in het bouwplan worden gecompenseerd. In veel gewassen is het bestrijden van de voornaamste onkruiden (meestal dicotylen) in het bouwplan niet eenvoudig, en zelfs moeilijker uit te voeren dan in granen.

### 4.2. Vermindering van herbicidegebruik

Het stabiliteitscriterium kan worden gebruikt voor analyse van mogelijkheden om herbicidegebruik te verminderen. Voor een gegeven methode om zo'n vermindering te bewerkstelligen, kunnen de limiterende factoren en processen bepaald worden. De reductie in herbicidegebruik wordt hierbij afgemeten aan het altijd toepassen van label-dosis herbicide, hetgeen niet noodzakelijk overeen stemt met hoeveelheden die in de praktijk gebruikt worden. Herbicidegebruik kan worden gereduceerd door middel van *bestrijdingsdrempels* (Cousens, 1987). Ervan uitgaande dat bij bestrijding de onkruidichtheid afneemt (hetgeen niet eenvoudig is, gezien de veldproefresultaten), wordt over lange termijn de dichtheid gehandhaafd als er na een jaar niet bestrijden (waarbij de dichtheid onder de drempel is) zoveel jaren wel besteden wordt (waarbij de dichtheid boven de drempel is), totdat ongeveer de originele dichtheid hervonden wordt (waarbij de dichtheid weer onder de drempel komt). De verhouding van jaren waarin wel en niet bestreden wordt geeft weer hoeveel herbiciden bespaard kunnen worden. Deze verhouding wordt bepaald door snelheid van toename van onkruidichtheid bij niet bestrijden, en snelheid van afname bij wel bestrijden. Met andere woorden, deze verhouding wordt bepaald door populatiedynamica en effectiviteit van bestrijding. En, zoals eerder gezegd, de herbicidebesparing hangt hierbij niet of nauwelijks af van de hoogte van de bestrijdingsdrempel. Herbiciden kunnen bespaard worden door herbiciden in *lagere dosering* toe te passen (Davies *et al.*, 1993). Van veel herbiciden is gebleken dat bij teruglopende dosis de effectiviteit maar heel langzaam (minder dan proportioneel) afneemt (zie bijv. Streibig, 1988). Het is echter

niet bekend welke respons (zoals percentage doding) nodig is. Uit het stabiliteits-criterium volgt dat de benodigde respons moet resulteren in een stabiele populatie over de jaren heen. Dat wil zeggen dat er per jaar evenveel zaden geproduceerd worden als er in dat jaar verdwenen zijn. De benodigde respons wordt dus afgeleid uit de populatiedynamica, en deze respons kan worden vertaald in toepasbare dosis met behulp van dosis-responscurven. Deze curve is op zijn beurt afhankelijk van ontwikkelingsstadium van de onkruiden en weersomstandigheden (Bouma & Wartena, 1994).

Bij de voorgaande methoden is uitgegaan van volveldsbehandeling met herbiciden. Aangezien onkruiden zelden over het gehele perceel zijn uitgesmeerd houdt dit in dat herbiciden terechtkomen op onkruidvrije stukken in het perceel. Dit kan worden voorkomen door voor oppervlakten kleiner dan een perceel de beslissing te nemen om te spuiten of niet. Dit is dus een vorm van *pleksgewijze bestrijding*, zoals die tegenwoordig valt onder de modieuze noemer *precision agriculture* (Mortensen et al., 1995). Naar mate de oppervlakten waarvoor beslissingen gemaakt worden kleiner worden, zijn minder herbiciden nodig. In het meest extreme geval zijn deze oppervlakten zo klein dat alleen nog gespoten wordt op het bladoppervlak van onkruid, en dit oppervlak beslaat hooguit enkele procenten van het totale perceel. De potentiële besparing is hier dus zeer groot. De reden waarom deze vorm van pleksgewijze bestrijding weinig wordt toegepast is de afwezigheid van een betaalbare techniek om dit snel en efficiënt uit te voeren. Limiterende factor is dus stand van de techniek. In tegenstelling tot populatiedynamica is dit geen intrinsieke beperking, er kan aan gesleuteld worden. Behalve de bovenstaande methode voor herbicidereductie, waarbij minder herbiciden gebruikt worden door er alleen maar minder toe te passen, kunnen herbiciden ook geheel of gedeeltelijk worden vervangen door andere bestrijdingsmethoden (mechanisch: Darwinkel et al., 1993; biologisch: Sharon et al., 1992, Kempenaar, 1995; door cultuurmaatregelen en bedrijfsopzet: Wijnands et al., 1992, Liebman & Dyck, 1993; gedeeltelijk door ras: Jordan, 1993). Ook kan door betere formulering en techniek van toediening het herbicidegebruik verminderen. Ook bij deze methoden moet natuurlijk aan de eis worden voldaan dat onkruid-dichtheid stabiel blijft.

Het bovenstaande kan worden samengevat in Tabel 3. Een benadering van kwantitatieve relaties staat in bijlage VI.

Tabel 3 Beperkende factoren en processen voor diverse methoden van herbicidebesparing

| Methode                  | Beperking maximaal resultaat door: |
|--------------------------|------------------------------------|
| schadedrempels           | populatiedynamica                  |
| lage dosering            | populatiedynamica / omstandigheden |
| pleksgewijze bestrijding | techniek                           |

### 4.3. Naar een toepassing

In het voorgaande zijn drie manieren gepresenteerd om tot reductie in herbicidegebruik te komen: bestrijdingsdrempels, aangepaste dosering, en pleksgewijze bestrijding. De laatste manier is een kwestie van ontwikkeling van bruikbare en betaalbare techniek, de eerste twee kunnen worden toegepast in beslissingsondersteunende systemen.

De methoden om in een beslissingsondersteunend systeem tot optimale adviezen te komen zijn onder te verdelen in (i) simulatiemodellen ingebed in een optimaliseringsschil (Swinton & King 1994) of (ii) advies van hoogte van bestrijdingsdrempel (Dekkers & Grunveld 1994) of (iii) advies van herbicidedosering (Rydahl 1993). Het gebruik van grote optimaliseringsmodellen vergt veel specifieke kennis, die er in veel gevallen niet is en waarschijnlijk ook niet beschikbaar zal komen. Advies van bestrijdingsdrempels is, gezien het voorgaande, voor beperking van herbicidegebruik niet zinvoller dan het advies om de populatie stabiel te houden op een lage dichtheid. Het opzetten van zo'n systeem is niet een aangewezen weg om herbicidegebruik op lange termijn te verminderen. Het advies van dosering is uitgewerkt door Rydahl (1993). Bij dit adviesstelsel wordt voor alle onkruiden aangenomen dat ze in een zelfde mate bestreden moeten worden. Dit bestrijdingspercentage is vastgesteld op 90 % (soms 70 %). Dit is een zeer grove generalisatie. Toepassing van stabiliteits-criterium in combinatie met elementaire kennis van de populatiedynamica van een onkruidsoort kan berekend (of benaderd) worden hoeveel dit bestrijdingspercentage is voor deze soort. Eventueel kan dit meer specifiek per locatie berekend worden. Een dergelijk gebruik van de hier beschreven criteria is een stap vooruit bij het afstemmen van herbicidegebruik op de werkelijk benodigde hoeveelheid.



## 5. Conclusies

Criterium voor beperking van herbicidegebruik op lange termijn is de handhaving van onkruid-dichtheid over de jaren heen op een laag niveau. Als er maar kort vooruit wordt gekeken is de na te streven dichtheid van onkruid ongeveer op het niveau van eenjarige schadedrempels. Als er meerdere jaren vooruit wordt gekeken ligt de streefdichtheid veel lager. Het herbicidegebruik wordt bepaald door de noodzaak populatiedichtheid te handhaven over de jaren heen, en niet door de nagestreefde dichtheid. De waargenomen onkruidichtheden in de veldproef bleven bij toepassing van herbiciden in wintertarwe ongeveer stabiel, en niet waargenomen onkruidichtheden moeten zijn afgenomen. Daarmee is voldaan aan het stabiliteitscriterium, zodat onkruidbestrijding in wintertarwe rendabel was over een langere termijn.

Methoden om herbiciden te verminderen zijn (binnen het huidige systeem) het gebruik van bestrijdingsdrempels, het toepassen van lagere doseringen, en pleksgewijze bestrijding. De eerste twee methoden zijn eenvoudig toe te passen. De hiermee maximaal te besparen hoeveelheden herbiciden wordt bepaald door populatiedynamische kenmerken van het onkruid, er zijn dus intrinsieke grenzen aan de hiermee te bereiken herbicidereductie. Pleksgewijze bestrijding is minder eenvoudig toe te passen, maar de herbicidebesparing wordt alleen door de stand van techniek beperkt, en daar valt aan te sleutelen.

Het stabiliteits-criterium kan worden gebruikt om de dosering van een herbicide te bepalen die resulteert in een stabiele onkruidichtheid. Deze opzet leent zich voor gebruik in een adviesstelsel.

# Dankwoord

**Dank is verschuldigd aan diegenen die mee hebben gewerkt aan dit project:**

*Medewerking bij het uitvoeren van de proeven werd verleend door mensen van:*

Proefboerderij de Bouwing,

Proefboerderij Droevendaal,

Proefboerderij de Eest,

Proefboerderij 't Kompas, en door Bas Holleboom, Piet de Man, Kirsten Semb,

André Uffing, Gepke Zanstra

*De leden van de begeleidingscommissie:*

ir. W.A. Dekkers, ir. D.A. Donner, dr. J.M. van Groenendaal, dr. ir. W.A.H. Rossing,

dhr. H. Torringa, ing. D. van der Wal, ir. L.A.J. van der Zweep;

*Projectleider in de periode 1991-1992, en later lid van de begeleidingscommissie:*

dr. ir. R.Y. van der Weide;

*De begeleiding en uitvoering werden verzorgd door:*

Bert Lotz, Roel Groeneveld.

# Literatuur

- Aarts, H.F.M. 1986.  
A computerized model for prediction of changes in a population of *Galium aparine*.  
In: Proceedings EWRS Symposium 1986 'Economic Weed Control', 277-284.
- Auld, B.A., Menz, K.M. & Tisdell, C.A., 1987.  
Weed Control Economics. Academic Press, London, 177 pp.
- Baandrup, M. & Ballegaard, M.T. 1990.  
Advisory computer system for weed control. In: Proceedings EWRS Symposium 'Integrated Weed Management in Cereals', Helsinki, 443-451.
- Benoit, D.L., Derksen, D.A., Panneton, B. 1992.  
Innovative approaches to seedbank studies. *Weed Science* 40: 660-669.
- Bertsekas, D.P. 1976.  
Dynamic Programming and Stochastic Control. Academic Press, New York, 397 pp.
- Bieleman, J. 1992.  
Geschiedenis van de Landbouw in Nederland 1500-1950: Veranderingen en Verscheidenheid. Boom, Meppel, 425 pp.
- Bouma, E. Wartena, L. 1994.  
De invloed van het weer op de toepassing van gewasbeschermingsmiddelen. PAGV, Lelystad, 119 pp.
- Christensen, S. 1993.  
Weed Suppression in Cereal Varieties. SP rapport nr. 1, Statens Planteavlfsforsøg, 104 pp.
- Cousens, R. 1987.  
Theory and reality of weed control thresholds. *Plant Protection Quarterly* 2, 13-21.
- Darwinkel, A., Timmer, R.D., Floot, H.W.G., Rops, A.H.J., Tramper, M., Wander, J.G.N, Wijholds, K., 1993.  
Onkruidbestrijding in granen. In: Themadag duurzame onkruidbestrijding.  
R.Y. van der Weide, P.M. Spoorenberg, H.K.J. Bosch. (Red.), PAGV, Lelystad, 39-46.
- Davies, D.H.K., Proven, M.J., Courtney, A.D., Lawson, H.M. 1993.  
Comparison of the use of weed control thresholds and routine herbicide use at reduced rate on the economics of cereal production in the rotation.  
In: Proceedings 8<sup>th</sup> EWRS symposium 'Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application'. Braunschweig, 747-754.
- Dekkers, W.A., Gruneveld, A. 1994.  
Inhoudelijke beschrijving van de teeltbegeleidingssystemen BETA, CERA en KOBAS. PAGV, Lelystad, 137 pp.
- Dessaint, F., Chadoeuf, R., Barralis, G. 1991.  
Spatial pattern analysis of weed seeds in the cultivated soil seed bank. *Journal of Applied Ecology* 28: 721-730.
- Gerowitt, B. 1990.  
Application of a decision model supporting weed control in cereals based on economic thresholds. In: Proceedings EWRS Symposium 1990 'Integrated weed management in cereals', Helsinki, 315-322.
- Hagemeister, H., Heitefuss, R. 1986.  
Einfluss einer unterschiedlich intensiven Unkrautbekämpfung in Getreide auf den Samenvorrat im Boden und die Verunkrautung in Folgekulturen. In: Proceedings EWRS Symposium 1986 'Economic Weed Control', 393-398.

Johnson, G.A. 1994.

Model parameterization, parametric sequential sampling and geostatistical analysis of weed seeding populations. Thesis, university of Nebraska, Lincoln, 193 pp..

Jordan, N. 1993.

Prospects for weed control through crop interference. *Ecological Applications* 3: 84-91.

Kempenaar, C. 1995.

Studies of biological control of *Chenopodium album* by *Ascochyta caulina*. Dissertatie Landbouwniversiteit Wageningen, 126 pp.

Liebman, M., Dyck, E. 1993.

Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications* 3: 92-122.

Lintell Smith, G, Watkinson, A.R. & Firbank, L.G. 1991.

The effects of reduced nitrogen and weed-weed competition on the populations of three common cereal weeds. In: Brighton Crop Protection Conference - Weeds, 135-140.

Lotz, L.A.P., Kropff, M.J., Groeneveld, R.M.W. 1990.

Modelling weed competition and yield losses to study the effect of omission of herbicides in winter wheat. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38: 711-718.

Marshall, E.J.P. 1988.

Field-scale estimates of grass weed populations in arable land. *Weed Research* 28: 191-198.

Mortensen, D.A., Martin, A.R., Harvill, T.F., Bauer, T.A. 1993.

The influence of rotational diversity on economic optimum thresholds in soybean.

In: Proceedings 8th EWRS symposium 'Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application', Braunschweig, 815-823.

Mortensen, D.A., Johnson, G.A., Wyse, D.Y., Martin, A.R. 1995.

Managing spatially variable weed populations. In: Robert, P.C. & Hurst, R.H. (eds.) *Site Specific Crop Management*. Agronomy Society of America, Madison.

Moss, S.R. 1985.

The influence of crop variety and seed rate on *Alopecurus myosuroides* competition in winter cereals. In: British Crop Protection Conference - Weeds, 701-708.

Moss, S.R. 1990.

The seed cycle of *Alopecurus myosuroides* in winter cereals: a quantitative analysis.

In: Proceedings EWRS symposium 'Integrated Weed Management in Cereals', Helsinki, 27-35.

Niemann, P. 1992.

Unkrautunterdrückendes Potential von Wintergerstensorten. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh.* XIII, 149-159.

Pandey, S., Medd, R.W. 1991.

A stochastic dynamic programming framework for weed control decision making: an application to *Avena fatua* L. *Agricultural Economics* 6: 115-128.

Richards, M.C., Davies, D.H.K. 1991.

Potential for reducing herbicide inputs/rates with more competitive cereal cultivars.

In: Brighton Crop Protection Conference - Weeds, 1233-1240.

Rossing, W.A.H. 1993.

On Damage, Uncertainty and Risk in Supervised Control: Aphids and Brown Rust in Winter Wheat as an Example. Dissertatie, Landbouwniversiteit Wageningen, Wageningen, 202 pp.

Rydahl, P. 1993.

P.C. Plant Protection - optimizing weed control. S.P. Report 7, Danish Inst. Plant and Soil Science: 81-87.

- Selman, M. 1970.  
The population dynamics of *Avena fatua* (wild oats) in continuous spring barley - desirable frequency of spraying with tri-allate. In: Proceedings of the 10th British Weed Control Conference, 1176 - 1188.
- Sharon, A., Amsellem, Z., Gressel, J., 1992.  
Glyphosate suppression of an elicited defense response. Increased susceptibility of *Cassia obtusifolia* to a mycoherbicide. *Plant Physiology* 98: 654-659.
- Streibig, J.C. 1988.  
Herbicide bioassay. *Weed Research* 28: 479-484.
- Swinton, S.M., King, R.P. 1994.  
A bioeconomic model for weed management in corn and soybean. *Agricultural Systems* 44: 313-335.
- Taylor, C.R., Burt, O.R. 1984.  
Near-optimal management strategies for controlling wild oats in spring wheat. *American Journal of Agricultural Economics* 66: 50-60.
- Verschwele, A. 1994.  
Sortenspezifische Kulturkonkurrenz bei Winterweizen als begrenzender Faktor für das Unkrautwachstum. Dissertatie, Georg-August-Universität Göttingen, 121 pp.
- Wahmhoff, W. 1990.  
The use of economic thresholds over a three year period in cereal crop rotations and the effects on weed infestations two years later. In: Proceedings EWRS Symposium 1990 'Integrated Weed Management in Cereals', 323-330.
- Wallinga, J., Weide, R.Y. van der, Lotz, L.A.P., Groeneveld, R.M.W., 1993.  
Weed population dynamics in a rotation of potato, winter wheat, sugar beet and winter wheat as influenced by control in winter wheat. In: Proceedings 8th EWRS Symposium 'Quantitative approaches and herbicide research and their practical application', Braunschweig, 609-614.
- Wallinga, J. 1995a.  
A closer look at the spatial distribution of weeds - perspectives for patch spraying. In: Proceedings 9th EWRS Symposium 'Weed Science in a changing Europe', Budapest, 647-653.
- Wallinga, J. 1995b.  
ingezonden naar Oikos. The role of space in plant population dynamics: annual weeds as an example.
- Wallinga, J.  
in voorbereiding a.
- Wallinga, J.  
in voorbereiding b.
- Wijnands, F.G., Janssens, S.R.M., Asperen van, P., Bon van, K.B. 1992.  
Innovatiebedrijven Geïntegreerde Akkerbouw: Opzet en Eerste Resultaten. PAGV, Lelystad, 88 pp.
- Wilson, B.J., Brain, P. 1990.  
Weed monitoring on a whole farm - patchiness and the stability of distribution of *Alopecurus myosuroides* over a ten year period. In: Proceedings EWRS Symposium 'Integrated Weed management in Cereals' Helsinki, 45-51.
- Wilson, B.J., Froud Williams, R.J. 1988.  
The effect of tillage on the population dynamics of *Galium aparine* (L.) (cleavers). In: Villeme Colloque International sur la Biologie, l'Ecologie et la Systematique des Mauvaises Herbes, 81-90.

Wilson, B.J., Moss, S.R., Wright, K.J. 1989.

Long term studies of weed populations in winter wheat as affected by straw disposal, tillage and herbicide use. In: Brighton Crop Protection Conference - Weeds, 131-136.

Wilson, B.J., Wright, K.J. 1991.

Effects of cultivation and seed shedding in the population dynamics of *Galium aparine* in winter wheat crops. In: Brighton Crop Protection Conference - Weeds, 813-820.

Zadoks, J.C. 1985.

On the conceptual basis of crop loss assessment: the threshold theory. Annual Review of Phytopathology 23: 455-473.

Zwerger, P., Hurle, K., Kemmer, A. 1990.

Untersuchungen zum Einfluss von Fruchtfolge und Anbauintensität auf die Entwicklung des Unkrautsamengehaltes im Boden. In: Proceedings EWRS Symposium 1990, 'Integrated Weed Management in Cereals', 127-134.

## Publikaties

Van der Weide, R.Y., Lotz, L.A.P. & Groeneveld, R.M.W. 1992.

Ontwikkeling van criteria voor beperking van het herbicidegebruik in granen.

In: Onderzoek 1991. Stichting Interprovinciaal Onderzoekcentrum voor de akkerbouw op zand- en veenkoloniale grond in Middenoost- en Noordoost-Nederland.

Van der Weide, R.Y. & Wallinga J. 1993.

Beheersing gevraagd. Bij bestrijding van kleeftkruid hoeft graanteler niet altijd tot het uiterste te gaan. Boerderij/Akkerbouw 78:18-AK.

Wallinga, J., van der Weide, R.Y., Lotz, L.A.P. & Groeneveld, R.M.W. 1993.

Weed population dynamics in a rotation of potato, winter wheat, sugar beet and winter wheat as influenced by control in winter wheat. 8th EWRS Symposium "Quantitative approaches and herbicide research and their practical application", Braunschweig, 609-614.

Wallinga, J., Lotz, L.A.P. & Groeneveld, R.M.W. 1993.

Ontwikkeling van criteria voor beperking van het herbicidegebruik in granen.

In: Onderzoek 1992. Stichting Interprovinciaal Onderzoekcentrum voor de akkerbouw op zand- en veenkoloniale grond in Middenoost- en Noordoost-Nederland.

Wallinga, J., Lotz, L.A.P. & Groeneveld, R.M.W. 1994.

Ontwikkeling van criteria voor beperking van het herbicidegebruik in granen.

In: Onderzoek 1993. Stichting Interprovinciaal Onderzoekcentrum voor de akkerbouw op zand- en veenkoloniale grond in Middenoost- en Noordoost-Nederland, 113-114.

Lotz, L.A.P. & Wallinga, J. 1994.

Schade door concurrentie van onkruiden binnen en over groeiseizoenen.

Gewasbescherming 25: 163-167.

Lotz, L.A.P., Kropff, M.J., Wallinga, J., Bos, H.J. & Groeneveld, R.M.W. 1994.

Techniques to estimate relative leaf area and cover of weeds in crops for yield loss prediction. Weed Research 24: 167-175.

Lotz, L.A.P., Wallinga, J. & Kropff, M.J. 1995.

Crop-Weed interactions: Quantification and Prediction. In: Glen, D.M., Greaves, M.P. & Anderson, H.M. (eds.) Ecology and Integrated Farming Systems. Proceedings of the 13th Long Ashton International Symposium, 31-47.

Wallinga, J. 1995a.

A closer look at the spatial distribution of weeds - perspectives for patch spraying.

9th EWRS Symposium "Weed Science in a Changing Europe", Budapest, 647-653.

Wallinga, J. 1995b.

The role of space in plant population dynamics: annual weeds as an example. Ingezonden naar Oikos.

Wallinga, J.

in voorbereiding a. Long-term aspects of applying weed control thresholds.

Wallinga, J.

in voorbereiding b. Long-term control of weeds: the factors that make up the required herbicide use.

## Bijlage I:

# Over optimale aanwending van herbiciden bezien over langere termijn: schadedrempels en stabiele populaties

### Doel

Het leggen van een conceptuele, theoretische grondslag voor optimale onkruidbestrijding waaruit criteria afgeleid kunnen worden.

### Vraagstelling

Hoe hangen bestrijdingsdrempel en streefdichtheid, en het bijbehorend herbicidegebruik af van de planning-horizon (hoeveel jaar je vooruitkijkt)?

### Relatieve groeisnelheid is onafhankelijk van dichtheid

Het aantal zaden dat gemiddeld per onkruidplant wordt geproduceerd hangt bij voor de praktijk relevante dichtheden niet of nauwelijks af van de dichtheid aan onkruid. Dit blijkt uit veldproeven van o.a. Selman (1970), Wilson en Froud-Williams (1988) en Moss (1990). Een afname van het aantal geproduceerde zaden per plant wordt pas gevonden bij dichtheden die zo hoog zijn dat bestrijding al binnen een jaar rendabel is. In de volgende afleiding wordt verondersteld dat onkruidichtheid lager is dan deze waarden, en dat het effect van onkruidichtheid op het aantal geproduceerde zaden per plant te verwaarlozen is.

### Optimale onkruidbestrijding

Het concept kan wellicht het best worden begrepen door middel van een voorbeeld.

Een (fictieve) onkruidsoort komt voor op een veld in een dichtheid van 4 onkruiden per  $m^2$ .

De eenjarige schadedrempel is 5 onkruiden per  $m^2$ . Als het onkruid niet bestreden wordt, neemt de dichtheid in het volgende jaar toe met een factor 2. Als het onkruid wel bestreden wordt, neemt de dichtheid in het volgende jaar af met een factor 0.5. De boer kan of wel of niet bestrijden. Er kunnen voor de komende 10 jaar dan talloze combinaties van jaren wel en jaren niet bestrijden bedacht worden (om precies te zijn, 512 variaties). De dichtheden die resulteren uit deze variaties, en de hoogte van de eenjarige schadedrempel zijn weergegeven in Fig. I-1 (let op de logaritmische as).

Als een boer elk jaar maar alleen één jaar vooruitkijkt is bestrijding alleen zinvol als kosten van bestrijding kleiner zijn dan de verwachte opbrengstderving bij niet bestrijden, dat wil zeggen toepassing van de eenjarige schadedrempel geeft de beste uitkomst. Als deze afweging (dus met een planning-horizon van één jaar) elk jaar wordt gemaakt, wordt in loop van 10 jaar het in Fig. I-2 aangegeven traject doorlopen.

Als een boer de kosten en baten van bestrijding over de komende twee jaar beoordeelt, zal de beslissing vaak anders uitpakken. De gevolgde strategie bij één jaar vooruitkijken was in het eerste jaar niet bestrijden, in het tweede jaar wel bestrijden. Als deze volgorde wordt

omgedraaid, dat wil zeggen het eerste jaar wel en het tweede jaar niet bestrijden, is de uitkomst gunstiger over twee jaar bezien: de bestrijdingskosten zijn gelijk, en in het jaar waarin niet wordt bestreden is de onkruidichtheid en daarmee ook de schade lager. Als dergelijke afwegingen (dus met planning-horizon van twee jaar) elk jaar worden gemaakt, wordt in de loop van 10 jaar het in Fig. 1-3 aangegeven traject doorlopen. Een soortgelijk verhaal gaat op bij vier jaar vooruitzien: resulteerde de tweejarige strategie nog wel-niet-wel-niet bestrijden, over vier jaar leidt wel-wel-niet-niet bestrijden tot een beter resultaat (Fig. 1-4).

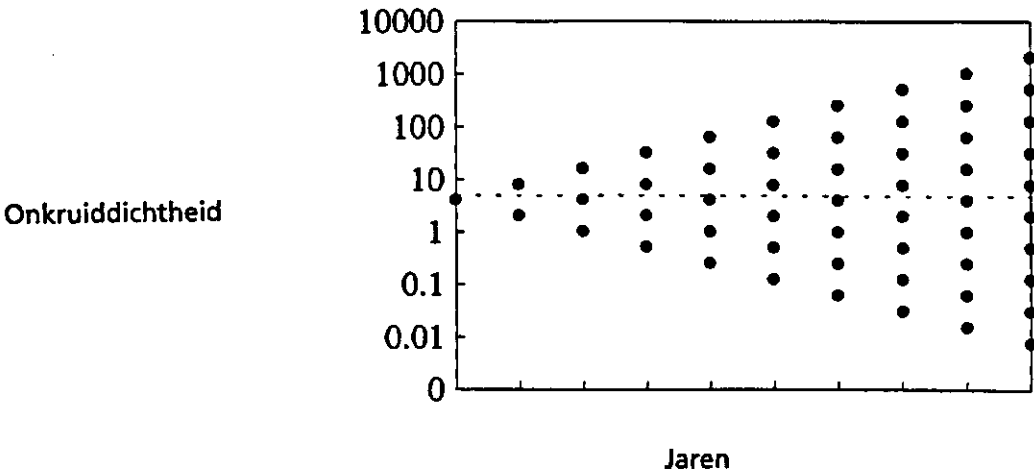
In deze figuur is duidelijk te zien dat deze strategieën resulteren in dichtheden die rond een bepaalde waarde voor onkruidichtheid schommelen; er wordt een mate van stabiliteit bereikt. Het optreden van deze stabiliteit als gevolg van optimale beslissingen vormt een eerste conclusie. En deze conclusie sluit aan bij wat al bekend is uit optimaliserings- en controle-theorie (bijv. Bertsekas 1976), waarbij steady-states of stationariteit kunnen resulteren uit het herhaaldelijk toepassen van optimale beslissingschema's.

De waarden waaromheen de trajecten van de tweejarige en vierjarige strategieën schommelen, kunnen geïdentificeerd worden als bestrijdingsdrempels, waarboven wel en waarbeneden niet bestreden wordt. Duidelijk is dan te zien dat verruiming van de planning-horizon van één naar twee naar vier jaar leidt tot lagere bestrijdingsdrempels. En dit is een tweede conclusie. Een derde conclusie is dat, als de initiële effecten (hier de eerste twee jaar) niet worden meegerekend, de frequentie van bestrijden over de jaren niet afhangt van de hoogte van de bestrijdingsdrempel, en dus niet afhangt van de planning-horizon. In alle gevallen bedraagt de frequentie hier 5 jaren bestrijden in 10 jaar tijd (in niet alle gevallen komt het rekenwerk zo mooi op gehele getallen uit als in dit voorbeeld, zie Wallinga in voorbereiding a).

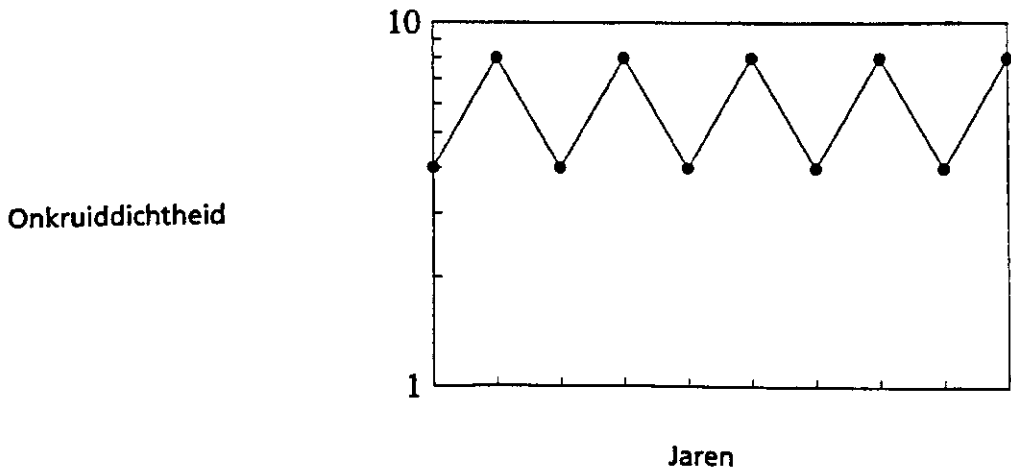
Natuurlijk is het enigszins arbitrair om alleen de keuze te laten tussen wel en niet bestrijden. Ook gedeeltelijke bestrijding (dat wil zeggen gereduceerde dosis) behoort tot de mogelijkheden. Er is nu geen noodzaak meer voor zigzaggende trajecten zoals in Fig. 1-4, er kan een constante dichtheid aangehouden worden. De constante dichtheid is het equivalent van de bestrijdingsdrempel, en deze dichtheid wordt hier de streefdichtheid genoemd. Net zoals bestrijdingsdrempels lager komen liggen bij vergrote planning-horizon, liggen de streefdichtheden lager bij vergrote planningshorizon.

### **Slotopmerking**

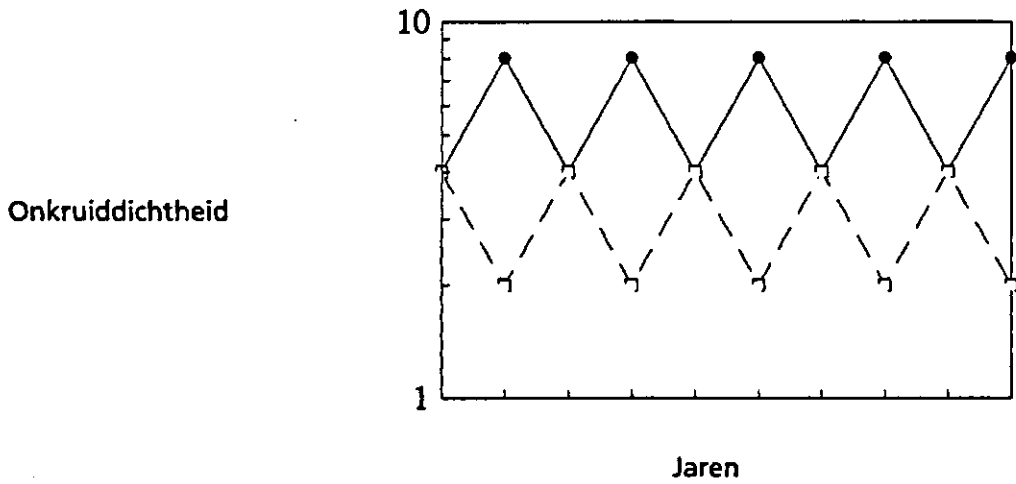
Het hier gegeven voorbeeld laat duidelijk zien dat het herbicidegebruik niet afhangt van de hoogte van de bestrijdingsdrempel of streefdichtheid. Het herbicidegebruik hangt wel af van de bestrijding die nodig is om de populatie stabiel te houden; herbicidegebruik hangt dus over langere termijn samen met een 'stabiliteits-criterium'. Dit houdt niet in dat gebruik van bestrijdingsdrempels op zichzelf zinloos is; zinloos is het bepalen en nastreven van een bepaalde 'correcte' bestrijdingsdrempel met als doel het herbicidegebruik te minimaliseren.



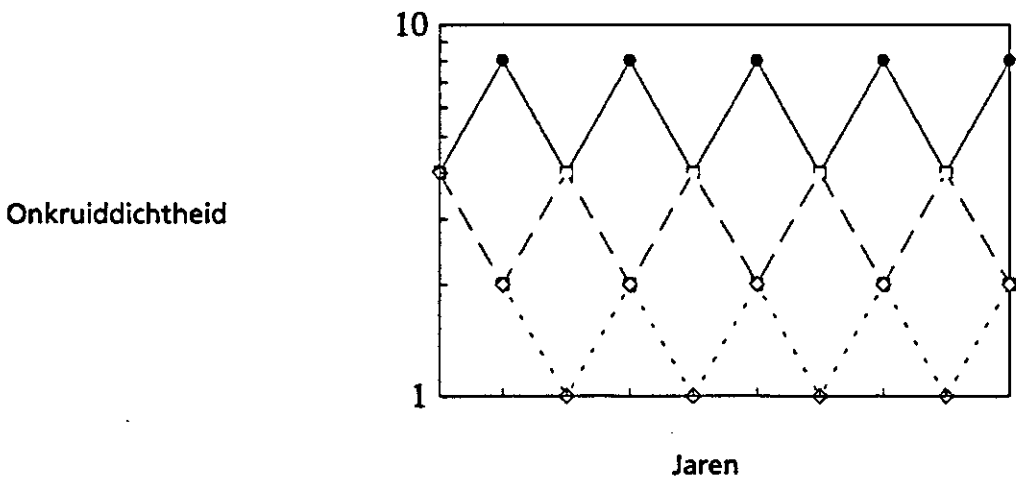
**Figuur I-1** Mogelijke dichtheden die in dit voorbeeld in de loop van 10 jaar bereikt kunnen worden. De stippellijn geeft de eenjarige schadedrempel weer.



**Figuur I-2** Dichtheden die in dit voorbeeld bereikt worden bij het nemen van optimale beslissingen om of wel of niet te bestrijden waarbij maar één jaar wordt vooruitgekeken (getrokken lijn)



**Figuur I-3** Dichtheden die in dit voorbeeld bereikt worden bij het nemen van optimale beslissingen om of wel of niet te bestrijden waarbij twee jaar wordt vooruitgekeken (onderbroken lijn)



**Figuur I-4** Dichtheden die in dit voorbeeld bereikt worden bij het nemen van optimale beslissingen om of wel of niet te bestrijden waarbij vier jaar wordt vooruitgekeken (stippellijn)

## Bijlage II

### Resultaten van de meerjarige proef

#### Doel

Het vaststellen van verloop in grootte van onkruidpopulaties onder veldomstandigheden over meerdere jaren in een rotatie.

#### Vraagstelling

Wat is de toename in populatiedichtheid bij wel of niet gebruik van herbiciden en bij verschillende niveaus van stikstofbemesting?

#### Proefopzet

De meerjarige proef bestaat uit een gewasrotatie wintertarwe - suikerbiet - wintertarwe - aardappel. De proef werd gestart in 1990, toen wintertarwe werd gezaaid met aardappel als voorvrucht. In de wintertarwe (in jaren 1991 en 1993) werden verschillende teeltmaatregelen aangelegd. Deze bestonden uit (i) een gedeelde stikstofgift volgens 'gangbaar' gebruik of de stikstofgift werd met 30 kg N verminderd ('geïntegreerd') en (ii) behandeling met herbiciden, of achterwege laten van onkruidbestrijding. In de gewassen suikerbiet en aardappel werden teeltmaatregelen voor elk proefveld conform de praktische overweging van het proefbedrijf uitgevoerd (zie Tabel II-1)

Tabel II-1 Gewasrotatie in meerjarige proef en behandelingen in deze rotatie aangelegd

| Voorvrucht | Aardappel   | 'Praktijk'                                                  |
|------------|-------------|-------------------------------------------------------------|
| 1991       | wintertarwe | wel/geen onkruidbestrijding,<br>wel/geen verminderde N-gift |
| 1992       | suikerbiet  | 'praktijk'                                                  |
| 1993       | wintertarwe | wel/geen onkruidbestrijding,<br>wel/geen verminderde N-gift |
| 1994       | aardappel   | 'praktijk'                                                  |

De proef werd uitgevoerd op 4 proefboerderijen: proefboerderij 'de Eest' te Nagele (lichte zavel), proefboerderij 't Kompas' te Valthermond (dalgrond), proefboerderij 'Droevendaal' te Wageningen (zandgrond), proefboerderij 'de Bouwing' te Randwijk (rivierklei).

De proef is op elke boerderij uitgevoerd als gewarde blokkenproef, met 5 blokken. De afmetingen van het proefveld en de experimentele eenheden (veldjes) verschilden voor de proefboerderijen. Op Valthermond en Wageningen was het proefveld 39 x 100 m en een veldje was 18 x 10 m; op Nagele was het proefveld 45 m x 100 m en een veldje was 21 m x 10 m; op Randwijk was het proefveld 33 m x 61 m en een veldje was 18 m x 6,1 m of 12 m x 6,1 m. De relevante gegevens over de teelt en waarnemingen zijn vermeld in Tabel II-2 t/m 9.

**Tabel II-2** Teeltgegevens voor de meerjarige proef op proefboerderij 'De Bouwing' te Randwijk.  
De afkorting BOGT staat voor de combinatie van onkruidbestrijdingsmiddelen  
ethofumesaat + fenmedifam + metamitron + minerale olie.

| Gewas       | Gegeven            | Datum                 |
|-------------|--------------------|-----------------------|
| Wintertarwe | ras                | Ritmo                 |
|             | zaaidatum          | 22-10-1990            |
|             | bemesting          | 55 of 30 kg N         |
|             |                    | 65 kg N               |
|             |                    | 40 kg N               |
|             | onkruidbestrijding | fluroxypyr + bentazon |
|             | oogstdatum         | 16-08-1991            |
|             | ploegdatum         | 22-10-1991            |
|             | zaaidatum          | 14-04-1992            |
|             | onkruidbestrijding | goltix                |
| Suikerbiet  |                    | BOGT + di-allaat      |
|             |                    | BOGT + di-allaat      |
|             |                    | BOGT                  |
|             | oogstdatum         | 22-10-1992            |
|             | ploegdatum         | 22-10-1992            |
|             | ras                | Estica                |
|             | zaaidatum          | 22-10 1992            |
|             | bemesting          | 95 of 70 kg N         |
|             |                    | 55 kg N               |
|             |                    | 55 kg N               |
| Wintertarwe | onkruidbestrijding | fluroxypyr + bentazon |
|             | oogstdatum         | 18-08-1993            |
|             | ploegdatum         | 05-11-1993            |
|             | pootdatum          | 26-04-1994            |
|             | onkruidbestrijding | aanfrezen             |
|             |                    | metribuzin + bentazon |
|             |                    | + minerale olie       |
|             | oogstdatum         | 30-06-1994            |
|             |                    | 30-09-1994            |
|             |                    |                       |
| Aardappels  |                    |                       |
|             |                    |                       |

Tabel II-3    Teeltgegevens voor de meerjarige proef op proefboerderij 'Droevendaal' te Wageningen

| Gewas       | Gegeven            | Datum                     |
|-------------|--------------------|---------------------------|
| Wintertarwe | ras                | Pagode                    |
|             | zaaidatum          | 25-10-1990                |
|             | bemesting          | 108 of 67.5 kg N          |
|             |                    | 54 kg N                   |
|             |                    | 27 kg N                   |
|             | onkruidbestrijding | fluroxypyr                |
|             | oogstdatum         | 22-08-1991                |
|             | ploegdatum         | 15-01-1992                |
|             | zaaidatum          | 24-04-1992                |
|             | onkruidbestrijding | BOGT                      |
| Suikerbiet  |                    | fenmedifam + ethofumesaat |
|             |                    | 10-06-1992                |
|             | oogstdatum         | 28-10-1992                |
|             | ploegdatum         | 06-11-1992                |
| Wintertarwe | ras                | Estica                    |
|             | zaaidatum          | 09-11-1992                |
|             | bemesting          | 90 of 60 kg N             |
|             |                    | 54 kg N                   |
|             |                    | 27 kg N                   |
|             | onkruidbestrijding | fluroxypyr                |
|             | oogstdatum         | 21-04-1993                |
|             | ploegdatum         | 06-08-1993                |
| Aardappels  | pootdatum          | 20-04-1994                |
|             | onkruidbestrijding | 28-04-1994                |
|             |                    | aanfrezen                 |
|             |                    | metobromuron              |
|             | oogstdatum         | 05-05-1994                |
|             |                    | 09-05-1994                |
|             |                    | 11-10-1994                |

Tabel II-4 Teeltgegevens voor de meerjarige proef op proefboerderij 'de Eest' te Nagele

| Gewas       | Gegeven            | Datum               |
|-------------|--------------------|---------------------|
| Wintertarwe | ras                | Arminda             |
|             | zaaidatum          | 12-10-1990          |
|             | bemesting          | 30 of 0 kg N        |
|             |                    | 55 kg N             |
|             |                    | 37 kg N             |
|             | onkruidbestrijding | mecoprop + 2,4 D    |
|             |                    | fluroxypyr          |
|             | oogstdatum         | 15-08-1991          |
|             | ploegdatum         | 22-10-1991          |
| Suikerbiet  | zaaidatum          | ±8-04-1992          |
|             | onkruidbestrijding | BOGT                |
|             |                    | BOGT                |
|             |                    | schoffelen          |
|             |                    | schoffelen          |
|             | oogstdatum         | 16-09-1992          |
|             | ploegdatum         | ±30-10-1992         |
| Wintertarwe | ras                | Arminda             |
|             | zaaidatum          | 04-11-1992          |
|             | bemesting          | 70 of 40 kg N       |
|             |                    | 60 kg N             |
|             |                    | 50 kg N             |
|             | onkruidbestrijding | fluroxypyr + MCPA   |
|             | oogstdatum         | 14-08-1993          |
|             | ploegdatum         | ±20-10-1993         |
| Aardappels  | pootdatum          | 22-04-1994          |
|             | onkruidbestrijding | aclonifen + linuron |
|             | oogstdatum         | 29-07-1994          |

Tabel II-5 Teeltgegevens voor de meerjarige proef op proefboerderij, 't Kompas' te Valthermond

| Gewas       | Gegeven            | Datum                  |
|-------------|--------------------|------------------------|
| Wintertarwe | ras                | Pagode                 |
|             | zaaidatum          | 31-10-1990             |
|             | bemesting          | 100 of 70 kg N         |
|             |                    | 55 kg N                |
|             | onkruidbestrijding | fluroxypyr + bentazon  |
|             | oogstdatum         | 24-04-1991             |
| Suikerbiet  | oogstdatum         | 20-08-1991             |
|             | ploegdatum         | 01-10-1991             |
|             | zaaidatum          | 21-04-1992             |
|             | onkruidbestrijding | BOGT                   |
|             |                    | BOGT                   |
|             |                    | BOGT                   |
| Wintertarwe |                    | BOGT                   |
|             |                    | schoffelen             |
|             |                    | aanaarden              |
|             | oogstdatum         | 11-06-1992             |
|             | grondbewerking     | 18-06-1992             |
|             | ras                | 01-10-1992             |
| Aardappels  | zaaidatum          | 28-10-1992             |
|             | bemesting          | 110 of 80 kg N         |
|             |                    | 60 kg N                |
|             | onkruidbestrijding | dinoterb + isoproturon |
|             | oogstdatum         | 12-04-1993             |
|             | grondbewerking     | 19-08-1993             |
| Aardappels  |                    | stoppelploeg           |
|             |                    | vaste tand cultivator  |
|             | pootdatum          | 02-09-1993             |
|             | onkruidbestrijding | 28-04-1994             |
|             |                    | monolinuron + paraquat |
|             |                    | schoffelen             |
| Aardappels  |                    | aanaarden              |
|             |                    | 12-06-1994             |
|             |                    | 22-06-1994             |
| Aardappels  | oogstdatum         | 06-10-1994             |

Tabel II-6 Datums van de waarnemingen van onkruidichtheid voor de meerjarige proef op 'De Bouwing' te Randwijk

|             |            |
|-------------|------------|
| Wintertarwe | 13-03-1991 |
| Suikerbiet  | 14-05-1992 |
| Wintertarwe | 23-03-1993 |
| Aardappel   | 16-05-1994 |

Tabel II-7 Datums van de waarnemingen van onkruidichtheid voor de meerjarige proef op 'Droevendaal' te Wageningen

|             |            |
|-------------|------------|
| Wintertarwe | 20-03-1991 |
| Suikerbiet  | 13-05-1992 |
| Wintertarwe | 25-03-1993 |
| Aardappel   | 11-05-1994 |

Tabel II-8 Datums van de waarnemingen van onkruidichtheid voor de meerjarige proef op 'De Eest' te Nagele.

|             |            |
|-------------|------------|
| Wintertarwe | 21-03-1991 |
| Suikerbiet  | 07-05-1992 |
| Wintertarwe | 22-03-1993 |
| Aardappel   | 10-05-1994 |

Tabel II-9 Datums van de waarnemingen van onkruidichtheid voor de meerjarige proef op 't Kompas' te Valthermond

|             |            |
|-------------|------------|
| Wintertarwe | 08-03-1991 |
| Suikerbiet  | 15-05-1992 |
| Wintertarwe | 24-03-1993 |
| Aardappel   | 11-05-1994 |

## Methodologie

### *Dichtheid onkruiden*

Voor het schatten van de dichtheid van onkruiden in een veldje is van een klein oppervlak het aantal onkruiden geteld. Het oppervlak dat hierbij werd gebruikt was in 1991 in wintertarwe 3 m<sup>2</sup> per veld, in 1992 in suikerbiet 1,25 m<sup>2</sup> per veld, in 1993 in wintertarwe 2 m<sup>2</sup> per veld, in 1994 in aardappel 0,25 m<sup>2</sup> per veld. De variërende grootten van de oppervlaktes waarop onkruiden werden geteld, zijn afgestemd op de tijd benodigd voor het tellen van de onkruiden.

### *Dichtheid zaden op bodem*

In 1991 zijn na de oogst en verwijdering van stro met een stofzuiger monsters van het bodemoppervlak opgezogen. Per veld werden 5 vlakjes van 0,25 m x 0,25 m verspreid over het veld bemonsterd. De monsters werden na droging gezeefd (met een zaadschoningsmachine) en na toevoeging van water gezeefd (nat-zeef methode) en zo gescheiden in verschillende fracties. Van de fracties werd het aantal onkruidzaden vastgesteld, en teruggerekend tot aantal zaden per m<sup>2</sup> op het bodemoppervlak.

In 1992 zijn na de oogst en verwijdering van stro met een plamuurmes monsters van het bodemoppervlak afgeschraapt. Opzuigen van monsters was onmogelijk vanwege de vochtigheid van de grond. Per veld werden 5 vlakjes van 0,25 m x 0,25 m verspreid in het veld afgeschraapt. Deze monsters werden na droging gezeefd met een zaadschoningsmachine en na toevoeging van water gezeefd met een wortelspoelmachine en zo gescheiden in verschillende fracties. Van de fracties is aantal onkruidzaden vastgesteld, hetgeen weer is teruggerekend tot aantal zaden per m<sup>2</sup> op bodemoppervlak.

### *Opbrengst wintertarwe*

Van elk proefveldje werd 1 m<sup>2</sup> apart geoogst en gedorst. Van de korrelopbrengst werd het drooggewicht bepaald. Deze opbrengst is genomen als schatting van de opbrengst van het gehele veldje.

## **Resultaat**

Het verloop in dichtheid van onkruidplanten van jaar tot jaar is weergegeven in Fig. II-1, waarbij voor elk jaar de piekdichtheden zijn uitgezet; in de figuur zijn per behandeling de laagste, de gemiddelde en de hoogste dichtheid aangegeven. Doordat de omstandigheden van jaar tot jaar verschillen en niet bij elk gewas dezelfde fractie van de zaadvoorraad kiemt, zijn directe vergelijkingen tussen de jaren niet zomaar te maken. Voor elk jaar afzonderlijk is te zien dat er duidelijk verschillen ontstaan tussen de behandelingen. Het enige op redelijkerwijs te maken vergelijk tussen jaren, is dat tussen de jaren waarin hetzelfde gewas geteeld werd, dit is dus hier het geval voor wintertarwe in 1991 en in 1993. De relatie in onkruid dichtheid van elk veldje afzonderlijk over deze jaren is uitgezet in Fig. II-2, waarbij elk veldje afzonderlijk is weergegeven. Uit deze figuren kan ook de toename factor van onkruid worden geschat onder invloed van de behandeling.

Binnen een jaar waarin wintertarwe geteeld werd, kan een relatie worden gelegd tussen de onkruid dichtheid en de hoeveelheid onkruidzaad die achterbleef op de bodem (Fig. II-3). Om een indruk te krijgen waar al dat zaad blijft, is in het eerste jaar geschat hoeveel zaad er geproduceerd is, hoeveel is afgevoerd met stro, met graan en hoeveel terugviel op de bodem. De resultaten zijn weergegeven in Fig. II-4.

De opbrengst van de tarwe is weergegeven in Tabel II-10 voor 1991, en in Tabel II-11 voor 1993. De verwachte verschillen tussen de behandelingen wel en niet bestrijden zijn op de proefboerderijen in 1991 in verschillende mate aanwezig, in 1993 zijn ze evident geworden. Verschillen tussen de bemestingsniveaus zijn over beide jaren marginaal.

Tabel II-10 Korrelopbrengst (kg drogestof m<sup>-2</sup>) van wintertarwe in 1991  
(gemiddelde  $\pm$  standaardafwijking)

| Locatie     | 'Gangbare' N-bemesting |                 | 'Geïntegreerde' N-bemesting |                 |
|-------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|
|             | geen herbicide         | wel herbicide   | geen herbicide              | wel herbicide   |
| Randwijk    | 0,65 $\pm$ 0,08        | 0,79 $\pm$ 0,01 | 0,59 $\pm$ 0,09             | 0,77 $\pm$ 0,04 |
| Wageningen  | 0,69 $\pm$ 0,02        | 0,71 $\pm$ 0,02 | 0,69 $\pm$ 0,02             | 0,71 $\pm$ 0,02 |
| Nagele      | 0,70 $\pm$ 0,04        | 0,74 $\pm$ 0,01 | 0,69 $\pm$ 0,02             | 0,68 $\pm$ 0,03 |
| Valthermond | 0,67 $\pm$ 0,02        | 0,68 $\pm$ 0,02 | 0,63 $\pm$ 0,01             | 0,62 $\pm$ 0,02 |

Tabel II-11 Korrelopbrengst (kg drogestof m<sup>-2</sup>) van wintertarwe in 1993  
(gemiddelde  $\pm$  standaardafwijking)

| Locatie     | 'Gangbare' N-bemesting |                 | 'Geïntegreerde' N-bemesting |                 |
|-------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|
|             | geen herbicide         | wel herbicide   | geen herbicide              | wel herbicide   |
| Randwijk    | 0,34 $\pm$ 0,07        | 0,70 $\pm$ 0,02 | 0,34 $\pm$ 0,09             | 0,63 $\pm$ 0,03 |
| Wageningen  | 0,79 $\pm$ 0,08        | 0,93 $\pm$ 0,07 | 0,85 $\pm$ 0,09             | 0,97 $\pm$ 0,05 |
| Nagele      | 0,69 $\pm$ 0,14        | 0,85 $\pm$ 0,05 | 0,70 $\pm$ 0,10             | 0,94 $\pm$ 0,03 |
| Valthermond | 0,58 $\pm$ 0,07        | 0,59 $\pm$ 0,13 | 0,56 $\pm$ 0,11             | 0,55 $\pm$ 0,08 |

## Discussie

Uit de resultaten van Fig. II-1 en II-2 blijkt dat de waargenomen onkruidichtheid binnen een behandeling een vrij grote spreiding vertoond. In de bijlage V wordt aandacht besteed aan een mogelijke oorzaak hiervan, de ruimtelijke variatie in onkruidichtheid. Als gevolg van deze spreiding moeten de resulterende schattingen voor relatieve groeisnelheid in de populatie met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden, vooral als ze gebaseerd zijn op lage waargenomen dichtheden, bijvoorbeeld voor de locatie Valthermond, en voor de behandelingen met herbiciden.

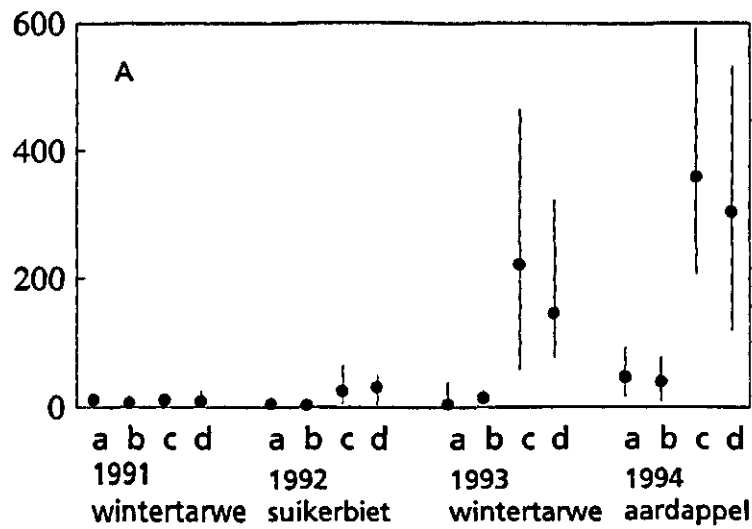
In Fig. II-3 valt op dat de hoeveelheid zaad die naar de bodem wordt geretourneerd wordt zeer groot is (en dit is nog maar een gedeelte van de totale hoeveelheid zaden die is geproduceerd, zie Fig. II-4). De hoeveelheid zaad die in de bodemvoorraad is terechtgekomen is vele malen groter dan de hoeveelheden die later als kiemplanten teruggevonden worden. Dit kan duiden op het afsterven van zeer veel zaden in de bodem. De sterfte van onkruidzaden in de bodem kan niet met deze proefopzet gekwantificeerd worden, en een volledige kwantificering van de levenscyclus van de onkruiden is dus niet mogelijk. Door de waargenomen dichtheden van onkruidplanten van jaar tot jaar in verhouding tot elkaar te bezien, is de bestudering van de relatieve toename van onkruidpopulatie wel goed mogelijk, en deze methode is gehanteerd in deze verslaglegging.

Met behulp van schattingen van de tarweopbrengst in 1991 kan worden nagegaan of bestrijding van onkruiden in wintertarwe in 1991 een economisch verantwoorde keuze was op eenjarige basis (schadedrempel-criterium). Het blijkt dat alleen voor de locatie Randwijk de opbrengstderving bij niet bestrijden groter was dan de kosten van bestrijding (gemiddeld over de stikstofbehandelingen). Voor alle gevallen bleef bij bestrijding de dichtheid ongeveer gelijk van 1991 tot 1993 (waarbij natuurlijk een slag om de arm gehouden moet worden in verband

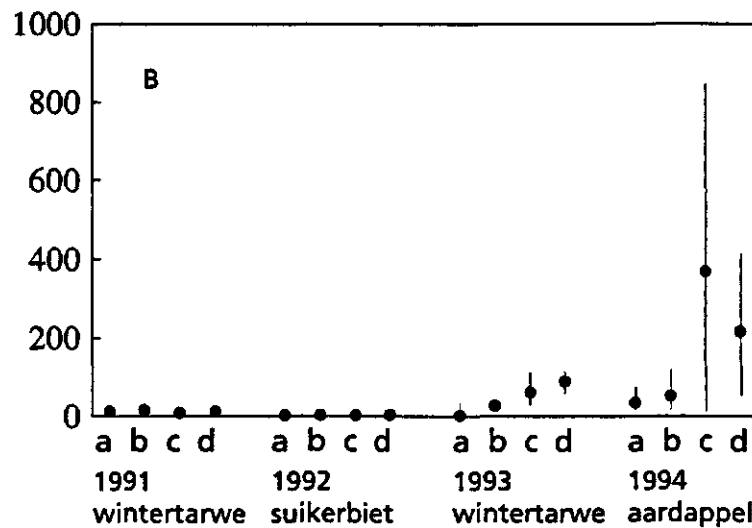
met de onzekerheid in deze resultaten) waaruit af te leiden valt dat op lange termijn in alle gevallen bestrijding een goede keus was (stabiliteits-criterium).

De gevonden waarden voor reproductiesnelheid vallen binnen het spectrum van waarden dat in andere experimenten is waargenomen. Hagemeister & Heitefuss (1986) bemonsterden de zaadvoorraad in de bodem bij een vruchtopvolgving van wintertarwe - wintergerst. Indien onkruid niet werd bestreden in wintertarwe maar wel in wintergerst nam de dichtheid van kleeftkruiddzaden in de zaadvoorraad toe met een factor 3,7 over twee jaar. Indien zowel in wintertarwe als in wintergerst onkruid werd bestreden, bleef de dichtheid van kleeftkruiddzaden in de zaadvoorraad constant. Wilson en Froud-Williams (1988) vonden voor kleeftkruidd in wintertarwe een produktie van 15 000 tot 19 000 zaden per m<sup>2</sup>, waarvan de helft op het bodemoppervlak terechtkwam, de ander helft werd met het geoogste graan werd afgevoerd. Lintell-Smith et al. (1991) namen een toename waar van een kleeftkruiddpopulatie met een factor variërend van 2 tot 25 over een jaar waarin wintertarwe werd geteeld. Zij vonden geen systematische respons van de toenamefactor op stikstofgift. Voor vogelmuur is de toename in wintertarwe zonder onkruidbestrijding over een jaar gemeten door Wilson et al. (1989). Zij vonden toenamefactoren van 36,1 (met ploegen) tot 57,5 (zonder ploegen). Zwerger et al. (1990) maten een toename van vogelmuurzaden in de bodemvoorraad in een continueelt van wintertarwe waarbij onkruid niet werd bestreden met een factor 49,1 per jaar; de standaardfout van deze schatting was 289,5.

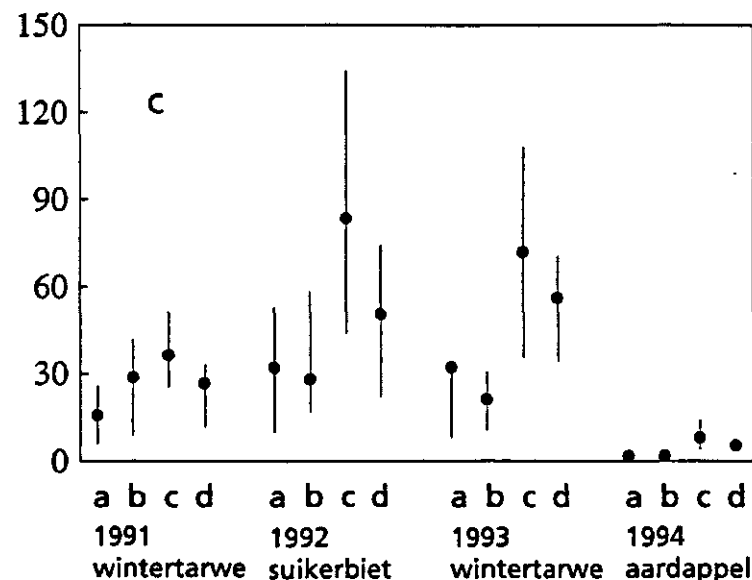
Onkruidichtheid  
(planten m<sup>-2</sup>)

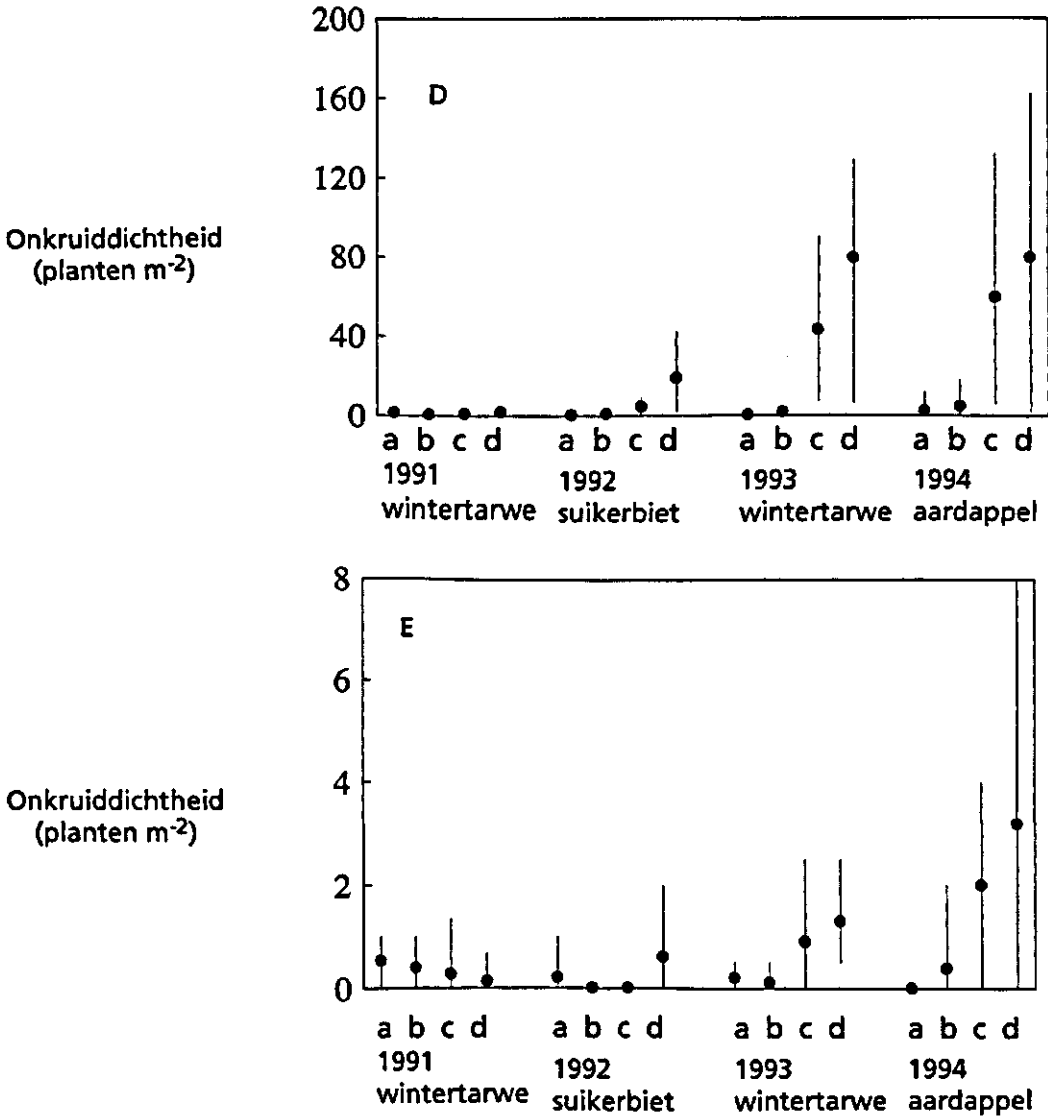


Onkruidichtheid  
(planten m<sup>-2</sup>)



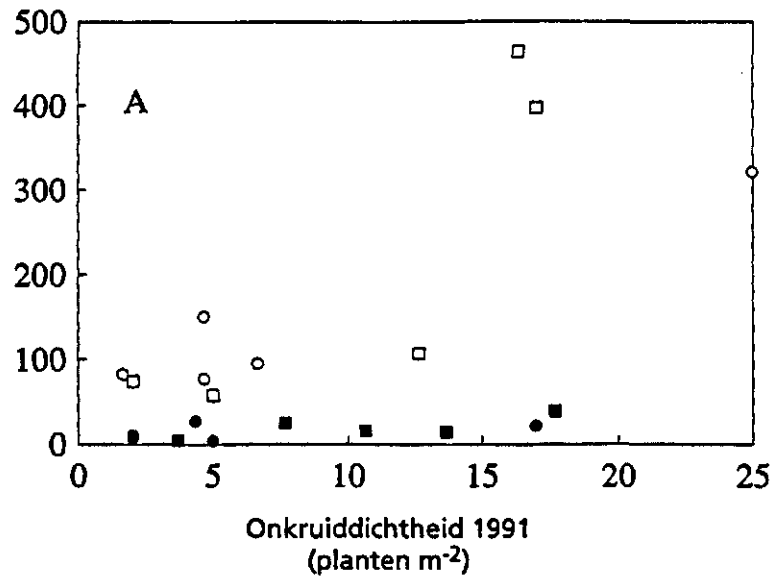
Onkruidichtheid  
(planten m<sup>-2</sup>)



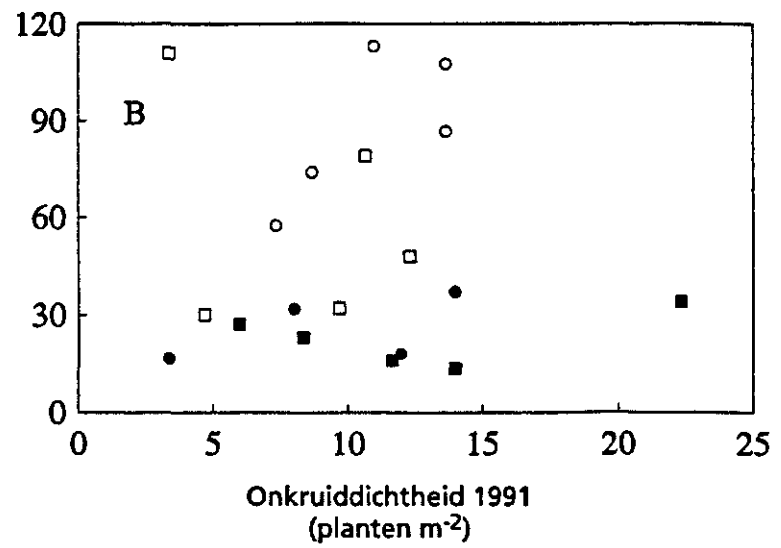


**Figuur II-1** Verloop in onkruidichtheid gedurende de meerjarige proef (gemeten op de piekdichtheid van kiemplanten in het voorjaar). Aangegeven zijn het gemiddelde, het minimum en het maximum aantal planten per m<sup>2</sup> per behandeling. De behandeling is aangegeven met kleine letters: (a) herbiciden, 'gereduceerde' N-gift; (b) herbiciden, 'gangbare' N-gift; (c) geen herbiciden, 'gereduceerde' N-gift; (d) geen herbiciden, 'gangbare' N-gift. De hoofdletters geven de locaties en onkruiden aan: (A) Randwijk, kleeftuig, (B) Randwijk, kamille, (C) Wageningen, vogelmuur, (D) Nagele, vogelmuur, (E) Valthermond, vogelmuur.

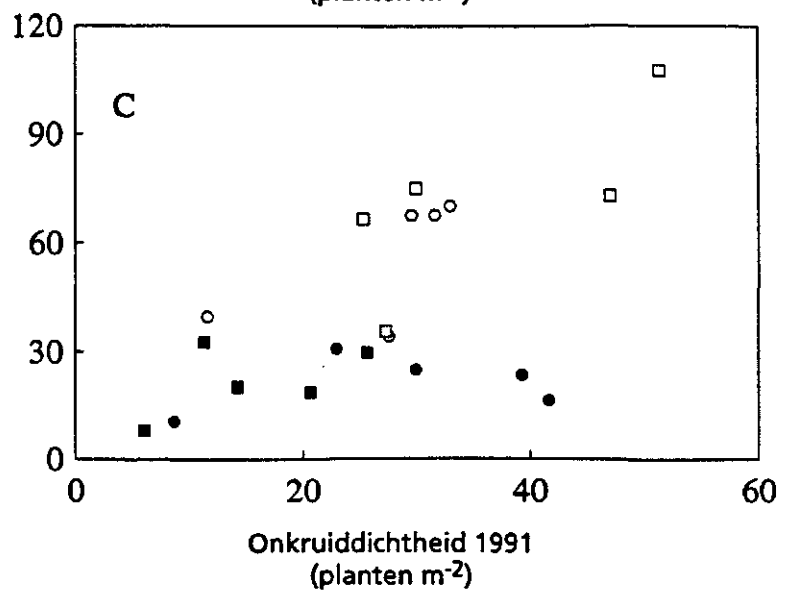
Onkruiddichtheid 1993  
(planten m<sup>-2</sup>)

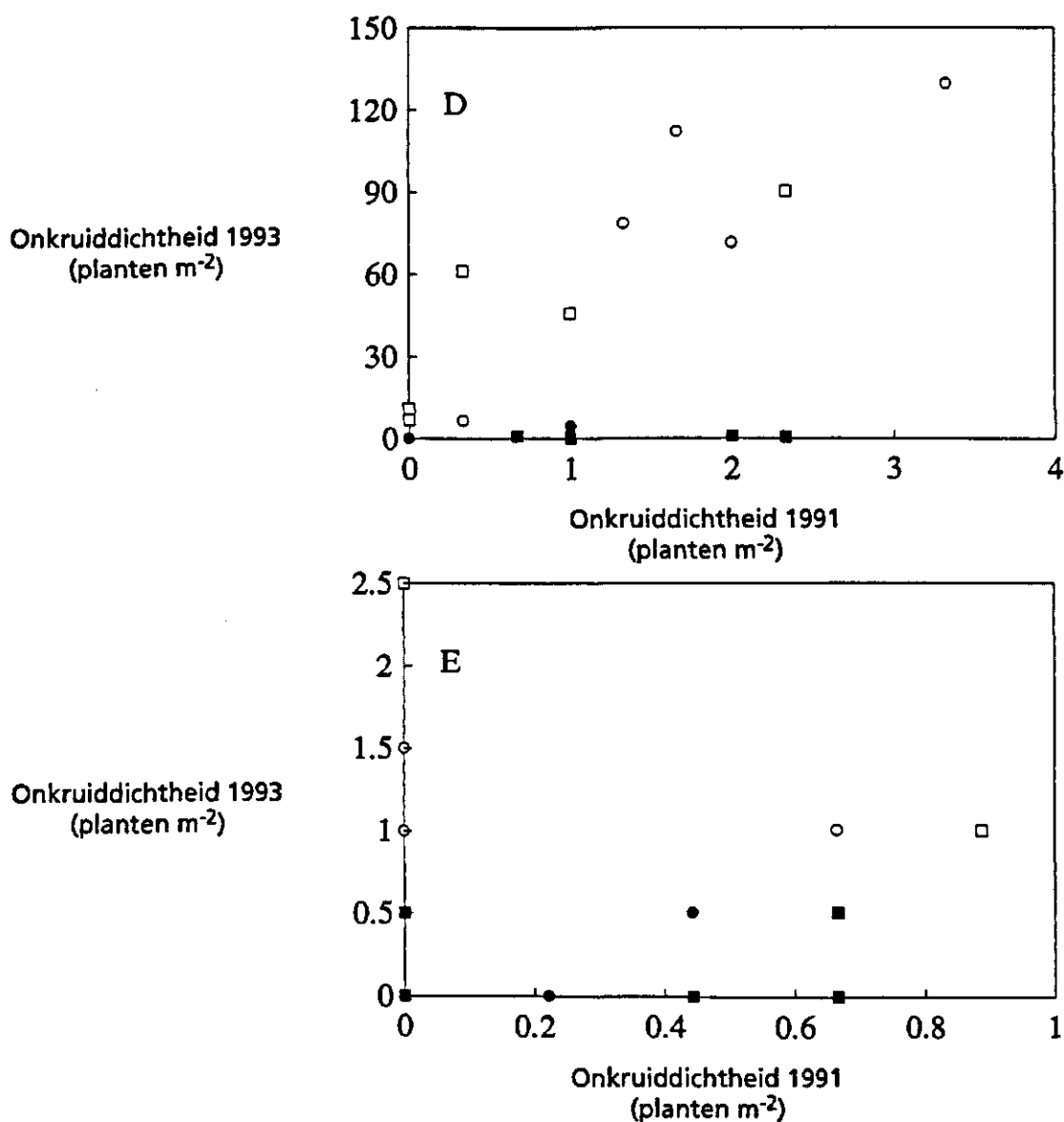


Onkruiddichtheid 1993  
(planten m<sup>-2</sup>)



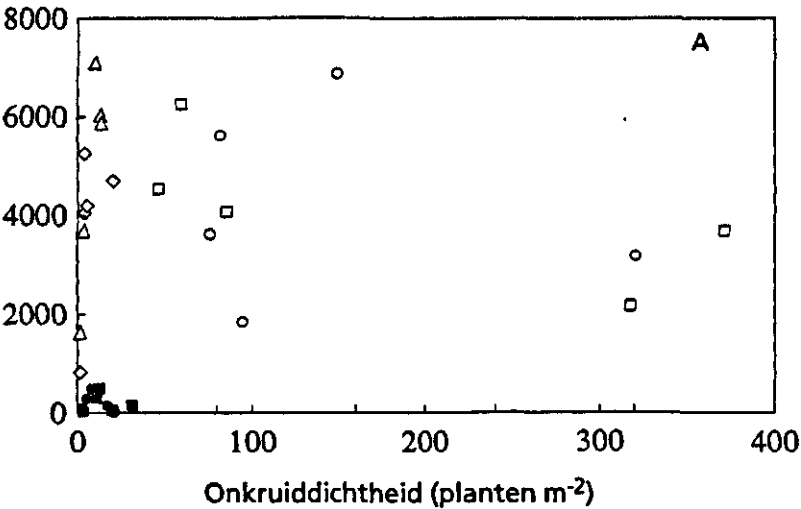
Onkruiddichtheid 1993  
(planten m<sup>-2</sup>)



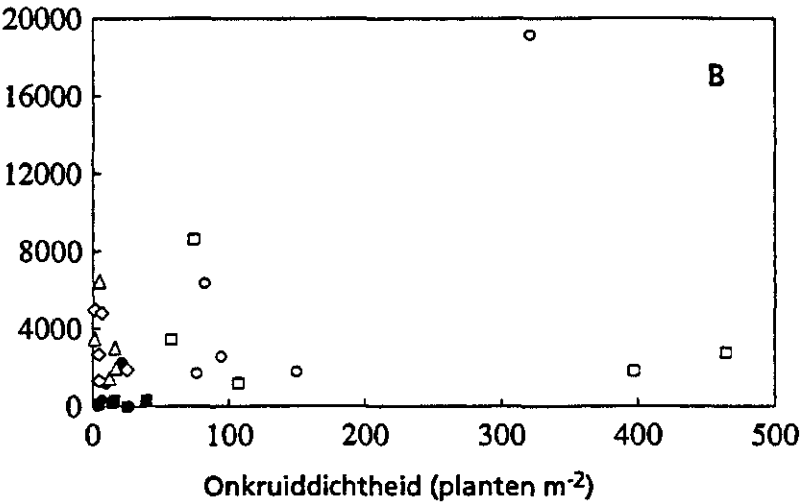


Figuur II-2 Onkruidichtheid in wintertarwe (aantal per m<sup>2</sup>) waargenomen in maart 1993 als functie van onkruidichtheid waargenomen in maart 1991. De helling van de regressielijn geeft de vermeerderingsfactor van het onkruid over de periode 1991-1993. Locaties en onkruiden zijn aangegeven zoals in Fig. II-1. De behandeling is aangegeven met symbolen: (■) herbiciden, 'gereduceerde' N-gift; (●) herbiciden, 'gangbare' N-gift; (□) geen herbiciden, 'gereduceerde' N-gift; (○) geen herbiciden, 'gangbare' N-gift.

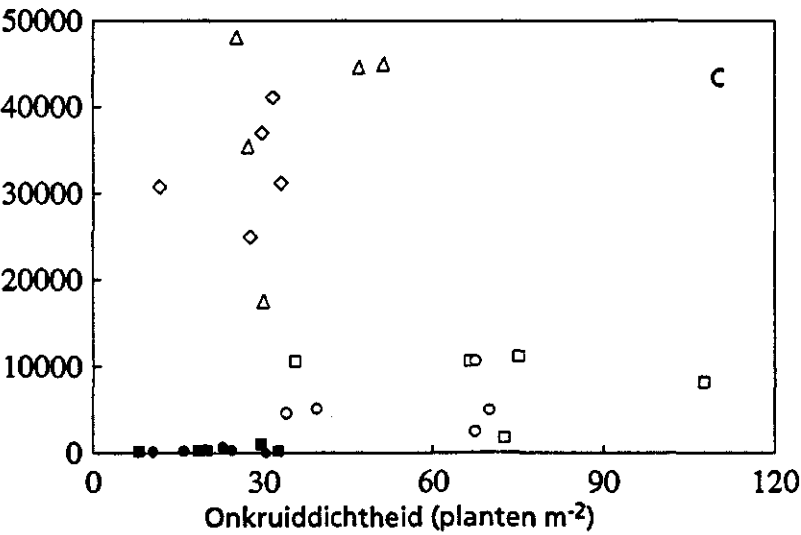
Zaaddichtheid  
(zaden m<sup>-2</sup>)

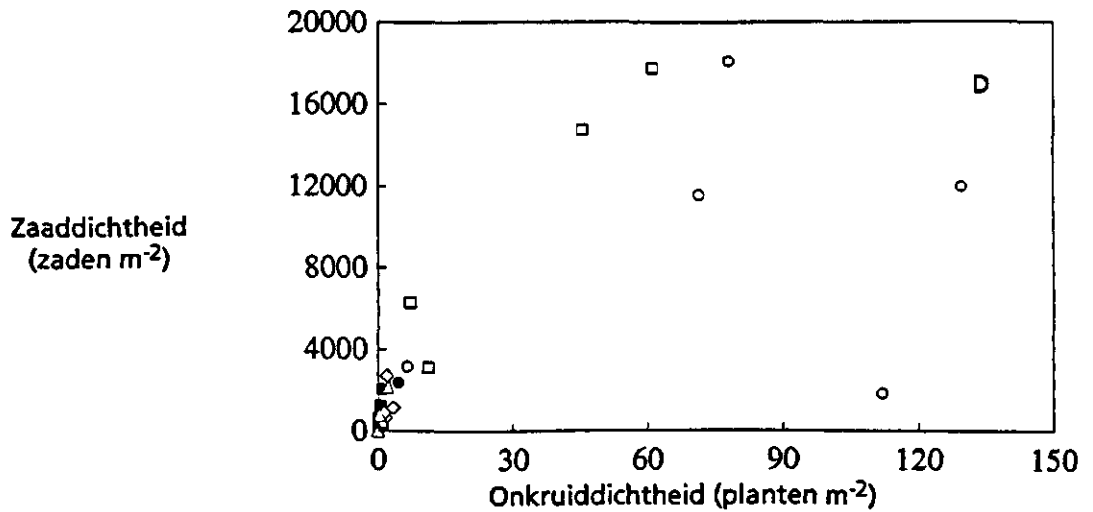


Zaaddichtheid  
(zaden m<sup>-2</sup>)

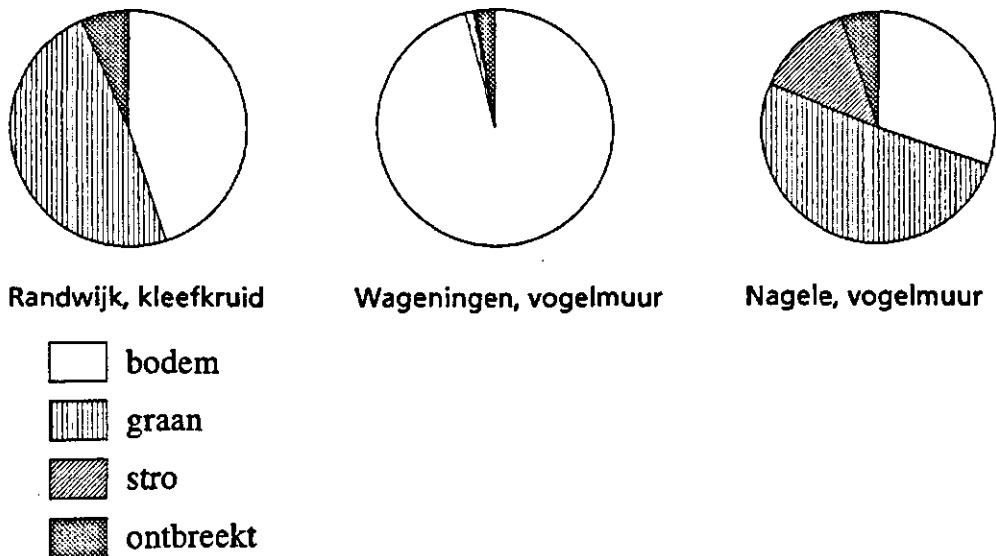


Zaaddichtheid  
(zaden m<sup>-2</sup>)





**Figuur II-3** Het aantal geproduceerde onkruidzaden dat in wintertarwe per  $m^2$  wordt teruggegeven op de bodem, als functie van de onkruidichtheid (aantal planten per  $m^2$ ) dat in het voorjaar werd waargenomen. Locaties en onkruiden zijn aangegeven zoals in Fig. II-1. De behandeling is aangegeven met symbolen: (driehoek) 1991, herbiciden, 'gereduceerde' N-gift; (ruit) 1991, herbiciden, 'gangbare' N-gift; (■) 1993, herbiciden, 'gereduceerde' N-gift; (●) 1993, herbiciden, 'gangbare' N-gift; (□) 1993, geen herbiciden, 'gereduceerde' N-gift; (○) 1993, geen herbiciden, 'gangbare' N-gift.



**Figuur II-4** Fracties van onkruidzaad geproduceerd in wintertarwe 1993 die zijn afgevoerd met geoogst graan, met stro, of die op de bodem zijn terechtgekomen. De gegevens zijn van behandelingen zonder onkruidbestrijding, en gemiddeld over stikstofbehandeling.

## Bijlage III

# Resultaten van de rassenproef

### Doel

Het onderzoeken van het effect van ras op groei van onkruid.

### Vraagstelling

Is het effect van wintertarwerassen op onkruidgroei duidelijk en kwantificeerbaar gerelateerd aan bepaalde raskenmerken?

### Materiaal en methoden

In 1992 werd op de locaties Valthermond en Randwijk een rassenproef voor wintertarwe uitgevoerd door het PAGV. In deze proeven zijn ook kleinschalige waarnemingen uitgevoerd in het kader van het hier gerapporteerde onderzoek. Van deze proeven werden op de locatie in Valthermond 7 rassen gebruikt (Pagode, Ritmo, Vivant, CEB933, Taurus, Tessa, Hereward) en op de locatie in Randwijk werden 9 rassen gebruikt (Obelisk, Pagode, Fletum, Toronto, Estima, Vivant, Wasp, Kontrast, VDH1727). Per ras werden 3 veldjes gebruikt, en per veldje werden 2 kleeftkruidenten en 2 muurplanten gepoot. Deze onkruiden werden niet bestreden. Voor vogelmuur werd het aantal knopen gemeten op 10 en 11 juni, voor kleeftkruid werd het aantal bloemsteeltjes gemeten op 17 en 18 juli.

Van de diverse tarwerassen is per veld de hoogte en het bladoppervlak gemeten van 3 willekeurig gekozen planten. Deze meting vond plaats op 18 mei, aangenomen wordt dat de raskenmerken rond deze tijd het meeste invloed hadden op de uitkomst van de onkruid-gewas concurrentie.

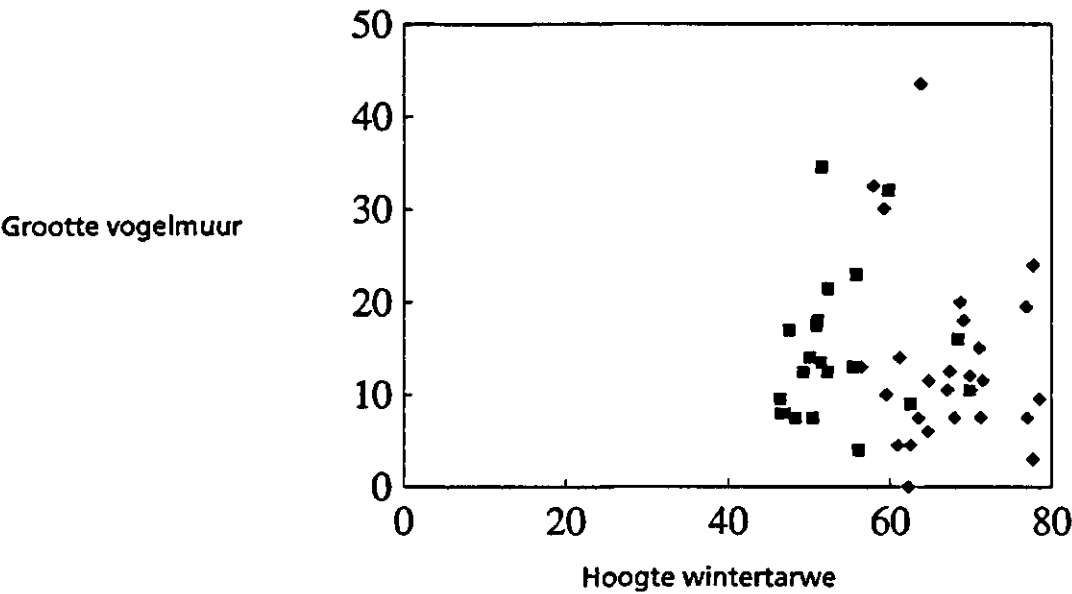
### Resultaten

In de Figuren III-1 t/m III-4 zijn de waargenomen onkruidgroottes uitgezet tegen waargenomen raskenmerken. Deze waarden zijn gemiddeld over een veldje. De figuren laten zien dat er zeer veel spreiding in onkruidgrootte was. Ook de raskenmerken vertoonden veel spreiding. Er is geen duidelijk verband tussen raskenmerk en onkruidgrootte.

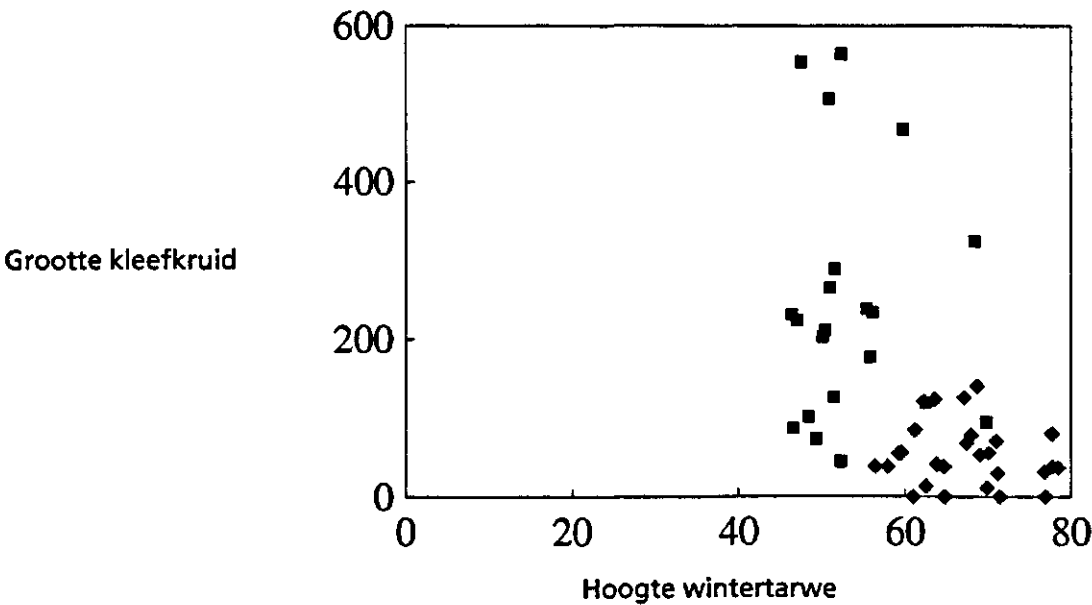
### Discussie

Het uitzetten van de gegevens per veldje heeft het voordeel dat eventuele relaties tussen kenmerken van wintertarwe en onkruidgrootte duidelijk naar voren kunnen komen. De gegevens per ras zijn niet direct af te leiden, maar dat is in deze context niet zo belangrijk.

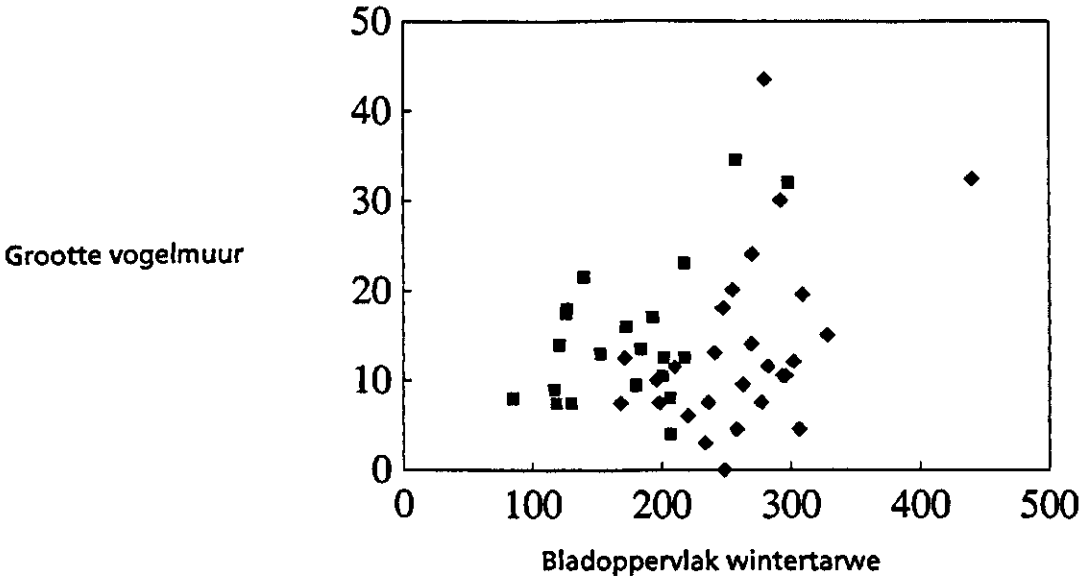
De resultaten laten zien dat een mogelijk verband tussen raskenmerk en onkruidgroei overheerst wordt door ruis. Deze resultaten bieden te weinig aanknopingspunten voor kwantificering van onkruidonderdrukkende werking van een ras aan de hand van eenvoudige raskenmerken.



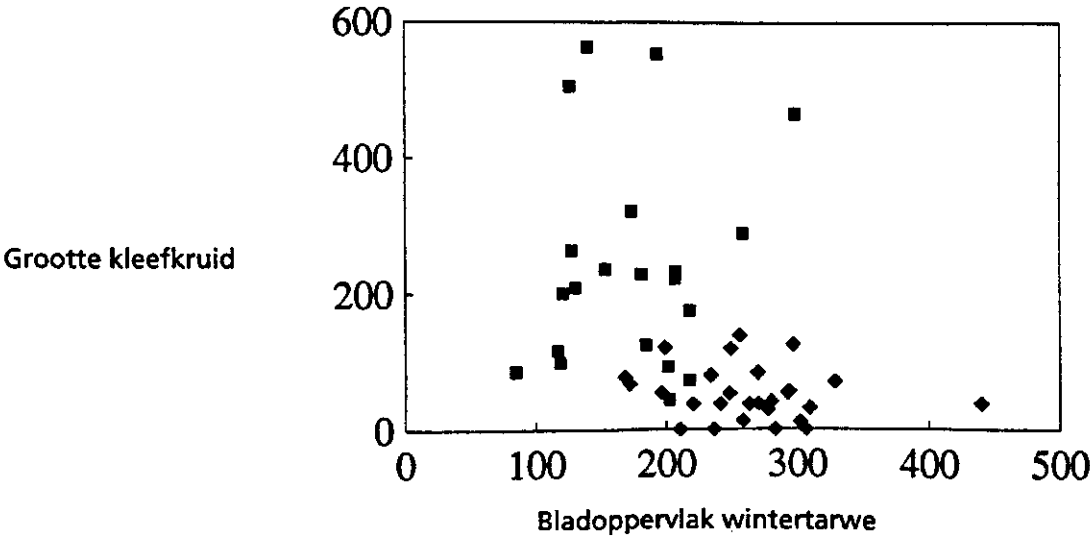
Figuur III-1 De relatie tussen grootte van vogelmuur (gemeten als aantal knopen per plant) en hoogte van het tarweras waartussen de onkruiden stonden. De blokjes staan voor gegevens van de locatie Valthermond, de ruitjes staan voor gegevens van de locatie Randwijk.



Figuur III-2 De relatie tussen grootte van kleeftkruid (gemeten als aantal bloemsteeltjes per plant) en hoogte van het tarweras waartussen de onkruiden stonden. De blokjes staan voor gegevens van de locatie Valthermond, de ruitjes staan voor gegevens van de locatie Randwijk.



**Figuur III-3** De relatie tussen grootte van vogelmuur (gemeten als aantal knopen per plant) en bladoppervlak van het tarveras waartussen de onkruiden stonden (cm<sup>2</sup> per plant). De blokjes staan voor gegevens van de locatie Valthermond, de ruitjes staan voor gegevens van de locatie Randwijk.



**Figuur III-4** De relatie tussen grootte van kleeftkruid (gemeten als aantal bloemsteeltjes per plant) en bladoppervlak van het tarveras waartussen de onkruiden stonden (cm<sup>2</sup> per plant). De blokjes staan voor gegevens van de locatie Valthermond, de ruitjes staan voor gegevens van de locatie Randwijk.

## Bijlage IV

# Een ruimtelijk model van onkruidpopulatiedynamica

### Doel

Verkenning van effect van ruimtelijke component in onkruidpopulatiedynamica.

### Vraagstelling

Welke verdelingspatronen van onkruid kan je verwachten?

Welke verschillen bestaan er tussen uitkomsten van ruimtelijke en niet-ruimtelijke modellen?

### Modelopzet

Het model bestaat uit een boekhouding van ruimtelijke positie van individuele onkruiden, waarbij andere aspecten van de populatiedynamica eenvoudig gehouden worden (vergelijkbaar met logistische groeimodellen). Ruimte wordt opgevat als een 2-dimensionaal raster. Op dit raster zijn de individuele onkruiden geplaatst. De onkruiden reproduceren in discrete tijd, met tijdstappen van een jaar. De onkruiden worden zodanig bestreden dat hun dichtheid over het gehele raster laag en constant blijft. Een individueel onkruid wordt met een bepaalde kans gedood door bestrijding. Als het onkruid overleeft, mag het reproduceren en zaadjes vormen op naburige rasterplaatsen. Doordat er maar maximaal één zaadje per rasterplaats mag voorkomen, wordt er een maximum dichtheid per eenheid oppervlak gezet.

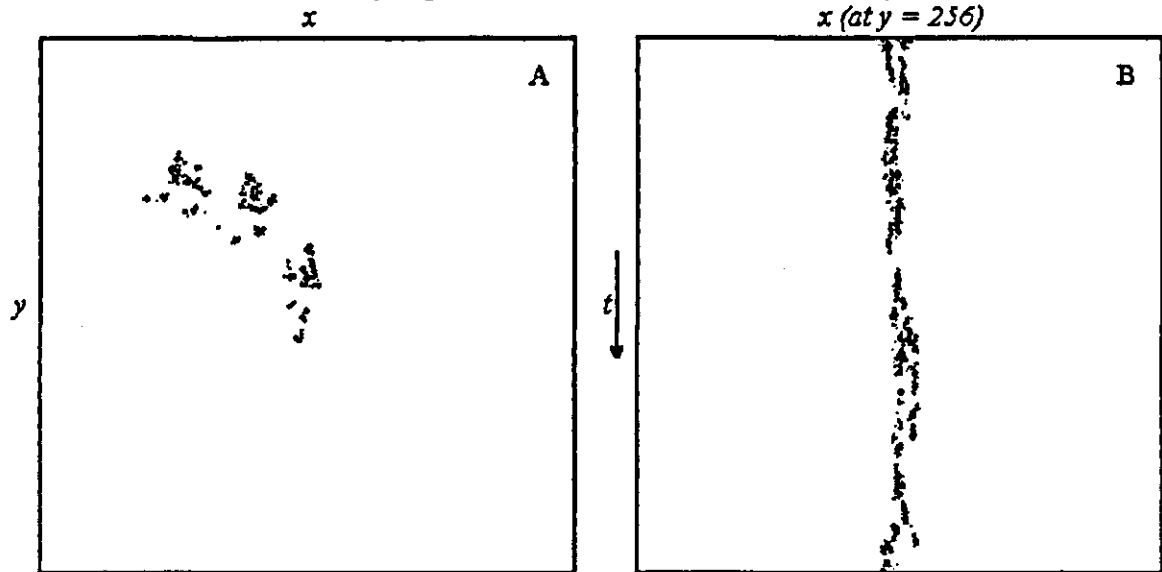
### Resultaten en discussie

Deze opzet is vrij simplistisch als het wordt vergeleken met echte onkruiden. Maar als meer complexe, realistische details worden toegevoegd, zoals variabele kiemrust en verschillen in dispersiepatronen van zaad, blijkt dat er in sommige opzichten (schaal-invariantie in tijd en ruimte, en waarde van schalingsexponenten) niets aan de uitkomst verandert. Het beschreven model is dus zeer robuust, en kan fungeren als 'prototype' model voor meer complexe, realistische varianten (Wallinga, 1995b).

Bij simulatie met het bovenstaande model, ontstaat al snel een geclusterde verdeling van onkruiden. Deze verdeling is stabiel, in de zin dat het 'type' cluster gelijk blijft, en ook in de zin dat de clusters weinig verplaatsen in de loop van de tijd, zie Fig. IV-1. Dit gedrag komt kwalitatief overeen met waarnemingen aan duist (*Alopecurus myosuroides* Huds.) (Wilson & Brain 1990). De gesimuleerde ruimtelijke verdeling van onkruiden wordt gekarakteriseerd door schaal-invariantie en door voorkomen van correlaties over zeer grote afstand. Deze karakteristieken komen ook voor bij de waarneming aan kleeftkruid (Bijlage V).

De kern van de modelbenadering is dat, uitgaande van enkele eenvoudige aannames, verwacht wordt dat de ruimtelijke verdeling 'geclusterd' is, en niet uniform of willekeurig. Bovendien kan clustering begrepen worden vanuit ruimtelijke populatiedynamica alleen, het is dus niet nodig om de ruimtelijke verdeling toe te schrijven aan externe factoren, zoals bodemeigenschappen.

Een belangrijk aspect van het ruimtelijke model is dat een lagere bestrijdingsintensiteit volstaat om de populatie op lage dichtheid te handhaven in vergelijking met een niet-ruimtelijk model. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat bij zeer lage dichtheden de onkruiden in het ruimtelijk model dicht bij elkaar zitten en elkaar beconcurreren, terwijl in het niet-ruimtelijk model de onkruiden zo dun over de ruimte worden uitgesmeerd dat ze elkaar niet meer hinderen. De intensiteit nodig om een populatie te handhaven op lage dichtheid berekend met een niet-ruimtelijk model is dus een overschatting van de werkelijk benodigde intensiteit doordat ruimtelijke aspecten verwaarloosd worden. Dit resultaat geeft tevens aan dat versleping van onkruiden meer bestrijding noodzakelijk maakt: versleping zorgt ervoor dat onkruidzaden meer uniform over het perceel verspreid worden, zodat het niet-ruimtelijk model met intensievere bestrijding meer van toepassing is op de feitelijke situatie.



Figuur IV-1 Simulatieresultaten met ruimtelijk model voor onkruidpopulatiedynamica, (A) de gesimuleerde verdeling van onkruiden (weergegeven als zwarte puntjes) over de ruimte, (B) het gesimuleerde verloop in de verdeling van onkruiden over een doorsnede door de ruimte.

## Bijlage V

# Waarneming van ruimtelijke verdeling van onkruiden

### Doel

Verkrijgen van inzicht in effecten van ruimtelijke verdeling van onkruiden op zowel de nauwkeurigheid van schatting van onkruid dichtheid, als ook perspectief voor pleksgewijs bestrijden.

### Vraagstelling

Hoe zijn onkruiden verdeeld over de ruimte, wat zijn de (statistische) consequenties hiervan?

### Materiaal en methoden

Op 19-22 april 1993 is in een perceel wintertarwe op locatie Wageningen de verdeling van kleine kleeftkruidentplanten vastgesteld. Dit werd gedaan op een veld van 18,0 m x 32,4 m. Dit veld werd onderverdeeld in hokjes van 7,5 cm x 9,0 cm. Per hokje werd het aantal kleeftkruidentplanten geteld. Op hetzelfde perceel werd ook de verdeling van kleeftkruidentplanten bepaald over een doorsnede door het veld van 200 meter lang en 13 cm breed. Beide waarnemingen lopen niet over kopakkers, niet over verschillende percelen, en niet langs slootkanten.

De waargenomen dichtheden per 7,5 cm x 9,0 cm werden opgeteld tot dichtheden per hokjes van 37,5 cm x 45,0 cm, ongeveer de grootte die vaak gebruikt wordt voor waarnemingen van dichtheden bij schattingen. De dichtheden die bij deze oppervlakte werden gevonden kunnen worden uitgezet in een frequentiediagram. De frequentieverdeling kan worden gezien als benadering van kansverdeling voor waarnemingen van dichtheid.

De mate waarin dichtheden samenhangen over een bepaalde afstand, kunnen worden geanalyseerd met statische methoden. Een methode is het verloop met afstand van correlatiesom:

$$C(\epsilon) = \frac{\text{aantal onkruiden met onderlinge afstand} < \epsilon}{(\text{totaal aantal onkruiden})^2}$$

hetgeen wordt benaderd met de meer hanteerbare vergelijking

$$C(\epsilon) = \sum_{i=1}^{n(\epsilon)} p_i^2$$

waarin  $p_i$  het relatief aantal onkruiden is in een hokje met ribbe van lengte  $\epsilon$ ,  $n$  is het totaal aantal hokjes met ribbe  $\epsilon$  om het waargenomen veldje te bedekken (dat wil zeggen het aantal onkruiden in een hokje gedeeld door totaal aantal onkruiden in het veld), en  $C(\epsilon)$  is de correlatiesom voor afstand  $\epsilon$ . Deze formules zijn als volgt op te vatten: als je op een willekeurig onkruid uit het waargenomen veldje gaat staan, en je trekt een cirkel met een straal  $\epsilon$  om je heen, dan is het aantal onkruiden dat je in deze cirkel verwacht aan te treffen een fractie  $C(\epsilon)$  van het totaal aantal onkruiden in het veldje.

## Resultaten

### *Sample statistiek*

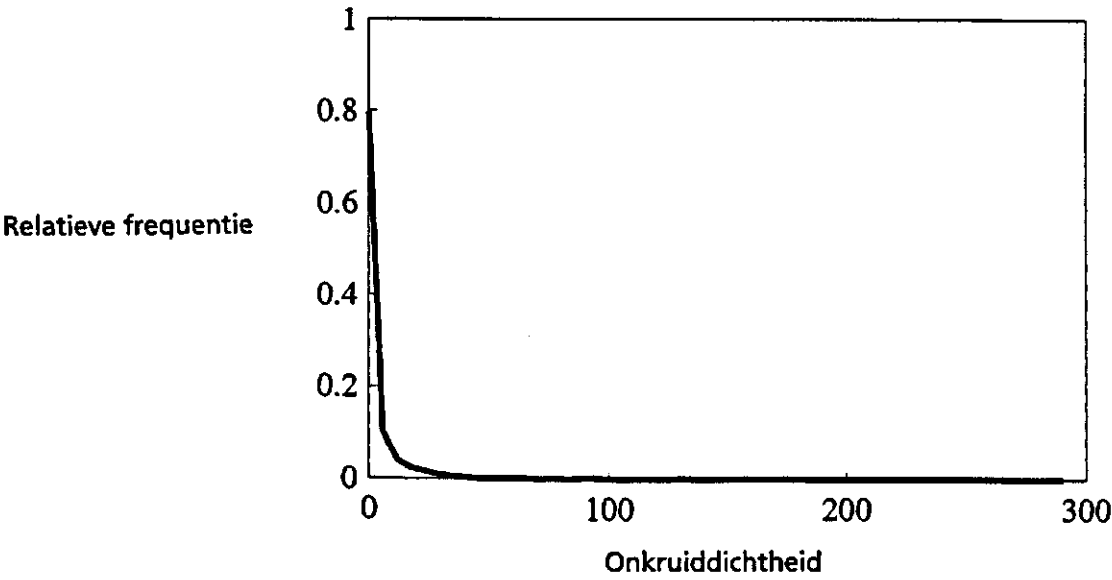
De gevonden frequentieverdeling is zeer scheef: er zijn veel lage dichtheden, en weinig hoge dichtheden. De kansverdeling heeft een dikke staart (Fig. V-1) en dat heeft enkele vervelende gevolgen voor het bemonsteren van de dichtheid. De spreiding in de waarnemingen van dichtheid is zeer groot. Als de spreiding in gemonsterde dichtheden gemeten wordt als variantie (hetgeen gebruikelijk is), blijkt dat voor kleine monstergrootte (hetgeen gebruikelijk is) de variantie zeer veranderlijk is (Fig. IV-2). Met andere woorden: de sample variantie is niet erg stabiel, en is niet zo'n goede maat voor spreiding. Bij een klein aantal monsters is de schatting van onkruidichtheid zeer onbetrouwbaar, en deze onbetrouwbaarheid wordt alleen kleiner bij zeer veel tellingen. Dit is van belang bij interpretatie van de meerjarige proef. Resultaten hiervan laten zeer veel spreiding in dichtheden zien, en dit zou dus een gevolg kunnen zijn van de ruimtelijke verdeling van onkruiden.

### *Ruimtelijke statistiek*

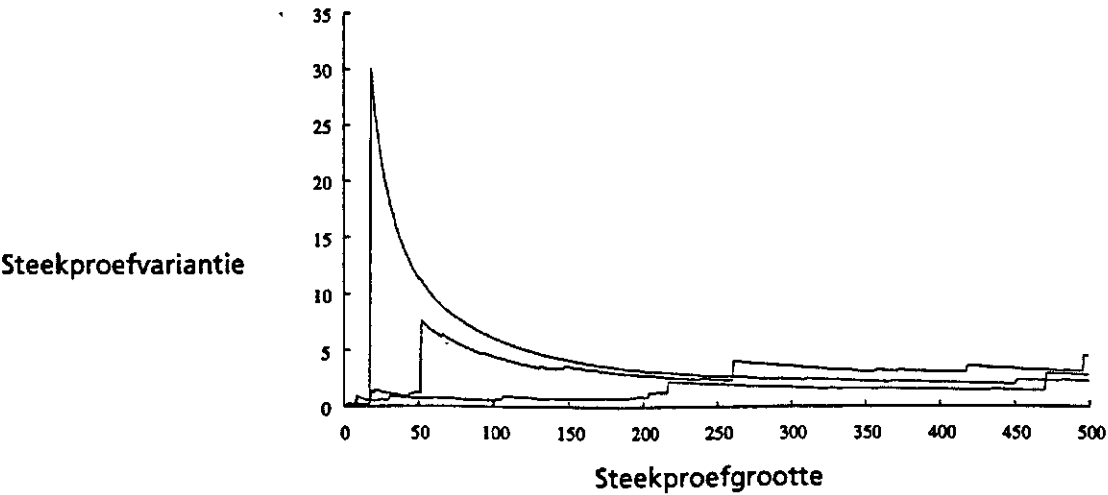
Het verloop van de correlatiesom over afstand is te zien in Fig. V-3 voor het veldje van 18,0 m x 32,4 m en in Fig. V-4 voor de doorsnede van 200 m x 0,13 m, (let op de logaritmische assen). Deze grafieken laten zien dat dichtheden op nabijgelegen plekken overeenkomst vertonen, dat deze overeenkomst vermindert naar mate de onderlinge afstand groter wordt, en dat een zekere mate van overeenkomst over zeer lange afstand wordt behouden. Ook is af te lezen dat er op bijna alle schaalgroottes een verschil in dichtheden over het veld optreedt. Pleksgewijs bestrijden op een bepaalde schaalgrootte kan alleen besparing opleveren als er verschil in dichtheden op die schaalgrootte is - en variatie in dichtheden blijkt voor zeer grote range van schaalgroottes te bestaan (voor meer gedetailleerde uitwerking wordt verwezen naar Wallinga 1995a).

### *Literatuur*

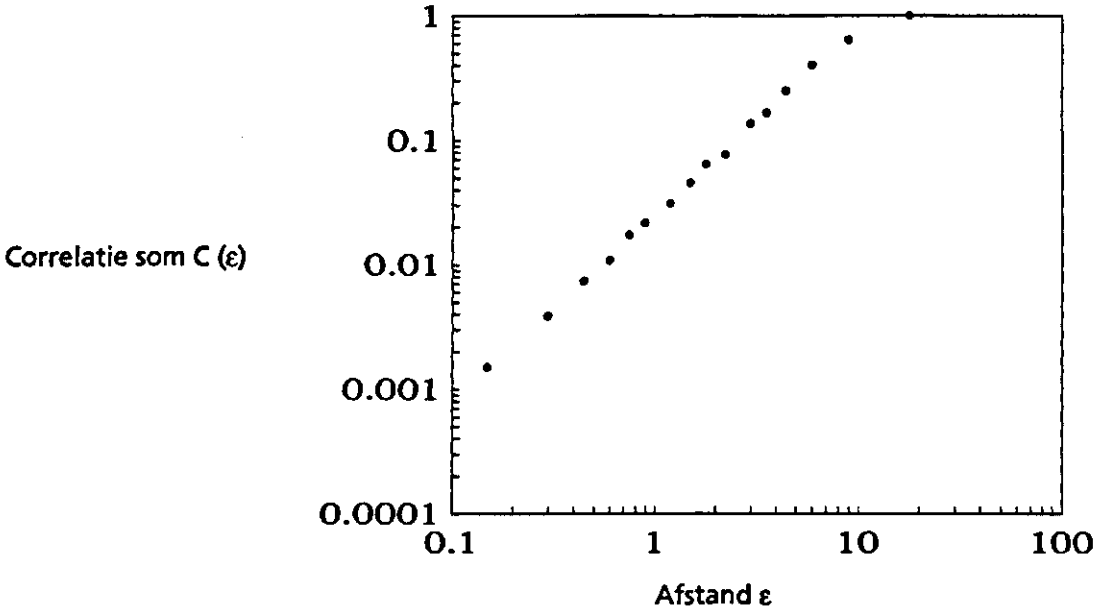
De bovenstaande analyses zijn gebaseerd op een enkele waarneming. Op zich is deze waarneming dus illustratief, en niet noodzakelijk representatief. Andere waarnemingen, van andere onkruidsoorten in andere omstandigheden, laten echter zien dat de zeer scheve frequentieverdeling voor onkruidichtheid algemeen voorkomt (Marshall, 1988; Dessaint et al., 1991; Benoit et al., 1992; Johnson, 1994) en dat verbanden in dichtheid over zeer grote afstanden kunnen voorkomen (Johnson 1994).



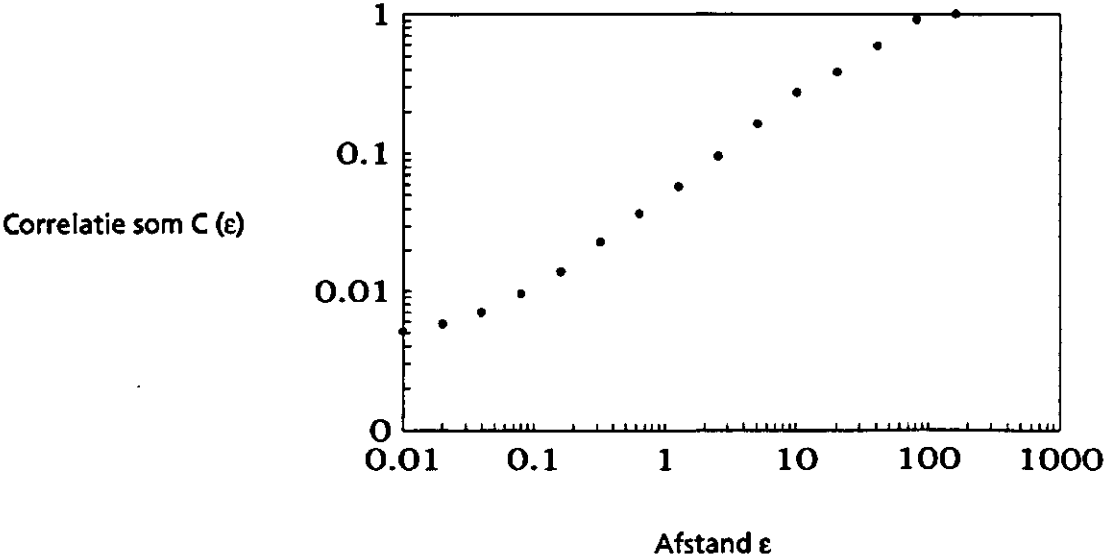
Figuur V-1 Frequentieverdeling van waargenomen dichtheden van kleeftkruid (schaalgrootte: 37,5 cm x 45 cm).



Figuur V-2 Verloop in variantie in onkruidichtheid bij het steeds toevoegen van een nieuwe waarde, getrokken uit de verzameling van waargenomen dichtheden van kleeftkruid. Er zijn drie verschillende series weergegeven, alle getrokken uit dezelfde verzameling.



Figuur V-3 De relatie tussen afstand en correlatiesom van posities van kleeftkruid in een veldje



Figuur V-4 De relatie tussen afstand en correlatiesom van posities van kleeftkruid op een doorsnede door het veld

## Bijlage VI

# Beperking van het herbicidegebruik: berekening van de limiet

### Doel

Aangeven van factoren die het herbicidegebruik bepalen, bij toepassing van het stabiliteitscriterium.

### Vraagstelling

Hoever kan het herbicidegebruik op lange-termijn gereduceerd worden?

### Beschrijving van het systeem

Ter wille van eenvoud wordt een perceel beschouwd waarop elk jaar hetzelfde gewas op eenzelfde wijze geteeld wordt. In dit gewas komt een onkruidsoort voor, die aan een bestrijding (hier herbicide) onderworpen worden.

Opgemerkt moet worden dat gebruikte modellen hier dienen als illustratie van een redenering, als exacte weergave van de grote lijn in de denkwijze; de hier gebruikte modellen zijn daarom arm aan detail zodat niet elk facet van onkruid in de echte wereld zijn tegenvoeter vind in de onderstaande vergelijkingen. De conclusie die met de modellen bereikt wordt hangt, althans in kwalitatief opzicht, niet af van aannames anders dan aangegeven als 'cruciaal'.

### Modelbeschrijving

Cruciale aannames in het navolgende rekenwerk zijn dat bij lage dichtheid de relatieve groei van de onkruidpopulatie en het effect van het herbicide niet afhangt van dichtheid. Deze aanname kan worden gerechtvaardigd op grond van waarnemingen (Selman 1970; Wilson & Froud-Williams 1988; Moss 1990). Een andere cruciale aanname is dat bij afwezigheid van bestrijding de onkruidpopulatie zichzelf in stand houdt en niet uitsterft, en dat bij toepassen van maximum bestrijding (label-dosis of meer) de onkruidpopulatie op zeer lange duur alleen kan overleven door import van onkruidzaden. Deze aanname wordt meestal impliciet gemaakt, en is vanzelfsprekend als men van doen heeft met een 'echt' onkruid en een 'echte' onkruidbestrijdingsmethode.

In het begin van het jaar zijn er  $S_t$  zaden in de zaad voorraad. Een fractie  $y$  van deze zaden kiemt en komt op. Een fractie  $k$  wordt gedood door bestrijding. Dan is het aantal planten  $P_t$  na onkruidbestrijding in het jaar  $t$ :

$$P_t = \gamma(1 - k)S_t$$

1

Deze planten produceren zaden. Bij lage dichtheiden produceert een plant een maximum van  $\zeta$  zaden per plant. Bij hogere dichtheid kunnen planten zaden produceren tot een maximum van  $\theta$  levende zaden per eenheid grondoppervlak. De relatie tussen plantdichtheid en zaadproductie wordt beschreven met een hyperbolische functie (vgl. Moss 1990). De hoeveelheid zaden in het volgend jaar  $S_{t+1}$  is gelijk aan de hoeveelheid zaden die overgebleven zijn in de zaadvoorraad plus de nieuw gevormde zaden:

$$S_{t+1} = (1 - \gamma - \mu)S_t + \frac{\zeta\gamma(1-k)S_t}{1 + \zeta\gamma(1-k)S_t/\theta} \quad 2$$

Waarbij  $\mu$  de fractie natuurlijke sterfte van zaden in de zaadvoorraad is.

### Bestrijdingsdrempels

Er is een bestrijdingsdrempel  $K$ , waarboven wel en waarbeneden niet bestreden wordt. Als wordt aangenomen dat voor praktische waarden van schadedrempel de relatieve groeisnelheden van de populatie niet verschilt kan de bovenstaande vergelijking worden geschreven als

$$S_{t+1} = \begin{cases} aS_t & \text{als } S_t \leq K \\ bS_t & \text{als } S_t > K \end{cases} \quad 3$$

(met  $a = (1 - \gamma - \mu) + \zeta\gamma$  en  $b = (1 - \gamma - \mu) + \zeta\gamma(1 - k)$ )

Na enige rekenwerk volgt (Wallinga et al. 1993, in voorbereiding a) dat de verhouding van jaren wel bestreden ( $y_a$ ) tot jaren niet bestrijden ( $y_b$ ) is

$$\frac{y_b}{y_a} = -\frac{\log a}{\log b} \quad 4a$$

of relatief aantal jaren waarin bestreden wordt:

$$\frac{y_b}{y_a + y_b} = \frac{1}{1 - \log b / \log a} \quad 4b$$

De bestrijdingsfrequentie (als relatief aantal jaren waarin bestreden wordt) is dan afhankelijk van populatiedynamische parameters  $a$  en  $b$ , dat zijn de relatieve groeisnelheden van de populatie zonder en met bestrijding. De bestrijdingsfrequentie is niet afhankelijk van de waarde van de bestrijdingsdrempel ( $K$ ). Dit resultaat is eerder op een meer heuristische wijze verkregen in bijlage I.

### Aanpassing van dosis

Voor het bestuderen van effect van aanpassing in dosis van herbicide moet het model worden uitgebreid. Ten eerste met een dosis-respons curve van het herbicide. Cruciaal is hierbij dat we aannemen dat het effect minder dan proportioneel afneemt als dosis verlaagd wordt (dit is in overeenstemming met literatuur). Voor specifieke omschrijving van de dosis-responscurve wordt de formule van Streibig (1988) gebruikt, die in een werkbare vorm herschreven luidt:

$$k = \frac{k_{\max}}{1 + (\varepsilon/d)^\lambda} \quad 5$$

waarbij  $k_{\max}$  de maximale doding is die bereikt wordt met het herbicide,  $\lambda$  is een maat voor gevoeligheid van de respons voor de dosis  $d$ ,  $\varepsilon$  is de dosis waarbij de doding de helft van de maximale doding bedraagt.

Een tweede uitbreiding van het model betreft de relatie tussen relatief opbrengstverlies van het gewas  $Y_i$  en de onkruid plant dichtheid  $P_i$ . Deze relaties wordt beschreven met een hyperbolische dichtheid (cruciaal is hier dat opbrengst niet meer dan proportioneel afneemt met onkruidichtheid):

$$Y_i = \frac{Y_{\max}}{1 - \iota P_i} \quad 6$$

waarbij  $\iota$  een maat is voor concurrentiekracht van onkruid. De netto geldelijke opbrengst  $R$  wordt verkregen door van de bruto-opbrengst de herbicidekosten af te trekken:

$$R = \pi Y - (\eta d + \psi) \quad 7$$

waarbij  $\pi$  prijs van gewas is,  $\eta$  prijs van herbicide en  $\psi$  vaste kosten van herbicidetoediening. Het gebruik van stabiliteits-criterium houdt in dat het model in steady-state moet verkeren. Enig rekenwerk (substitutie van 5 in 2 en vervolgens in 1, invullen van de verkregen steady-state oplossing hiervan in 6 en 7) resulteert in de oplossing voor stabiele combinaties van toe te passen herbicide-dosis en netto-opbrengst. In bijlage I is getoond dat optimale beslissingsregels voor onkruidbestrijding resulteren in een stabiele situatie. Het omgekeerde is niet noodzakelijk waar, dat wil zeggen, niet alle stabiele situaties komen voort uit optimale beslissingsregels. Het weglaten van die stabiele situaties die niet uit optimale beslissingsregels kunnen voortvloeien, laat zien dat de doses die in stabiele optimale situaties kunnen voorkomen dicht bij elkaar liggen:

$$d \approx \varepsilon \left( \frac{k_{\max}}{1 - (\gamma + \mu)/\gamma \zeta} - 1 \right)^{-1/\lambda} \quad 8$$

in deze vergelijking zijn alleen nog maar parameters te vinden die betrekking hebben op populatiedynamica ( $\gamma$ ,  $\mu$ ,  $\zeta$ ) en op herbicide-effectiviteit ( $\varepsilon$ ,  $k_{\max}$ ,  $\lambda$ ). De gebruikte dosis op lange-termijn hangt dus af van populatiedynamica en herbicide-effectiviteit.

### Pleksgewijze bestrijding

Onder pleksgewijze bestrijding wordt hier verstaan: het verkleinen van schaal waarop bestrijdingsbeslissingen worden genomen. Dus in plaats van beslissingen te nemen over bestrijding van onkruid voor een perceel ter grootte van een hectare, worden nu besluiten genomen op kleine schaal, bijvoorbeeld per vierkante meter van dit perceel. Er wordt hier vanuit gegaan dat beslissing om een oppervlak niet te bespuiten alleen wordt genomen als op dat oppervlak helemaal geen onkruid staat. De herbicidebesparing komt dan overeen met het onkruidvrij oppervlak van het perceel op de schaal waarop de beslissing gemaakt wordt. De waarneming aan ruimtelijke verdeling van kleeftkruid in bijlage V geeft al een indicatie. Op het veldje van 18 m x 32 m stonden kleeftkruiden, dus op schaal van het veldje zelf was 100 % bedekt. Op kleinere schaal (0,375 m x 0,45 m zie Fig. V-1) bleek 30 % van het oppervlak bedekt. Als op zeer kleine schaal (bijvoorbeeld 0,001 m x 0,001 m) gekeken werd komt het oppervlak met onkruid bedekt overeen met het bladoppervlak van de onkruiden, hetgeen ruw geschat zou neerkomen op 5 % van het oppervlak.

Een theoretische verwachting hoe dat percentage onkruidvrij oppervlak varieert met schaal kan worden afgeleid met het ruimtelijk model (bijlage IV), de ruimtelijk expliciete evenknie van het model hierboven. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van de eigenschap van schaal-invariantie. Deze eigenschap geldt zowel voor het patroon gegenereerd door het model

(Fig. V-1) als voor het patroon waargenomen voor kleeftkruid. Dit houdt in dat de met onkruid bezette oppervlakte  $W$  van het veld bij beschouwing op schaal  $r$  een grootte heeft die afhangt van schaal  $r$  als:

$$W = a \times r^c$$

$a$  is een constante, en de exponent  $c$  is een karakteristiek voor het patroon (in wiskunde bekend als fractale co-dimensie). Voor het gesimuleerd patroon kan  $c$  worden geschat als  $c = 0.9$ . In woorden zegt deze relatie dat een 2-voudige reductie in herbicidegebruik en 2,2-voudige reductie in schaal van beslissing vereist. Bijvoorbeeld als op de helft van een perceel onkruid voorkomt bekeken op een schaal van 10 m x 10 m, dan wordt op een kwart van het perceel onkruid gevonden als het bekeken wordt op een schaal van 4,6 m x 4,6 m. Reductie van herbicidegebruik vereist een meer dan proportionele reductie in schaal waarop beslissingen gemaakt worden (zie Wallinga 1995a).

Belangrijk in deze analyse is het ontbreken van een schaal waarbij geen reductie meer wordt verkregen. Dit betekent dat verkleining van schaal direct een reductie in herbicidegebruik inhoudt. De mogelijke vermindering in herbicidegebruik wordt dus alleen beperkt door de mogelijkheden van betaalbare techniek om kleinschaliger te werken.