



Risico-beoordelingen onkruiden in biologische landbouw

Rapportage over resultaten project BI03 in 2003 en 2004
LNV-DWK programma 397-V

C. Kempenaar, P.O. Bleeker, D.A.G. Kurstjens, A. Lamour, G.J. Molema,
R.M.W. Groeneveld, M. Riemens & R.Y. van der Weide





Risico-beoordelingen onkruiden in biologische landbouw

Rapportage over resultaten project BIO3 in 2003 en 2004
LNV-DWK programma 397-V

C. Kempenaar¹, P.O. Bleeker³, D.A.G. Kurstjens², A. Lamour¹, G.J. Molema²,
R.M.W. Groeneveld¹, M. Riemens¹ & R.Y. van der Weide³

¹ Plant Research International

² Agrotechnology & Food Innovations

³ Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, AGV

© 2004 Wageningen, Plant Research International B.V.

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

Plant Research International B.V.

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

Inhoudsopgave

	pagina
1. Inleiding	1
2. Wetenschappelijk kader voor risico-beoordelingen	3
3. Werkwijze project BIO3 in 2003 en 2004	5
4. Knelpuntenoverzicht en keuze cases	7
4.1 Helikopter view op knelpunten in biologische landbouw	7
4.2 De knelpunten 'kosten' en 'beschikbaarheid arbeid' nader toegelicht	7
4.3 Opsomming knelpunten en keuze van cases	8
5. Risico's van ziekten en plagen door mechanische onkruidbestrijding	9
5.1 Inleiding	9
5.2 Ziekten	10
5.2.1 Veldwaarnemingen	10
5.2.2 Laboratoriumonderzoek	12
5.2.3 Expert judgement	12
5.3 Plagen	13
5.3.1 Veldwaarnemingen	13
5.3.2 Expert judgement	14
5.4 Samenvattend conclusies ziekten en plagen	14
5.5 De ziekteverwekker Botrytis nader bekeken	15
5.5.1 Botrytis in ui	15
5.5.1.1 Botrytis sp. in ui	15
5.5.1.2 Botrytis squamosa Walker	16
5.5.1.3 Botrytis allii	16
5.5.1.4 Botrytis cinerea	17
5.5.1.5 De biologische teelt van ui	17
5.5.1.6 Samenvattend en concluderend: Botrytis sp. in ui	17
5.5.2 Botrytis in tulp	18
5.5.2.1 Botrytis tulipae en tulp	18
5.5.2.2 De biologische teelt van tulp	18
5.5.2.3 Expert judgement	18
5.5.2.4 Samenvattend en concluderend: Botrytis tulipae. in tulp	19
5.6 Conclusies en aanbevelingen	19
5.7 Literatuur	19
6. Weersafhankelijkheid en bodemstructuurbederf bij mechanische onkruidbestrijding	23
6.1 Inleiding	23
6.2 Wetenschappelijke overwegingen	23
6.3 Analyse veronkruiding teelten peen en ui i.r.t. weer	27
6.4 Neerslagpatronen en de uitvoerbaarheid van mechanische onkruidbestrijding	30
6.4.1 Methode en aannames in het spreadsheetmodel	30
6.4.2 Effecten op lengte bewerkbare periode en uren handwieden	33
6.4.3 Opmerkingen over het realiteitsgehalte van deze simulaties	35

	pagina	
6.5	Effecten van oppervlakkige bewerking van de toplaag	36
6.5.1	Versmering onder natte omstandigheden	36
6.5.2	Oppervlakkige verdichting	36
6.5.3	Risicobeoordeling bewerking onder vochtige omstandigheden	38
6.5.4	Verkruimeling	38
6.5.5	Gevolgen van verkruimeling	39
6.6	Verdichting van wielsporen	41
6.6.1	Verdichtingstypen en structuurschade in relatie tot het bodemvochtgehalte	41
6.6.2	Gevolgen verdichting van wielsporen	43
6.7	Effecten in de context van het grondbewerkingssysteem	44
6.8	Discussie en oplossingsrichtingen	45
6.8.1	Toplaagstructuur	45
6.8.2	Verdichting van wielsporen	46
6.8.3	Aantal werkbare dagen	47
6.8.4	Perceptie van telers	48
6.9	Conclusies en aanbevelingen	49
	Referenties	51
7.	Verspreiding van onkruidzaden vanuit natuurgebieden of bermen via de wind	55
7.1	Theoretische beschouwing	55
7.2	Vervolgonderzoek en mogelijke resultaten	58
7.3	Literatuur	59
8.	Samenvatting	61
9.	Referenties bij hoofdstukken 1 t/m 4 en 8	63
Bijlage I.	Samenvatting perceptie van knelpunten m.b.t. onkruiden in biologische landbouw	2 pp.

1. Inleiding

Het huidige landbouwbeleid van de Nederlandse overheid is gericht op stimuleren van biologische landbouw. Alhoewel het areaal biologische landbouw in Nederland de laatste jaren toegenomen is, blijft de toename achter bij de beleidsmatig gewenste groei (LNV, 2000). Verschillende factoren spelen hierbij een rol, met verschillen tussen sectoren (Almasi *et al.*, 2000). De gesignaleerde factoren hebben betrekking op een ongunstige marktvrage of marktstructuur, dan wel hebben te maken met technische, bedrijfseconomische of maatschappelijke knelpunten.

Voor open teelten (vooral akkerbouw, vollegrondsgroenteteelt en bollenteelt) geldt dat angst voor veronkruiding een belangrijke drempel is voor omschakeling naar biologische landbouw (De Koeijer *et al.*, 2002; PPO, 2002). Onkruiden worden in biologische teelten voornamelijk bestreden door veelvuldige inzet van machines (eg, schoffel, vingerwieder e.d.) en menskracht (handmatig onkruidverwijderen). De kosten hiervan zijn relatief hoog ten opzichte van de totale teeltkosten en in vergelijking met geïntegreerde landbouw. Het is geen uitzondering dat (een deel van een) biologische teelt mislukt omdat het onkruid niet voldoende bestreden kon worden. Bij veronkruiding van een teelt neemt de onkruiddruk in de opvolgende teelt toe, waardoor in opvolgende jaren meer inspanningen geleverd moeten worden om het onkruid te bestrijden. Onkruidbeheersing kan hierdoor zelfs uit de hand lopen. Daarnaast, veelvuldige inzet van mechanische onkruidbestrijding kan nadelige effecten hebben op de bodemstructuur of het gewas.

In dit rapport wordt ingegaan op risico's aangaande onkruiden en veronkruiding in biologische landbouw, in het bijzonder voor akkerbouw, vollegronds groente- en bollenteelt. Het rapport is opgesteld vanuit het project BIO3; een onderdeel van het LNV-onderzoeksprogramma DLO-PO 397-V. In BIO3 zullen van 2003 tot en met 2005 een aantal risico's m.b.t. onkruiden in biologische landbouw nader bestudeerd en gekwantificeerd worden, met als doel ze minder belemmerend te laten zijn voor biologische landbouw in het algemeen, en innovaties binnen biologische landbouw in het bijzonder.

Dit rapport beschrijft de resultaten van het eerste en tweede projectjaar van BIO3. In het eerste projectjaar is vooral de denk- en werklijn ontwikkeld en in het tweede projectjaar zijn de gekozen cases gefocust en verder uitgewerkt.

Leeswijzer

- In hoofdstuk 2 wordt kort ingegaan op het begrip risico en afgeleide termen.
- In hoofdstuk 3 wordt kort aangegeven de werkwijze binnen BIO3 in 2003 en 2004.
- In hoofdstuk 4 wordt een knelpuntenoverzicht 'onkruiden in biologische landbouw' gegeven die geleid heeft tot keuze van cases (4 stuks).
- In de hoofdstukken 5 tot en met 7 worden de 4 cases besproken (case 2 en 3 zijn samengevoegd).
- Aan het eind van hoofdstukken 5 en 6 staan conclusies en aanbevelingen per case genoemd.
- In hoofdstuk 8 wordt een afsluitende samenvatting met conclusies en aanbevelingen op hoofdlijnen gegeven.

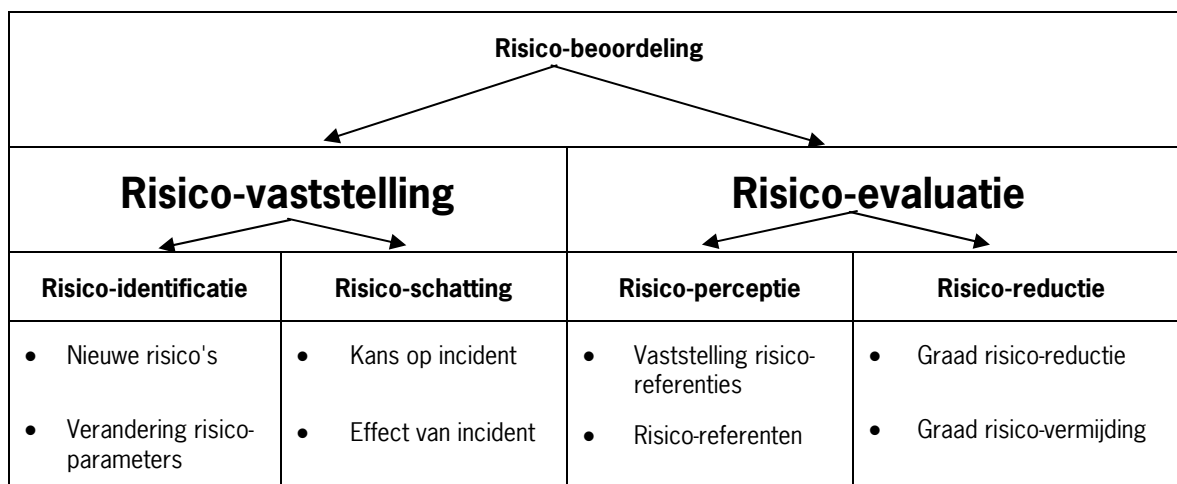
2. Wetenschappelijk kader voor risico-beoordelingen

De laatste jaren zijn risico-studies binnen de landbouw vooral gericht geweest op genetisch gemodificeerde organismen (ggo). Dit rapport gaat over risico's van onkruiden in biologische landbouw. In het rapport volgen we een gangbaar wetenschappelijke kader voor risico-beoordelingen, zoals recentelijk gepubliceerd voor ggo's (Zadoks, 2003). Dit kader wordt hierna kort toegelicht.

Discussies over risico's beginnen vaak met een opsomming van mogelijke gevaren of incidenten, van zaken die mis kunnen gaan bij een bepaalde activiteit. Het begrip activiteit kan hierbij erg breed zijn, in dit rapport gaat het over het runnen van een biologisch landbouwbedrijf. De onzekerheid in een opsomming van mogelijke neemt toe wanneer er nog maar weinig of geen ervaring met een bepaalde activiteit is. Als de opsomming op een redelijk objectieve wijze tot stand gekomen is, dan spreken we van een **gevaren-identificatie** (hazard identification in het Engels).

Bij een nadere analyse van mogelijke gevaren of incidenten spreken we van een **risico-schatting** (risk assessment in het Engels). In natuurwetenschappelijke beschouwingen geldt dat risico gelijk is aan kans op een incident vermenigvuldigd met de omvang van de gevolgen van het incident (zie o.a. Rowe, 1980; Levin & Strauss, 1991; Adams, 1995; Zadoks, 1999; Letourneau & Burrows, 2001). Voor een degelijke risico-schatting is kwalitatieve en kwantitatieve informatie nodig. Eerst is een omschrijving van de relevante processen nodig die van invloed zijn op het gevaar of incident. Daarna dienen een aantal aspecten gekwantificeerd te worden (waarschijnlijkheidsschattingen en kwantificering effect van het incident). Tot slot wordt in een risico-schatting gevaloriseerd, kans maal effect wordt uitgedrukt in kosten. Over het algemeen is het moeilijker de kans te schatten dan een bepaald incident zich voor zal doen dan het effect van het incident te schatten. Vanzelfsprekend is het schatten van kans en effect moeilijker wanneer er weinig of geen ervaring met de activiteit is.

In Figuur 1 staat het begrip risico-schatting geplaatst naast andere risico-begrippen (ter beschikking gesteld door Piet Scheepens). De allesomvattende term in Figuur 1 is **risico-beoordeling**. Een eerste splitsing is in **risico-vaststelling** en **risico-evaluatie**. Bij risico-vaststelling gaat het vooral om identificatie van (mogelijke) gevaren en kwantificeren van risico's op basis van objectieve gegevens. Risico-schatting en risico-vaststelling liggen wat dat betreft dicht bij elkaar. Bij risico-evaluatie staat de perceptie van mensen centraal. Hoe kijken zij tegen bepaalde gevaren aan. Schatten zij een risico groter of kleiner in dan objectief gezien nodig is. Risicomijdend gedrag wordt vaak vertoond als de gevolgen van een incident of gevaar groot geacht worden, ook al is de kans op het incident klein. **Risico-perceptie** is ten dele subjectief. Het is daarom uitermate belangrijk om aan te geven vanuit welk perspectief of voor welke doelgroep het risico wordt beschouwd (risico-referenten). Ook moet het geschatte risico zijn uitgedrukt in een begrijpelijke, relatieve maat (de risico-referentie). **Risico-reductie** en **risico-vermijding** zijn niet vrijblijvend, want ze kosten geld. Als de veroorzaker van het risico en degene die de lasten draagt verschillende personen of groepen zijn, kan er een spanningsveld liggen in wat de veroorzaker wil doen aan reductie en vermijding en wat het slachtoffer acceptabel vindt.



Figuur 1. Componenten van een risico-beoordeling.

In de cases die uitgewerkt worden in het eerste jaar van BIO3 project wordt zo veel mogelijk geprobeerd een objectieve risico-schatting te doen. Daarbij wordt gepoogd informatie te vinden die de kans en het effect van het mogelijk gevaar kwantificeert. Daarbij wordt ook naar risico-referenties gezocht, om te bezien hoe de risico-schattingen zich houden ten opzichte van de risico-perceptie.

Hierna worden nog twee andere kaders voor risico-studies genoemd. Risico kan gedefinieerd worden als een consequentie van het blootstellen aan onzekere omstandigheden. In het algemeen kunnen voor de landbouw 3 bronnen van risico benoemd worden (De Buck, 2001):

1. Persoonlijke omstandigheden. Financiën, kennis, vaardigheden, mogelijkheid om te leren, huiselijke situatie en de wens om te boeren zijn factoren die invloed kunnen hebben.
2. Externe socio-economische omstandigheden. Voorbeelden zijn markeigenschappen, landbouwindustrie, agribusiness, overheidsbeleid, consumentengedrag en prijschommelingen zijn hier enige voorbeelden van.
3. Fysieke productie omgeving/ klimaat. Onder deze noemer vallen factoren zoals het weer, gewaseigenschappen, het optreden van onkruiden, ziekten en plagen.

Deze drie bronnen hebben allen een andere mate van beïnvloedbaarheid voor de risico-loper. Het weer is een factor die niet te beïnvloeden is in buitenteelten en waarvan de gevolgen, droogte bijvoorbeeld, een grote inspanning kunnen vergen om tot een goed product te komen.

De Lauwere *et al.*, 2003, geven nog een ander kader om naar risico's te kijken. Zij geven aan dat telers bij het nemen van beslissingen waarmee risico's gemoeid zijn, om moeten gaan met onzekerheden. Zij geven een overzicht van deze onzekerheden, en onderscheiden daarbij:

1. Sociale onzekerheden. Hierbij gaat het vooral om een kritische of sceptische houding vanuit de omgeving.
2. (Teelt)technische onzekerheden. Hierbij gaat het om de beperking die het gekozen systeem (mogelijk) met zich meedragen.
3. Economische onzekerheden. De onzekerheid wordt hier in geld uitgedrukt.
4. Institutionele onzekerheden. Hier gaat om verwachtingen over hoe bepaalde instituties (denk aan overheid) zich zullen gedragen ten opzichte van het gekozen systeem.

3. Werkwijze project BIO3 in 2003 en 2004

In het begin van het project is vooral tijd geïnvesteerd in het op een rij zetten van definities over risico's en visies daarop van enkele Nederlandse gamma-wetenschappers. Het resultaat hiervan staat in hoofdstuk 3 beschreven. Gekozen is om vervolgens een risico-schatting te maken voor 4 onderwerpen (cases).

Er is begin 2003 eerst een opsomming gemaakt van knelpunten die de afgelopen jaren ooit ergens genoemd zijn in relatie tot onkruidbeheersing in biologische landbouw (zie Bijlage I). Deze opsomming is voorgelegd aan vertegenwoordigers van het BIOM-project, met de vraag een prioritering aan te geven in de knelpunten. Criteria voor de prioritering waren:

- het moet een reëel knelpunt zijn (enige onderbouwing van schade o.i.d. moet beschikbaar zijn),
- het knelpunt moet enig effect hebben op huidig handelen van telers, en, liefst, moet er zicht op een oplossing zijn.

Op basis van de prioritering zijn door de projectgroep 4 onderwerpen (cases) gekozen:

1. Mogelijk nadelige effecten van mechanische onkruidbestrijding op ontwikkeling ziekten en plagen in gewassen.
2. Mogelijk nadelige effect van mechanische onkruidbestrijding op structuurbederf van de bodem.
3. Veronkruiding in uien en peen in relatie tot weer e.a. factoren.
4. Import van onkruidzaden op biologische bedrijven vanuit bermen en natuurterreinen.

Vervolgens zijn per case een kleine groep deskundigen aan de slag gegaan om kwantitatieve informatie te vinden voor de risico-schatting. Daarbij hebben zij zich vooral gebaseerd op literatuurgegevens en expert judgement, soms aangevuld met gegevens uit interviews met derden. De deskundigen staan steeds bij de rapportage per case genoemd.

De eerste uitkomsten van de cases zijn begin 2004 met de klankbordgroep van LNV 397-V en vertegenwoordigers van het BIOM-project en 397 II besproken. Deze afstemming heeft geleid tot nadere focus per case en de samenvoeging van de cases 2 en 3 onder 1 noemer (zie hoofdstuk 6). Tevens werd aangegeven dat het zwaartepunt bij case 1 zou moeten liggen (is doorgevoerd, zie hoofdstuk 5). Case 4 is nog niet tot een afronding gekomen in 2004. Hiervan worden de eerste resultaten gepresenteerd (zie hoofdstuk 7). De resultaten tot nog toe worden samengevat in hoofdstuk 8.

4. Knelpuntenoverzicht en keuze cases

4.1 Helikopter view op knelpunten in biologische landbouw

De onkruidproblematiek van de biologische landbouw wordt vaak teruggeleid naar twee factoren (zie o.a. Leferink & Adriaanse, 1998; Lotz *et al.*, 2000): a) de kosten van onkruidbeheersing in de biologische landbouw (open teelten) zijn relatief hoog en b) de beschikbaarheid van arbeidskrachten voor bestrijding van de onkruiden is beperkt (zie Box). Bij de berekening van de kosten is hierbij uitgegaan van twee scenario's. Scenario 1 geeft de kosten weer uitgaande van de huidige loonkosten per uur voor ongeschoolde arbeid. In scenario 2 is rekening gehouden met het feit dat er een tekort is aan ongeschoolde arbeid zodat de loonkosten van geschoolde arbeid moeten worden betaald.

Onkruidproblematiek in biologische akkerbouw en groenteteelt in vollegrond (agv)			
– Arbeidsvraag handmatig onkruidwieden			
○	Vraag per ha: 28 uur handmatig onkruidwieden per jaar (Lotz <i>et al.</i> , 2000)		
○	Vraag kent piek gedurende 10 weken in mei, juni en juli		
○	Vraag in 2000: 1% biol. agv (=11.000 ha)	⇒ 308000 uur, 770 arbeidskrachten	
○	Vraag in 2010: 10% biol. agv	⇒ 3080000 uur, 7700 arbeidskrachten	
– Arbeidskosten handmatig onkruidwieden			
		<u>scenario 1</u>	<u>scenario 2</u>
○	Loonkosten per uur	15,-	40,-
○	Kosten per ha (gem. 28 uur per ha)	420,-	1120,-
○	Specifiek in graan (gem. 5 uur per ha)	75,-	200,-
○	Specifiek in uien (gem. 175 uur per ha)	2625,-	7000,-
○	Kosten per agv-bedrijf 37 ha (Langelaan <i>et al.</i> , 1999)	16000,-	41000,-

4.2 De knelpunten 'kosten' en 'beschikbaarheid arbeid' nader toegelicht

Een verdere uitwerking van de problemen met betrekking tot de factoren van de hoogte van de arbeidskosten en de beschikbaarheid van de arbeidskrachten is gemaakt op basis van de uitkomsten van een workshop in juli 2000 waarin circa 50 telers de door hen geconstateerde knelpunten binnen biologische onkruidbeheersing hebben aangegeven (Buizer, 2000). Daarnaast wordt de beschrijving aangevuld op basis van expert judgement.

De kosten van onkruidbeheersing in biologische landbouw worden op de eerste plaats sterk beïnvloed door het feit dat er veel onkruiden kunnen ontwikkelen in biologische teelten. Indien er geen maatregelen tegen deze onkruiden genomen worden, kan en zal er schade ontstaan door:

- gewas-onkruidconcurrentie om licht, water en nutriënten,
- belemmering van oogstwerkzaamheden door onkruiden,
- verontreiniging van het oogstbare product met onkruidzaden (bijvoorbeeld giftige bessen van zwartenacht-schade in conservenerwten),
- vermeerdering van ziekten en plagen op onkruiden (onkruiden kunnen daarentegen ook gewenste organismen stimuleren),
- vermeerdering van onkruiden op het perceel (vergroting zaadbank) waardoor in opvolgende teelten de onkruidproblematiek groter wordt.

De genoemde (biologische) processen verklaren een deel van de onkruidproblematiek in biologische landbouw.

De kosten van onkruidbeheersing in biologische landbouw worden verder sterk beïnvloed door het feit dat de toegestane bestrijdingsmethoden onvoldoende effectief zijn. Het gaat hier vooral om mechanische (bijvoorbeeld onkruid-schoffelen of -eggen) en fysische (bijvoorbeeld onkruidbranden) methoden. Deze methoden kunnen tot op heden niet of nauwelijks in gewasrijen toegepast worden waardoor veel onkruid ontsnapt, en er als nog aanvullende handmatige maatregelen nodig zijn. Telers noemen de volgende tekortkomingen van de huidige bestrijdingsmethoden:

- te weinig effectiviteit in de gewasrij,
- te geringe bedrijfszekerheid onder ongunstige weersomstandigheden,
- te grote kans op structuurbederf van de bodem bij intensief gebruik,
- te grote kans op hoge milieubelasting bij intensief gebruik (erosie en energiegebruik).

Tot slot worden de kosten van onkruidbeheersing sterk beïnvloed door inzet van handmatige onkruidbestrijding. Door de beperkingen van de huidige mechanische en fysische bestrijdingsmethoden (onvoldoende effectiviteit), blijft de onkruiddruk groot. Ontsnappende onkruiden worden zo veel mogelijk handmatig bestreden. De inzet van handmatige onkruidbestrijding kan oplopen tot bijna 200 uur handmatig onkruidwieden per ha (zie o.a. Lotz *et al.*, 2000). De kosten die gepaard gaan met deze arbeidsinzet zijn aanzienlijk.

De inzet van handmatige onkruidbestrijding in biologische landbouw kent naast de kostenkant meer ongunstige eigenschappen. Het belangrijkste knelpunt in deze is dat de beschikbaarheid van arbeidskrachten voor handmatige onkruidbestrijding beperkt is (zie o.a. Lotz *et al.*, 2000; Van der Weide, 2000). Telers zijn genoodzaakt van buiten hun bedrijf arbeidskrachten aan te trekken voor handmatige onkruidbestrijding. De problemen die hierbij gesignaleerd worden, bestaan uit:

- een beperkte beschikbaarheid van arbeidskrachten,
- een ongunstige arbeidsfilm bij onkruidbestrijding (werkzaamheden vallen vooral in mei en juni),
- een geringe motivatie bij arbeidskrachten.

4.3 Opsomming knelpunten en keuze van cases

In Bijlage I staat het overzicht van knelpunten m.b.t. onkruiden in biologische landbouw. Deze opsomming is de eerste stap in een risico-vaststelling, nl. het identificeren van mogelijke problemen/gevaren. De lijst moet dan ook als opsomming van mogelijke knelpunten gezien worden. De lijst is tot stand gekomen op basis van zaken die als in 4.1. en 4.2 genoemd staan met aanvullingen van BIOM analyses.

Op basis van eerder genoemde criteria is gekozen om te werken aan 4 knelpunten:

1. Mogelijk nadelige effecten van mechanische onkruidbestrijding op ontwikkeling ziekten en plagen in gewassen.
2. Mogelijk nadelige effect van mechanische onkruidbestrijding op structuurbederf van de bodem.
3. Veronkruiding in uien en peen in relatie tot weer e.a. factoren.
4. Import van onkruidzaden op biologische bedrijven vanuit bermen en natuurterreinen.

De cases 2 en 3 zijn in later stadium samengevoegd tot 1 case.

5. Risico's van ziekten en plagen door mechanische onkruidbestrijding

Marleen Riemens¹⁾, Piet Bleeker²⁾, David van der Schans²⁾, Jeroen Wijnker³⁾ & Rommie van der Weide²⁾

¹⁾ Plant Research International

²⁾ PPO-AGV en ³⁾ PPO-Bollen en Bomen

In deze case wordt een overzicht gegeven van literatuurgegevens en zijn experts gevraagd naar hun mening. Met dit overzicht is getracht zicht te krijgen op het risico van ziekten (door bijv. schimmels) en plagen (door bijv. insecten) in het algemeen en het risico op infecties met *Botrytis* species na beschadiging als gevolg van mechanische onkruidbestrijding in het bijzonder.

5.1 Inleiding

Het is algemeen bekend dat beschadigingen aan het gewas door mechanische onkruidbestrijding kunnen optreden. Praktijkwaarnemingen in het veld komen o.a. uit studies in granen (Darwinkel, Timmer *et al.*, 1993), stamslabonen (Timmer, Jonkers *et al.*, 1993), ijsbergsla (Van Egteren, 1998), sla (Bleeker & Weide, 1999) en peen (Fogelberg & Gustavsson, 1999).

In de veldstudies is gekeken naar de mortaliteit van de planten na een onkruidbestrijding en een eventuele daarmee corresponderende opbrengstreductie. De mortaliteit en opbrengstreductie bleken af te hangen van het type machine, de instelling van de machine, de rijsnelheid, het grondtype, het gewas en het gewasstadium. Zo kan eggen in granen tussen opkomst en het 2-bladstadium van het gewas schade veroorzaken en kan door te eggen in stamslabonen, afhankelijk van de instelling van de machine, de rijsnelheid, het grondtype en het gewasstadium, de schade oplopen van 1 tot incidenteel 23% uitval van planten. Normaliter is de gewasopbrengstreductie als direct gevolg van de mechanische beschadigingen gering (meest 0%, soms 2% in granen of 4% in erwten (Weide, Spoorenberg *et al.*, 1993).

In deze case wordt ingegaan op een indirect effect van mechanische onkruidbestrijding, de kans op ziekten of plagen als gevolg van mechanische bestrijding. Er wordt een overzicht gegeven van literatuurgegevens en expert judgement. Met dit overzicht is getracht zicht te krijgen op het risico van ziekten en plagen in het algemeen en het risico op infecties met *Botrytis* sp. na beschadiging als gevolg van mechanische onkruidbestrijding. Daarbij is gekozen voor de gewassen ui en tulp. De resultaten staan per pathogeen type beschreven.

Leeswijzer

In dit hoofdstuk wordt:

- in 5.2 informatie uit het veld, laboratoria en expert judgement voor ziekten gegeven;
- in 5.3 informatie uit het veld en expert judgement voor plagen gegeven;
- in 5.4 een algemene samenvatting ziekten en plagen gegeven;
- in 5.5 de kennis over *Botrytis* nader beschouwd;
- 5.6 bevat samenvattende conclusies en aanbevelingen;
- 5.7 bevat referenties.

5.2 Ziekten

5.2.1 Veldwaarnemingen

In de meeste veldonderzoeken die werden geëvalueerd met verschillende onkruidbestrijdingssystemen werden de ziekten en plagen op de gebruikelijke wijze chemisch bestreden. Indien ziekten en plagen niet of hooguit incidenteel voorkwamen en niet gerelateerd waren aan de behandelingen, werden er geen aparte waarnemingen aan gedaan. Slechts in een beperkt aantal veldonderzoeken kwam er wel voldoende ziekte of plaag voor zodat de aantasting ook geregistreerd werd.

Uit een veldonderzoek van Bleeker & Van der Weide (1999) bleek dat er geen verhoogde kans op bolrot en smet in sla was door gebruik van mechanische onkruidbestrijding, ondanks gewasbeschadiging. Gedurende 2 jaar keken zij naar de effecten van eggen en schoffelen, al dan niet in combinatie met de vinger- of torsiewieder, op de opbrengst, de beschadiging van de krop en de bolrot- en smetontwikkeling in sla. Er werden geen significante verschillen ten opzichte van de controle of elkaar gevonden (Tabel 1). Wel vond er meer gewasschade plaats in de objecten waarin de torsiewieder was gebruikt dan in de overige objecten (Bleeker & Weide, 1999). Een zelfde proef is in 1999 en 2000 uitgevoerd in de ijsbergsla (Tabel 2) en ook in die veldproef werden geen significante verschillen gevonden ten opzichte van de controle of elkaar (Bleeker & Van der Weide, 2001).

Tabel 1. Opbrengsten en % bolrot en smet in ijsbergsla van proefveld in Lelystad (Bleeker & Weide, 1999).

Object	Gem. kropgew. veilbaar in gr.	% Veilbare kroppen	% Bolrot en smet
Onbehandeld 1	691	93.1	4.4
Onbehandeld 2	735	93.7	5.0
Legurame + chloorIPC (5+1.5 l)	710	93.1	3.8
Vingerwieder +schoffelen	717	94.4	3.1
Torsiewieder +schoffelen	724	90.6	1.9
Schoffelen	743	92.5	5.6
F-prob	0.872	0.901	0.772
LSD	61.29	6.893	5.673
Df	18	18	18

Tabel 2. Opbrengsten en % smet in ijsbergsla (Bleeker & Van der Weide, 2001).

Jaar	1999			2000		
	Gem. kropgewicht veilbaar (g)	Plantuitval (%)	Smet (%)	Gem. kropgewicht veilbaar (g)	Plantuitval (%)	Smet (%)
Onbehandeld	674	1.9	0.6	849	0	10.6
Chemisch	682	0	1.2	873	2.5	10.6
Torsiewieder+ schoffelen	651	1.3	3.8	859	4.4	6.2
Vingerwieder+ schoffelen	659	0.6	1.9	879	0.6	8.1
Schoffelen	656	0	1.3	876	0	10.6
F-prob	0.179	0.614	0.191	0.597	0.052	0.473
Lsd	66.62	2.32	3.31	91.55	2.99	11.11

Soortgelijke resultaten werden gevonden in veldproeven met aardbeien (Tabel 3) (Bleeker, 2001). Ook hier werd in mechanisch bestreden percelen geen significant hogere *Botrytis* aantasting gevonden.

Tabel 3. Opbrengsten na verschillende onkruidbeheersingsmethoden in aardbei (Bleeker, 2001).

Object	Totaal aardbei klasse I	Totaal aardbei < 28 mm	Uitschot (droog, misvormd)	Rotte aardbeien	% Uitval t.o.v. de totale opbrengst
Onbehandeld+ stro	10645	1234	1543	5051	36.3
Praktijk chemisch + stro (0,4 kg/ha simazin en 4 l/ha betanal)	21899	3214	2248	1785	13.9
Mechanisch + stro schoffelen + vingerwieder	20337	2840	2130	3807	20.6
Vingerwieden en schoffelen					
Gemiddeld	15514	2426	1708	2849	21
F-prob.	<0.001	<0.001	1.1	<0.001	<0.001
LSD 5%	2633	599	559	1114	6.372

In een veldproef met verschillende onkruidbestrijdingstrategieën in aardbei (Evenhuis, Van der Schans *et al.*, 2003) kwam in een proefveld in wachtbedden geen significant hoger aantal planten met *Phytophthora* voor in de objecten die mechanisch onkruidvrij waren gehouden. Wel trad op deze objecten een significant hoger plantverlies op, met name bij het gebruik van de torsiewieder.

Het proefveld was aangelegd op een perceel waar aardbeien niet intensief worden verbouwd. Waarschijnlijk is de grond niet zwaar besmet met deze bodemschimmel. In de praktijk heb je wel vaak te maken met percelen met intensieve aardbeiteelt en een hoge besmetting met *Phytophthora* (Tabel 4). Wellicht zou mechanische onkruidbestrijding op deze zwaarder geïnfecteerde gronden wel van invloed zijn op de verspreiding en of verhoging van de ziekte in het veld.

Tabel 4. Ziekte aantasting in wachtbed planten bij verschillende onkruidbestrijdingssystemen op Proeftuin Meterikseveld. Chemisch 1: Fenmedifam, chemisch 2: Fenmedifam+ Quizalofop-P-ethyl (Evenhuis, Van der Schans *et al.*, 2003).

	Chem 1	Chem 2	Eggen	Schoffel smal (26 cm) +vinger	Schoffel smal (26 cm) +vinger	Schoffel smal (26 cm) +torsie	Schoffel smal (26 cm) + eg	Schoffel breed (31 cm) +vinger	Schoffel breed (31 cm) +vinger	Schoffel breed (31 cm) +torsie
Maat voor Phytophthora aantasting	6.3	5.4	7.3	6.8	6.3	6.8	6.8	6.8	6.8	6.3
% Uitval door ziekte	0.42	6.67	0	1.67	2.08	0.42	2.08	0.42	0.83	3.33
% Uitval totaal	2.5	7.1	4.6	4.6	7.9	32.1	14.2	8.8	4.2	18.3

5.2.2 Laboratoriumonderzoek

Ondanks het uitblijven van verschillen in de beschreven veldstudies is het zeer wel mogelijk dat beschadigingen van de plant invloed hebben op het verloop van ziekten in het gewas. Immers, verwondingen vormen niet alleen een continue dreiging voor de overleving van de plant door vernietiging van fysiek plantenweefsel, maar ook een gemakkelijke route voor pathogenen om de plant binnen te dringen (Cheong, Chang *et al.*, 2002). Zo dringen bacteriën de plant meestal binnen via wondweefsel, minder vaak via natuurlijke openingen en penetreren ze nooit direct het plantenweefsel. De meeste schimmels en bacteriën kunnen zowel vers als oud (necrotisch) wondweefsel binnendringen. Na penetratie van het verwondde weefsel vermeerderen of kiemen de organismen in het wondsap of in een laagje regen- of dauwwater op de wond. Vervolgens vindt de penetratie van nabijgelegen gezonde cellen plaats, ofwel direct of door het uitscheiden van toxines die de cellen doden (Agrios, 1997).

Het binnendringen van wondweefsel is ook aangetoond in laboratoriumstudies. Een voorbeeld van zo'n studie is die naar de ontwikkeling van *Fusarium hostae* op hosta's. Hostaplanten waarvan de wortels en de top met een met *F. hostae* besmette scalpel waren beschadigd hadden vaker symptomen (18 van de 24 geteste planten: 75%) dan onbeschadigde planten die wel met *F. hostae* waren besmet (10 van de 30 planten: 33%). Daarnaast was de ontwikkeling van de ziekte (vastgesteld met behulp van de parameters plantgewicht en mate van symptomen) groter op planten die, alvorens ze met een conidiumsuspensie te besmetten, eerst waren beschadigd dan van planten die met een besmette scalpel waren beschadigd.

Uit dit onderzoek bleek verder dat de ziekteontwikkeling ook beïnvloed werd door het type verwonding: schade aan de wortels alleen leverde een lagere ziekteontwikkeling op dan schade aan zowel wortels als top (Wang & Jeffers, 2002).

Uit de studie van Wang & Jeffers blijkt dat de kans op infectie tijdens de beschadiging kleiner is dan de kans op infectie na beschadiging. Dit fenomeen is ook waargenomen door Scott (1993) in granen; *Fusarium* spp vormden daar de secundaire indringers van wortel- en kroonweefsel nadat deze door een fysieke factor of door een ander organisme beschadigd waren. Met andere woorden; infectie met organismen zoals *Fusarium* vindt waarschijnlijk plaats na beschadiging en niet tijdens de onkruidbestrijding. Voor *Pythium* spp. geldt hetzelfde onder natte omstandigheden; dit organisme overleeft als latente rustspore in de bodem en kan bij nat weer verwond plantweefsel binnendringen (Scott, 1993).

De kans op succesvol binnendringen van het pathogeen is daarbij het grootst binnen 24 uur na beschadiging en neemt daarna geleidelijk af, maar blijft gedurende 3 dagen hoger dan voor onbeschadigde gewassen (Stutz, Leath *et al.*, 1985).

5.2.3 Expert judgement

Voor bolgewassen in het algemeen is de inschatting dat er alleen een verhoogde kans is op verspreiding van sommige bodemschimmels, zoals *Rhizoctonia solani*, *Rhizoctonia tuliparum* of *Sclerotinia bulborum*. Voor *Rhizoctonia* is de verwachting dat mechanische onkruidbestrijding niet leidt tot extra aantasting. De onkruidbewerking zelf beïnvloedt de laag grond dusdanig (er wordt een droge en rulle laag gevormd) dat *Rhizoctonia* sp. geen kans krijgen. Het risico van een *Sclerotinia* aantasting in hyacinten als gevolg van mechanische onkruidbestrijding is niet van toepassing. *Sclerotinia* van geelziekte (*Xanthomonas hyacinthi*) kunnen zeer waarschijnlijk gemakkelijk via machinale mechanische onkruidbestrijding verspreid worden. Deze ziekte komt veel voor in hyacinten en wordt minder vaak aangetroffen wanneer niet machinaal mechanisch gewied wordt (pers. comm. Jeroen Wijnker).

De kans dat een verhoogde infectiegraad van *Fusarium* optreedt, is naar verwachting zeer klein. De aantasting vindt in de diepere bodemlaag plaats en niet in de bovenste 2-3 cm waar de eventuele beschadiging optreedt (pers. comm. Jeroen Wijnker).

In akkerbouwgewassen is *Phytophthora infestans* in de aardappel één van de belangrijkste ziekten. De risico's ten aanzien van mechanische onkruidbestrijding lijken bij deze ziekten verwaarloosbaar. De ziekte dringt niet via wondweefsel de plant binnen en ontwikkelt zich pas ruim na de mechanische onkruidbestrijding. Verder is de natuurlijke verspreiding, bijvoorbeeld via vocht, vele malen effectiever dan versleping.

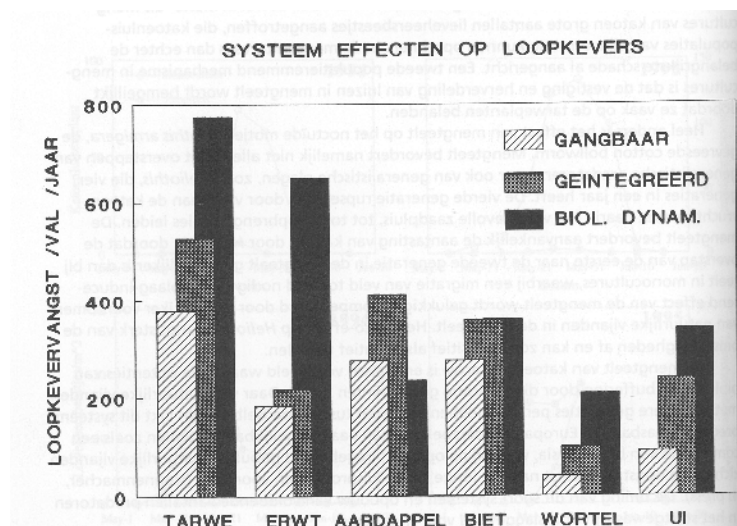
5.3 Plagen

5.3.1 Veldwaarnemingen

Alhoewel er enkele veldstudies in de literatuur beschreven staan waarin gekeken wordt naar mechanische onkruidbestrijding en plagen, is het aantal gering en zijn de gevonden effecten niet direct aan mechanische onkruidbestrijding toe te schrijven.

Er zijn effecten gevonden van mechanische onkruidbestrijding in proeven met maden van de koolvlieg in bloemkool, spitskool, broccoli, savooienkool, rode en witte kool in geïntegreerde teelten. Planten van met insecticiden gecoat zaad werden na aanaarden toch aangetast door de larven. Oorzaak hiervan is dat het insecticide zich in de planten verspreid in het onderste deel van de plant, tot aan de inplanting van het eerste blad. Na aanaarden is dit gedeelte bedekt en kunnen de insecten zonder in aanraking te komen met het insecticide toch bij de bladeren komen. In dit opzicht heeft een mechanische bewerking wel een negatief effect op de plaagbestrijding, dit speelt echter bij een geheel biologisch systeem geen rol. Geen enkel plantendeel wordt daar immers beschermd door een chemisch middel (Ester, 1998).

In een studie van Booij *et al.* (1995) is gekeken naar de invloed van gewas- en bedrijfssystemen op de talrijkheid c.q. activiteit van loopkevers (Figuur 1). Deze predatoren zijn vaak minder gewasspecifiek als plaagorganismen zoals luizen en trips, maar hun talrijkheid, reproductie en overleving kan sterk van gewas tot gewas variëren. Dat hangt samen met de beschikbaarheid van voedsel (prooi), microklimaat en de gewasspecifieke teeltmaatregelen. Aspecten zoals bodembewerking, oogsttijdstip, bespuitingen en de aanwezigheid van bodembedekking zijn van doorslaggevende betekenis voor de overleving van deze kevers in het veld. Maatregelen die deze aspecten voor de loopkever nadelig beïnvloeden of soortgelijke aspecten voor andere antagonisten, zullen daarmee het gehele populatieniveau op bedrijfsschaal verkleinen en daarmee de risico's voor plaagontwikkeling vergroten. De invloed van teeltsystemen op de meeste natuurlijke vijanden en plaagorganismen is echter voor het grootste deel onbekend (Booij, Van der Werf *et al.*, 1995). Wel is duidelijk dat de aantallen loopkevers op gangbare en geïntegreerde bedrijven lager zijn als op biologisch dynamische bedrijven en dat er op deze laatste bedrijven meer mechanische onkruidbestrijding plaatsvindt. Er zijn momenteel te weinig data om een risico-analyse uit te voeren naar de kans dat plagen na mechanische onkruidbestrijding al dan niet vaker/minder vaak optreden en het verschil in aantal loopkevers toe te schrijven aan mechanische onkruidbestrijding.



Figuur 1. Invloed van gewas en bedrijfssysteem op de talrijkheid/activiteit van loopkevers. Gegevens afkomstig uit Booij *et al.* (1995).

Ook is er in deze studie specifiek gezocht naar eventuele negatieve effecten van machinale onkruidbestrijding op predatoren zoals spinnen en loopkevers, maar daarbij is niets gevonden.

5.3.2 Expert judgement

Het is van zowel bovengrondse als ondergrondse plaagorganismen bekend dat ze aangetrokken worden door geurstoffen die door planten worden afgescheiden. Geurstoffen die echter door beschadigde planten worden afgescheiden, zijn er op gericht natuurlijke vijanden van de herbivoren aan te trekken, zowel bovengronds (Dicke, Sabelis *et al.*, 1990) als ondergronds (Riemens, Zoon *et al.*, 2003). Beschadiging van planten zal leiden tot een hoger aantal natuurlijke vijanden (waartoe zowel insecten als nematoden behoren) waardoor ook het aantal herbivoren gereduceerd zal worden. Er zijn geen studies bekend waarin gekeken is naar de directe effecten van mechanische beschadigingen van de plant op plaagorganismen in het veld. Doordat in het veld naast componenten die door de plant worden uitgescheiden vele andere geurstoffen uit de omgeving in/boven het veld aanwezig zijn, is het zeer gecompliceerd om het gedrag van een plaagorganisme aan een bepaalde geurstof en dus beschadiging toe te kunnen schrijven. In theorie kan beschadiging in het veld leiden tot de aantrekking van de herbivore organismen en daarmee een toename van de plaag veroorzaken. Deze beschadiging zal echter ook zeer waarschijnlijk natuurlijke vijanden aantrekken, waardoor de populatie juist gereduceerd wordt. Er bestaan wel geluiden uit de praktijk waarin wordt vermeld dat de wortelvlieg op de streep af in de stukken wortel zit waar net gehandwied werd. Er wordt gedacht dat dit het gevolg is van vrijkomende geurstoffen bij beschadiging van de planten a.g.v. handwieden. Er zijn ook mede vanwege de complexiteit van het geheel geen veldstudies uitgevoerd waarin direct is gekeken naar de effecten van mechanische onkruidbestrijding op het risico van plagen.

Om verspreiding van aaltjes van perceel naar perceel te voorkomen, worden in de praktijk machines na bewerking van het land van grondresten ontdaan. Nematoden kunnen zich in de grond die aan de machines blijft hangen bevinden en zo verspreid worden. Dit geldt ook voor de machines die voor mechanische onkruidbestrijding gebruikt worden. Voor aardappelcyste-aaltjes is een verband gevonden tussen het verspreidingspatroon van de nematoden over het veld en de richting waarin geploegd is. Omdat nematoden zich zeer waarschijnlijk in haarden in het veld bevinden, zal een groundbewerking in veel gevallen leiden tot een homogenisering van de aaltjes over het veld. Het is onduidelijk of deze homogenisering vervolgens een positief of negatief effect heeft op de infectie van het gewas met de nematoden. De hoeveelheid grond en de diepte waarvandaan de grond verspreid wordt, zijn dan van belang (pers. comm. Hans Kok). De vorming van eventueel wondweefsel op de wortels is niet van belang voor een hogere infectiegraad met nematoden, omdat deze organismen actief de wortels binnendringen en geen voorkeur voor wondweefsel hebben.

5.4 Samenvattend conclusies ziekten en plagen

Op dit moment zijn er geen duidelijke bewijzen voor het optreden van ziekten en plagen na mechanische onkruidbestrijding. Wel is duidelijk dat het optreden van ziekten na een mechanische onkruidbestrijding waarschijnlijk zal afhangen van het type gewas, de weersomstandigheden, het aanwezig zijn van het pathogeen in het veld, het soort verwonding en het type pathogeen. Al deze omstandigheden moeten in het voordeel zijn van de ontwikkeling van het pathogeen voordat er daadwerkelijk een verhoogde ziektedruk in het gewas zal optreden.

De nu algemeen heersende inschattingen van het risico voor ziekten en plagen als gevolg van mechanische onkruidbeheersing zijn zeer waarschijnlijk te hoog. De daadwerkelijke risico's dienen echter per gewas en schadeverwekker afgewogen te worden. Voor elke gewas-pathogeen combinatie is het nodig om de relatie met factoren als weersomstandigheden, het soort verwonding, het moment waarop de bewerking uitgevoerd wordt en de fase waarin zowel de levenscyclus van de plant als het pathogeen zich bevindt, infectie tijdens of na verwonding, de snelheid waarmee wonden genezen en de levensduur van een pathogeen onder bepaalde omstandigheden, etc. te bepalen voordat men de kans dat een risico optreedt kan inschatten. Dit kan interessant zijn om te doen voor 1 of 2 pathosystemen.

Daarnaast moet bedacht worden dat planten na verwonding vaak een versterkt afweermecanisme hebben, hetzij door de vorming van celwandverstevingingen, afsterven van geïnfecteerd weefsel (necrose) of biochemische reacties (Agrios, 1997) die infectie van de plant na verwonding bemoeilijken. Dit geldt echter niet of in mindere mate voor necrotrofe pathogenen, er zijn gevallen bekend (bijv. *Botrytis cinerea*) die juist door de overgevoeligheidsreactie en daarmee gepaard gaand afsterven van weefsel een versnelde infectie kunnen bewerkstelligen (Mayer, Staples *et al.*, 2001).

Ook kunnen bepaalde groundbewerkingen die ook een onkruidbestrijdende werking hebben, de ziektedruk in een gewas verminderen. Diep ploegen bijvoorbeeld blijkt het optreden van *Rhizoctonia cerealis*, (Colbach, Lucas *et al.*, 1997) en *Rhizoctonia solani* (Carter & Sanderson, 2001) (Tan & Tu, 1994) in respectievelijk wintertarwe, aardappel en bonen significant te verminderen. Daarnaast is waargenomen dat door het losmaken van de bovengrond sclerotinia onderdrukt kan worden.

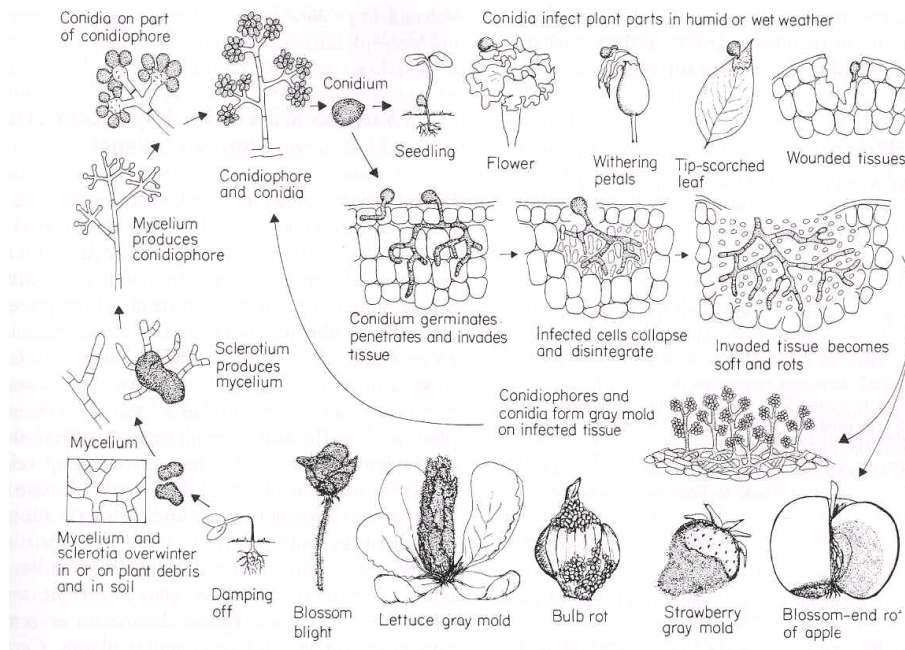
5.5 De ziekteverwekker *Botrytis* nader bekeken

In de volgende paragrafen wordt het resultaat beschreven van een analyse waarin is getracht aan de hand van de levenscyclus van de belangrijkste *Botrytis* sp. in ui en tulp, stadia van het gewas en het aantal maal dat en moment waarop bewerkingen in het gewas plaatsvinden, de kans op verhoogde infectie als gevolg van mechanisatie inzichtelijk te maken.

5.5.1 *Botrytis* in ui

5.5.1.1 *Botrytis* sp. in ui

Ziekten veroorzaakt door *Botrytis* species zijn zeer waarschijnlijk de meest voorkomende ziekten ter wereld in groenten, fruit, siergewassen en zelfs sommige akkerbouwgewassen. De schimmel overwintert als mycelium of als sclerotia in de bodem of op plantenresten (Agrios, 1997). Vervolgens groeit het mycelium uit of wordt er mycelium gevormd vanuit de sclerotia (primaire infectie). Na enige tijd worden er conidiophoren op het mycelium gevormd die vervolgens op hun beurt conidia produceren (Figuur 2). Productie van conidiophoren vindt voornamelijk plaats onder vochtige omstandigheden en vormen de voor deze schimmels typerende grijze laag. Deze conidia infecteren vervolgens andere planten (secundaire infectie) (Agrios, 1997). De conidia zijn meestal droog en worden verspreid door de wind en soms vindt verspreiding plaats via conidia die zich op of in waterdruppels bevinden (Jarvis, 1980). *Botrytis* sp. behoren tot de zogenaamde necrotrofe plantpathogenen: micro-organismen die zich voeden met dood organisch weefsel. *Botrytis* sp. zijn zogenaamde wondpathogenen; ze zijn in staat om via verwondingen de waard binnen te dringen. Het kan dan gaan om vers wondweefsel (Köhl, Molhoek *et al.*, 1991; Mayer, Staples *et al.*, 2001) maar meestal dringt *Botrytis* binnen via afgestorven weefsel van de waard en verspreid zich dan verder naar het gezonde weefsel (Staples & Mayer, 1995). Penetratie van gezonde, levende cellen wordt bewerkstelligd door het uitscheiden van enzymen die de celwanden van de waardplant kunnen (Staples & Mayer, 1995; Mayer, Staples *et al.*, 2001).



Figuur 2. Levenscyclus en ontwikkeling van *Botrytis* sp. (overgenomen uit Agrios, 1997).

Over het algemeen komt *Botrytis cinerea* in Nederland (en ook Duitsland) het meeste voor. In het verleden werd ook *Botrytis squamosa* Walker nog regelmatig aangetroffen in uien, maar door het gebruik van fungiciden tegen valse meeldauw vormt deze *Botrytis* sp. een steeds kleiner probleem in de uienteelt. Wereldwijd is de meeste schade aan ui als gevolg van een *Botrytis* infectie aan deze soort toe te schrijven. In Nederland, Duitsland en ook België veroorzaakt echter *Botrytis aclada*/allii de meeste economische schade in ui (pers. comm. Jürgen Köhl). Deze drie *Botrytis* sp. staan hieronder beschreven.

5.5.1.2 *Botrytis squamosa* Walker

B. squamosa veroorzaakt de zogenaamde vlekkenziekte; het vormt lesies op bladmateriaal van uien en het uiteindelijke afsterven van het blad en wordt over het algemeen in uigewassen aangetroffen waarvan het loof sterk necrotisch is (Hancock & Lorbeer, 1963). De symptomen van *B. squamosa* lijken op die van *B. cinerea* met dien verstande dat de lesies van *B. squamosa* een eliptische vorm hebben, over het hele blad verspreid zijn en binnen 5-12 dagen gevolgd worden door het omkrullen van de punt van het geïnfecteerde blad (Hancock & Lorbeer, 1963). Sclerotia worden geproduceerd op reeds geïnfecteerde bollen die in het veld achterblijven of die gehouden worden voor de zaadproductie. Daarnaast kunnen ze op diverse plantendelen, zoals bladeren, de hals van de ui en het bovenste gedeelte van de bol gevormd worden. Overwintering van de sclerotia vindt plaats op bladeren die op het veld achterblijven na de oogst of los in de bodem. Onder bepaalde omstandigheden kan er grote schade (tot 25%) geleden worden als gevolg van sterke bladaantasting veroorzaakt door snelgroeiende lesies (Anonimous, 2003). Milieufactoren die de grootste invloed op de ontwikkeling van de ziekte hebben, zijn de temperatuur, de bladnatperiode en de relatieve vochtigheid. Dit geldt voor alle op ui voorkomende *Botrytis* sp. Deze *Botrytis* sp. heeft een bladnatperiode van minstens zes aaneengesloten uren nodig om blad binnen te kunnen dringen. Daarnaast zullen er geen sporen gevormd worden na een droge dag (RV < 70% gedurende 14 of meer uren) of wanneer in de vier voorafgaande dagen de relatieve luchtvochtigheid op 1 of 2 dagen gedurende 6 of meer uren boven de 90% uitkwam. De optimale ontwikkelingstemperatuur van de schimmel ligt tussen de 12 en 25 °C, temperaturen boven de 30 °C zijn dodelijk voor *B. squamosa* (Anonimous, 2003).

5.5.1.3 *Botrytis allii*

Botrytis allii wordt ook wel *Botrytis aclada* genoemd en veroorzaakt koprot in uien (Anonimous, 2003). Kenmerkend voor deze *Botrytis* aantasting is het rotten van de bol vanuit de nek, de bolstool of een wond in de zijkant van de bol (Ellerbrock & Lorbeer, 1977). Deze symptomen ontwikkelen zich echter pas tijdens de opslag terwijl de infectie in het veld plaats vindt. Het moment waarop de infectie plaatsvindt in het veld is niet duidelijk. Er is daarnaast ook geen goed detectiesysteem waardoor infectie en als gevolg daarvan rot tijdens de opslag niet te voorspellen is. In de literatuur worden een aantal opties genoemd voor de epidemiologie van deze *Botrytis* sp., maar in feite is deze nog voor het grootste gedeelte onbekend en zijn de gegevens uit de literatuur nog onvoldoende. Dit komt voornamelijk omdat deze ziekte zich niet elk seizoen manifesteert, maar gemiddeld eens in de tien jaar optreedt en niet in het veld waargenomen wordt, maar pas tijdens de opslag waargenomen wordt (pers. comm. Jürgen Köhl). Niettemin worden hieronder de gegevens die in de literatuur beschreven staan weergegeven.

Voornaamste bron van primaire infectie is voor deze *Botrytis* sp. via geïnfecteerd zaad (Maude & Presly, 1977). Daarnaast kunnen sclerotia en geïnfecteerd materiaal voor de initiatie van de primaire infectie zorgen (Bertolini & Tian, 1997). *B. allii* is in staat te groeien tussen de 1 en 33 °C bij een RV van 14,5-100%, het optimum voor deze schimmel is 20-23 °C en een RV van 95-100% (Abd-Elrazik, El-Shabrawy *et al.*, 1988). Meest gevoelige plantendelen tijdens infectie in het veld zijn de punten van het blad (Maude & Presly, 1977).

Infectie vindt plaats doordat mycelium via de huidmondjes of wondweefsel bladeren binnengroeit of door actieve afbraak van de epidermis met behulp van door de schimmel afgescheiden enzymen. Het mycelium is in dit stadium nog latent aanwezig en veroorzaakt nog geen symptomen. De omliggende gastheercellen hebben door beschadiging van de epidermis in dit stadium een verhoogde activiteit en zorgen ervoor dat het mycelium niet verder kan groeien. Nadat het mycelium de epidermis gepenetreerd heeft, begint het toxines af te scheiden die voor afsterven van de cellen met de verhoogde activiteit zorgen. Na een dag of drie dringt het mycelium het afstervende weefsel binnen. (Bhattacharya & Pappelis, 1982; Yohalem, Nielsen *et al.*, 2004). Uiteindelijk wordt op deze wijze het hele blad gekoloniseerd en worden conidiophoren met conidia gevormd. Wanneer bladeren worden aangetast waarvan de bladschede een vlezige bolrol vormt, kan de schimmel via de hals de bol binnendringen. Uit laboratoriumexperimenten met loof van de ui is gebleken dat bladeren waarvan de punt verwijderd was, een hogere aantasting met *B. allii*

hadden dan bladeren met een onbeschadigde bladpunt. Volgens de auteurs is dit een indicatie dat verwondingen aan het loof in het veld kunnen bijdragen aan een verhoogde infectie wanneer voldoende inoculum aanwezig is (Köhl, Molhoek *et al.*, 1991). Een andere route waarlangs de schimmel de bol binnen dringt is via verwondingen aan de bol die ontstaan zijn door de loofklapper bij de oogst (Anonimous, 2003).

5.5.1.4 **Botrytis cinerea**

B. cinerea is in staat om bijna elk type plantweefsel binnen te dringen mits het weefsel verwond is. In het veld wordt *B. cinerea* aangetroffen op zowel necrotisch blad van een ui-gewas waarvan een klein gedeelte necrotische bladeren heeft als op een gewas met veel necrotisch blad. De symptomen lijken sterk op die van *B. squamosa*. De lesies van *B. cinerea* zijn echter een stuk oppervlakkiger en bevinden zich op het buitenste oppervlak van het blad en worden nooit gevolgd door het omkrullen van het blad (Hancock & Lorbeer, 1963).

5.5.1.5 **De biologische teelt van ui**

Uien worden geteeld op goed bewerkbare gronden zoals klei- en zavelgronden.

De ui is een tweejarige plant die in het eerste jaar bollen vormt en in het tweede jaar tot bloei komt. Uien worden gezaaid vanaf eind maart tot en met april. Over het algemeen verlopen de kieming en de begingroei van het gewas relatief traag. Bij koud weer kan het 3 tot 4 weken duren voordat het plantje bovenkomt. Een ui wortelt vrij oppervlakkig; tot een maximale diepte van 60 cm, maar de meeste wortels gaan niet dieper dan 18 cm. Problemen met de waterhuishouding in droge perioden worden voorkomen door een vroege sluiting van de huidmondjes.

Factoren die van belang zijn voor de ontwikkeling van de bol zijn de temperatuur, de daglengte en de verhouding tussen verrood en rood licht. Hoe hoger de temperatuur, aandeel verrood licht en hoe langer de daglengte (met een minimum van 16 uur) hoe sneller de bolvorming. Na verloop van tijd zal de productie van nieuw loof stoppen en de bol snel in omvang toenemen waardoor de hals verzwakt raakt. Deze verzwakking zorgt ervoor dat het loof zal gaan strijken. De uien zijn op dat moment aan het afrijpen. De uien kunnen geoogst worden als het loof voor 50% is afgestorven en wanneer de bol is voorzien van een geelbruin gedroogd vlies. De vroegste rassen kunnen halverwege augustus geoogst worden, de laatste rassen voor half september (Anonimous, 2003).

Omdat de ui een gewas is met een trage beginontwikkeling en relatief weinig blad vormt, blijft het gewas vrij lang open en krijgen onkruiden veel kans. Onkruidbestrijding in uien vraagt daarom veel aandacht en input gedurende de teelt en zal regelmatig toegepast moeten worden.

Over het algemeen wordt er voor opkomst in uien gebrand en daarna nog vier keer geschoffeld. Gemiddeld zijn er daarnaast nog tweehonderd uur handwieden nodig om het onkruid tot een redelijk niveau terug te brengen (Bleeker, Jukema *et al.*, 2002), maar effecten van handwieden zullen hier niet verder besproken worden. Kiemplanten van onkruiden worden voor de opkomst van de uien goed bestreden worden door te branden, bij grotere onkruiden en gevestigde wortelonkruiden heeft dit geen zin. In sommige gevallen wordt er ook gebrand na opkomst, over het algemeen tot het drieblad stadium van het gewas. Hiermee wordt echter wel het oogsttijdstip verlaat waardoor de kans op vochtig weer tijdens de oogst toeneemt. Schoffelen is mogelijk vanaf het moment dat de rijen goed zichtbaar zijn tot aan het moment waarop bladeren tussen de rijen door de schoffelbewerking beschadigd worden. Dit is sterk afhankelijk van het uienras, maar ook van de gekozen rij-afstand.

5.5.1.6 **Samenvattend en concluderend: Botrytis sp. in ui**

Op basis van de gegevens die in de literatuur te vinden zijn, is het niet mogelijk om de kans op een verhoogde *Botrytis* sp. infectie a.g.v. beschadiging door mechanische onkruidbestrijding te kwantificeren. Wel is het zo dat verwondingen aan plantmateriaal wel degelijk een invalshoek vormen voor *Botrytis* sp. (Kamoen 1968; Köhl, Molhoek *et al.*, 1991; Mayer, Staples *et al.*, 2001) en onder bepaalde omstandigheden voor een verhoogde infectie kunnen zorgen of voor infectie wanneer deze anders niet zou optreden (Lipton & Harvey, 1960).

Waarschijnlijk blijft de wond gedurende een tijdsbestek van een aantal uren vatbaarder voor directe penetratie van het levende weefsel. Daarna wordt er necrotisch weefsel gevormd en is directe penetratie van het onderliggende levende weefsel niet meer mogelijk. Onkruidbestrijding vindt meestal op een droge, warme dag in het voorjaar plaats. Op zo'n dag zullen de omstandigheden zeer waarschijnlijk onvoldoende gunstig zijn voor een infectie met *Botrytis*. Na warme dagen wordt er echter 's nachts vaak dauw gevormd. Deze hoeveelheid vocht is vaak voldoende

om infectie en groei te kunnen bewerkstelligen (pers. comm. Jürgen Köhl). De laatste onkruidbestrijdingsmaatregelen worden echter uiterlijk half juni uitgevoerd en infectie met zowel *B. squamosa* als ook *cinerea* treedt pas later in de zomer op waardoor infectie via directe penetratie als gevolg van mechanische beschadiging waarschijnlijk niet optreedt (pers. comm. Huub Schepers, Rinske Meier, Rob van de Broek en Chris de Visser). Misschien wel van groter belang is de indirecte infectie van gezond, levend weefsel. Een gevolg van een wond is de vorming van necrotisch weefsel. Alle hierboven besproken *Botrytis* soorten zijn in staat necrotisch weefsel in te groeien en van daaruit het omringende levende weefsel te koloniseren. In dit opzicht vormen verwondingen altijd een verhoogd risico op infectie als voldoende inoculum aanwezig is in het veld.

De in dit rapport beschreven enquête onder telers is gebruikt om te bepalen of er toch hardere gronden zijn t.a.v. verhoogd risico als op basis van hierboven literatuurgegevens en expert judgement te verwachten is en onderzoek noodzakelijk is om meer helderheid te verschaffen. Te denken valt dan aan het inventariseren van het effect van machinale mechanische onkruidbestrijding op de mate van een *Botrytis*- infectie in ui in het veld om de kans dat een (verhoogde) infectie met deze schimmel daadwerkelijk het gevolg kan zijn van machinale onkruidbestrijding te kwantificeren.

5.5.2 Botrytis in tulp

5.5.2.1 Botrytis tulipae en tulp

Alle tulpensoorten (*Tulipa gesneriana*, andere *Tulipa* sp. en hybride tulpen) zijn vatbaar voor *Botrytis tulipae* in meer of mindere mate. *Botrytis tulipae* overwintert als sclerotia op de bol, op plantmateriaal of in de bodem rond geïnfecteerde planten. De belangrijkste primaire bron van conidia vormen de sclerotia op planten die uit geïnfecteerde bollen zijn gegroeid. Daarnaast vormen conidia in de bodem en op de buitenste bladen van de bol een belangrijke bron (Doornik & Bergman 1975). Vervolgens wordt nabijgelegen gezond weefsel geïnfecteerd en treden gedurende het teeltseizoen secundaire infecties op van bovengrondse plantendelen op. De conidia van de primaire infectie worden verspreid door wind en opspattende regendruppels. Deze sporen zijn in staat te kiemen en een plant te infecteren bij temperaturen van 5-27 °C. De ontwikkeling van de sporen, het kiemen, de infectie en de groei van het mycelium gaat echter bij temperaturen rond de 20-25 °C het snelst, mits de luchtvochtigheid boven de 95% is (Coley-Smith & Javed, 1972; Pataky, 2000).

Het beschadigen van bollen tijdens het planten moet vermeden worden omdat infecties vaker op beschadigde als onbeschadigde bollen voorkomen (Hansen, 2000). Zo worden infecties na vorst- of hagelschade vaker waargenomen (Pataky, 2000).

5.5.2.2 De biologische teelt van tulp

De teelt van tulpen vindt plaats op zand en lichte zavelgronden. Op zwaardere gronden is nettenteelt mogelijk. Dit is echter wel afhankelijk van de bodemstructuur; op zand wordt later geplant als op zwaardere gronden (Anonimous, 1996). Tulpen worden eind oktober begin november geplant, nadat de bodemtemperatuur op boldiepte onder de 13°C is gezakt.

Tulpen worden gerooid als de bol iets begint te verkleuren, dit proces begint eind mei en eindigt eind juni. Onkruidbestrijding vindt plaats door tussen de tulpen stro aan te brengen. In het verleden werd er nog wel eens met de wiedege onkruid bestreden maar daardoor trad een te groot kwaliteitsverlies op als gevolg van beschadigingen.

5.5.2.3 Expert judgement

In theorie geldt voor *Botrytis* spp. in bolgewassen (vuur) wel een extra risico op aantasting aangezien er bladbeschadiging optreedt bij mechanische onkruidbestrijding. Deze beschadigingen kunnen een invalspoort vormen voor *Botrytis*. In de praktijk zal dit waarschijnlijk meevallen omdat de omstandigheden waarbij mechanische onkruidbestrijding plaatsvindt (schraal, zonnig weer) zeer ongunstig zijn voor de infectie met *Botrytis*. Daarnaast zullen de sporen die op het blad komen onder die weersomstandigheden een korte levensduur hebben als gevolg van de

UV-straling (pers. comm. Jeroen Wijnker). Verder wordt er in tulp slechts op zeer geringe schaal nog gewerkt met machinale mechanische onkruidbestrijding.

5.5.2.4 Samenvattend en concluderend: *Botrytis tulipae*. in tulp

Beschadigde bollen hebben een verhoogde kans op infectie met *B. tulipae* omdat deze *Botrytis* soort, net als de *Botrytis* sp. in ui, beschadigd weefsel kan binnendringen en van daar uit het gezonde weefsel kan koloniseren. Er zijn echter geen veldwaarnemingen in de literatuur beschreven waar getoetst is of mechanische onkruidbestrijding daadwerkelijk tot meer infectie leidt in een met *Botrytis tulipae* besmet gewas.

5.6 Conclusies en aanbevelingen

- Er zijn geen studies bekend waarin verhoogde aantasting door schimmels en bacteriën of aantallen plaagorganismen zijn waargenomen als direct gevolg van mechanische beschadiging. Het is niet in algemene zin te stellen dat er een grotere kans op ziekten en plagen is ten gevolge van mechanische onkruidbestrijding. Het feit dat er geen studies bekend zijn, geeft aan dat de kans dat de infectiedruk verhoogd wordt door machinaal mechanische onkruidbestrijding gering is.
- De nu algemeen heersende inschattingen van het risico voor ziekten en plagen als gevolg van mechanische onkruidbeheersing zijn zeer waarschijnlijk te hoog. De daadwerkelijke risico's dienen per gewas en schadeverwekker afgewogen te worden.
- Op basis van de gegevens die in de literatuur te vinden zijn, is het niet mogelijk om de kans op een verhoogde *Botrytis* sp. infectie a.g.v. beschadiging door mechanische onkruidbestrijding te kwantificeren. Wel is het zo dat verwondingen aan plantmateriaal wel degelijk een invalshoek vormen voor *Botrytis* sp. (Köhl, Molhoek *et al.*, 1991; Mayer, Staples *et al.*, 2001) en onder bepaalde omstandigheden voor een verhoogde infectie kunnen zorgen.
- Alle besproken *Botrytis* soorten zijn in staat necrotisch weefsel in te groeien en van daaruit het omringende levende weefsel te koloniseren. In dit opzicht vormen verwondingen theoretisch altijd een verhoogd risico op infectie als voldoende inoculum aanwezig is in het veld.
- *Botrytis* infecties met *B. squamosa* en *B. cinerea* komen echter in het veld pas halverwege de zomer voor, terwijl onkruidbestrijdingsmaatregelen half juni al zijn afgelopen. Directe penetratie van gezond weefsel via verse, nog niet genezen wonden, lijkt om die reden zeer onwaarschijnlijk. Indirecte penetratie via necrotisch weefsel, zoals bijvoorbeeld oud wondweefsel, is niet uit te sluiten. De wondjes die gemaakt worden met mechanische onkruidbestrijding zijn echter zeer klein en zullen naar verwachting, zeker in verhouding tot alle andere teeltmaatregelen waarbij het perceel betreden en het gewas licht beschadigd wordt, geen (grote) bijdrage leveren aan een verhoogde infectie (expert judgement).
- Om het risico van ziekten door *Botrytis* als gevolg van mechanische onkruidbestrijding in biologische landbouw beter vast te stellen is vervolgonderzoek nodig onder biologische teeltomstandigheden. Betere inzichten kunnen alleen verkregen worden in veldproeven met (kunstmatige) ziektedruk.

5.7 Literatuur

Abd-Elrazik, A.A. & A.M. El-Shabrawy *et al.*, 1988.

'Effect of certain environmental factors and fungicides on blasting disease of onion seed-head.' *Egyptian Journal of Phytopathology* 20(1): 13-24.

Agrios, G.N., 1997.

Plant Pathology. London, Academic Press Limited.

Anonimous, 1996.

Biologische teelt van tulp. Hoorn, DLV Bloembollen/Bolbloemen. DLV Biologische Landbouw: 37.

Anonimous, 2003.

Teelthandleiding zaaiuien. Lelystad, PPO-AGV: 39.

- Bertolini, P. & S.P. Tian (1997).
 'Effect of temperature of production of *Botrytis allii* conidia on their pathogenicity to harvested white onion bulbs.' Plant Pathology 46: 432-438.
- Bhattacharya, P.K. & A.J. Pappelis, 1982.
 'Cytofluorometric study of onion epidermal nuclei in response to wounding and *Botrytis allii* infection.' Physiological Plant Pathology 21: 217-226.
- Bleeker, P., 2001.
 Onkruidpreventie door Asolfil. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving: 9.
- Bleeker, P. & A. Jukema *et al.*, 2002.
 Bedrijfseconomische beoordeling van onkruidbestrijdingsstrategieën. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.: 1-24.
- Bleeker, P.O. & R.Y. van der Weide, 2001.
 Invloed van valszaaibed en zaaibed-bereiding op de onkruidbeheersing in ijsbergsla en stamslabonen. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.: 31.
- Bleeker, P.O. & R.Y. van der Weide, 1999.
 Chemische en mechanische onkruidbestrijding in ijsbergsla. Lelystad, Praktijkonderzoek voor de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt: 3-17.
- Booij, C.J.H. & W. van der Werf *et al.*, 1995.
Architectuur van agro-ecosystemen; consequenties voor plagen, ziekten, antagonisten en onkruiden. Themadag KLV, AB-DLO en PE. Hoe ecologisch kan de landbouw worden?, Wageningen.
- Carter, M.R. & J.B. Sanderson, 2001.
 'Influence of conservation tillage and rotation length on potato productivity, tuber disease and soil quality parameters on a fine sandy loam in eastern Canada.' Soil & tillage Research 63: 1-13.
- Cheong, Y.H. & H.-S. Chang *et al.*, 2002.
 'Transcriptional profiling reveals novel interactions between wounding, pathogen, abiotic stress, and hormonal responses in *Aribidopsis*.' Plant Physiology 129: 661-677.
- Colbach, N. & P. Lucas *et al.*, 1997.
 'Influence of cropping system on sharp eyespot in winter wheat.' Crop Protection 16(5): 415-422.
- Coley-Smith, J.R. & Z.U.R. Javed, 1972.
 'Germination of sclerotia of *Botrytis tulipae*, the cause of tulip fire.' Annals of Applied Biology 71: 99-109.
- Darwinkel, A. & R.D. Timmer *et al.*, 1993.
 Onkruidbestrijding in granen- wintertarwe, gewasreactie op eggen. Themadag Duurzame onkruidbestrijding. R.Y. van der Weide, P. M. Spoorenberg & H. K. J. Bosch. Lelystad, Drukkerij Belser, Lelystad. Themaboekje nr. 15, 12 november 1993: 40-41.
- Dicke, M. & M.W. Sabelis *et al.*, 1990.
 'Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals: prospects for application in pest control.' Journal of Chemical Ecology 16: 3091-3118.
- Doornik, A. & B.H.H. Bergman, 1975.
 'Infection of offspring tulip bulbs by *Botrytis tulipae* during the growth period and after lifting.' Netherlands Journal of Plant Pathology 81: 217-225.
- Ellerbrock, L.A. & J.W. Lorbeer, 1977.
 'Etiology and control of onion flower blight.' Phytopathology 67: 155-159.
- Ester, A., 1998.
 'Insecticide komt maar tot eerste blad.' Groenten en Fruit(27 februari): 14-15.
- Evenhuis, A. & D. van der Schans *et al.*, 2003.
 Onkruidbeheersing in de opkweek en teelt van aardbeien. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.: 27-31.
- Fogelberg, F. & A.-M.D. Gustavsson, 1999.
 'Mechanical damage to annual weeds and carrots by in-row brush weeding.' Weed Research 39: 469-479.
- Hancock, J.G. & J.W. Lorbeer, 1963.
 'Pathogenesis of *Botrytis cinerea*, *B. squamosa*, and *B. allii* on onion leaves.' Phytopathology 53: 669-673.

- Hansen, M.A., 2000.
Fire or Botrytis Blight of Tulip. Plant disease fact sheets, Virginia Polytechnic Institute and State University. 450-607W.
- Jarvis, W.R., 1980.
Epidemiology. The Biology of Botrytis. J.R. Coley-Smith, K. Verhoeff and W.R. Jarvis. London, Academic Press Inc.: 219-250.
- Kamoen, O., 1968.
Mededelingen van de Faculteit voor Landbouwwetenschappen Universiteit Gent. In: Jarvis, 1980. 33: 1127-1132.
- Köhl, J. & W.M.L. Molhoek *et al.*, 1991.
'Biological control of onion neck rot (*Botrytis aclada*): Protection of wounds made by leaf topping.'
Biocontrol Science and Technology 1: 261-269.
- Lipton, W.J. & J.M. Harvey, 1960.
Plant disease reporter 44: 837-839.
- Maude, R.B. & H. Presly, 1977.
'Neck rot (*Botrytis allii*) of bulb onions. I Seed-borne infection and its relationship to the disease in the onion crop.'
Annals of Applied Biology 86: 163-180.
- Mayer, A.M. & R.C. Staples *et al.*, 2001.
'Mechanisms of survival of necrotrophic fungal plant pathogens in hosts expressing the hypersensitive response.'
Phytochemistry 58: 33-41.
- Pataky, N.R., 2000.
Tulip fire or botrytis blight. Report on Plant Disease. 609.
- Riemens, M.M. & F.C. Zoon *et al.*, 2003.
Water-soluble volatiles released by vine weevil damaged roots attract entomopathogenic nematodes.
Experimental and Applied Entomology, Amsterdam, Netherlands Entomological Society.
- Scott, D.B., 1993.
'Soil-borne diseases of wheat and maize in South Africa: etiological and epidemiological aspects.'
Applied Plant Science 7(2): 60-64.
- Staples, R.C. & A.M. Mayer, 1995.
'Putative virulence factors of *Botrytis cinerea* acting as a wound pathogen.'
Microbiology Letters 134: 1-7.
- Stutz, J.C. & K.T. Leath *et al.*, 1985.
'Wound-related modifications of penetration, development, and root rot by *Fusarium roseum* in forage legumes.'
Phytopathology 75(8): 920-924.
- Tan, C.S. & J.C. Tu, 1994.
'Tillage effect on root rot severity, growth and yield of beans.'
Canadian Journal of Plant Science 75(1): 183-186.
- Timmer, R.D. & J. Jonkers *et al.*, 1993.
Onkruidbestrijding in droge erwten, veldbonen en stamslabonen, stamslabonen. Themadag Duurzame onkruidbestrijding. R.Y. van der Weide, P.M. Spoorenberg & H.K.J. Bosch. Lelystad, Drukkerij Belser, Lelystad. Themaboekje nr. 15, 12 november 1993: 35-37.
- Van Egteren, W., 1998.
Mechanisch wieden werkt prima. Oogst tuinbouw.
- Wang, B. & S.N. Jeffers, 2002.
'Effects of cultural practices and temperature on *Fusarium* root and crown rot of container-grown hostas.'
Plant disease 86(3): 225-231.
- Weide, R.Y. v.d. & P.M. Spoorenberg *et al.*, 1993.
Themadag Duurzame Onkruidbestrijding. Lelystad, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond: 108.
- Yohalem, D.S. & K. Nielsen *et al.*, 2004.
'Biocontrol agents efficiently inhibit sporulation of *Botrytis aclada* on necrotic leaf tips but spread to adjacent living tissue is not prevented.'
Microbiology Ecology 47: 297-303.

6. Weersafhankelijkheid en bodemstructuurbederf bij mechanische onkruidbestrijding

Dirk Kurstjens¹, Marleen Riemens², Jacques Davies², Roel Groeneveld² & Geert-Jan Molema¹

¹ Wageningen UR - Agrotechnology & Food Innovations

² Wageningen UR - Plant Research International

6.1 Inleiding

In enquêtes over knelpunten in de onkruidbeheersing noemen biologische telers de beperkte effectiviteit, de grote weersafhankelijkheid en de kans op beschadiging van de bodemstructuur als belangrijkste nadelen van mechanische onkruidbestrijding (de Koeijer *et al.*, 2002). De eerste twee hebben voor een deel te maken met het vermijden van het risico van structuurschade. In een enquête onder 16 biologische telers (PRI, 2003, ongepubliceerde data) gaven 8 telers aan 'wel eens' en 3 telers 'vaak' een onkruidbestrijding niet uit te voeren op het gewenste tijdstip in verband met het gevaar voor verdichting (7 maal genoemd), verslemping van de toplaag (6 maal genoemd) en/of schade aan het bodemleven in de toplaag (1 maal genoemd). Als men vanwege natte omstandigheden de bewerking uitstelt om excessieve spoorvorming te voorkomen, groeit onkruid verder en is het moeilijker te bestrijden. Daarnaast kunnen de structuur en het vochtgehalte van de toplaag ook de effectiviteit van de bewerking en de kans op hergroei beïnvloeden (Kurstjens, 2002a). Het is daarom gepast om de weersafhankelijkheid van bestrijdingseffectiviteit en structuurschade in onderlinge samenhang te bezien.

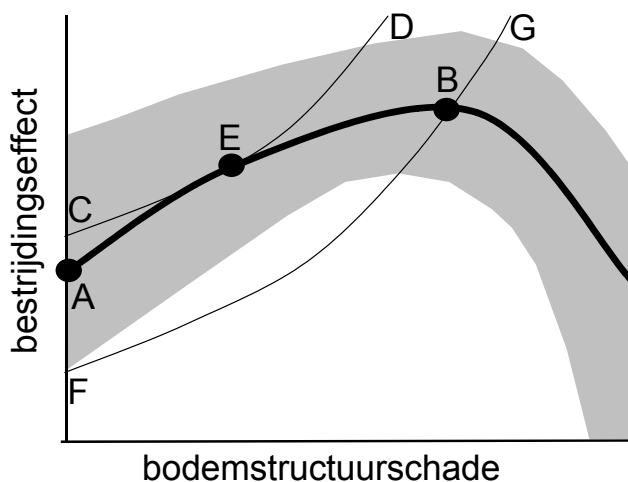
Leeswijzer

In dit hoofdstuk wordt:

- in 6.2 een wetenschappelijk kader gegeven,
- in 6.3 de relatie tussen veronkruiding teelten en weer beschreven,
- in 6.4 een model voor berekening werkbare dagen mechanische onkruidbestrijding gepresenteerd,
- in 6.5-6.7 wordt verder ingegaan op structuurbederf,
- in 6.8 worden oplossingsrichtingen bediscussieerd.
- Tot slot in 6.9 conclusies en aanbevelingen.

6.2 Wetenschappelijke overwegingen

Om beter grip te krijgen op de keuzes die een teler maakt en de daaraan verbonden risico's, kunnen we het bovenstaande probleem als volgt vertalen. Telers maken een afweging tussen het risico van tekortschietende onkruidbestrijding (en dus opbrengstverlies en extra handwied-kosten) en het risico op bodemstructuurschade (en dus mogelijk opbrengstverlies en problemen op de langere termijn).




Figuur 1. Denkbeeldige relatie tussen het bestrijdingseffect van mechanische onkruidbestrijding en de daarmee gepaard gaande bodemstructuurschade. Vette lijn: meerjarig gemiddelde, A = minimaal haalbare schade aan de bodemstructuur, B = maximaal bestrijdingseffect, grijs gebied: weersafhankelijke spreiding. Links van B neemt de effectiviteit af door niet tijdig bewerken (i.v.m. bodemstructuurschade), rechts van B is de toplaag te nat voor een goede werking en opdroging van het onkruid. Het gebied rechts van B is niet relevant omdat zowel de effectiviteit als de bodemstructuur negatief worden beïnvloed. De combinaties op lijn CD zijn voor de teler gelijkwaardig en hebben de voorkeur boven die op lijn FG. Punt E is gemiddeld optimaal. Ondanks het gemiddeld maximale bestrijdingseffect is punt B minder gunstig door de hogere bodemstructuurschade.

Men kiest daarbij als het ware een bepaalde positie op de vette lijn tussen punt A en B in Figuur 1, en probeert ook de spreiding (afwijking van het gewenste compromis) tussen seizoenen te verkleinen door in te spelen op momentane omstandigheden.

Voor het kiezen van een compromis tussen bodemstructuurschade en tekortschietende bestrijding en om te beoordelen of ze dit compromis überhaupt voldoende acceptabel vinden om mechanische onkruidbestrijding toe te passen, moeten telers het volgende weten:

- ☞ *De gemiddelde ligging van punten A en B, met name hun afstand op de effectiviteits- en bodemstructuurschade-as.* Dit bepaalt of de grootte van de effecten relevant genoeg is om aandacht aan te besteden, en of het de moeite waard is een bepaald risico te accepteren. Als A en B ongeveer op dezelfde hoogte liggen heeft het bijvoorbeeld geen zin om bodemstructuurschade te accepteren. Als A wat verder naar rechts ligt, is het goed om te weten hoe groot de onvermijdbare structuurschade is. Als A te veel naar rechts ligt en de effectiviteit te laag of te variabel is, zal men mechanische bestrijding niet snel accepteren.
- ☞ *Wat is het beste compromis op de lijn tussen A en B?* Bepaalde combinaties van onkruidbestrijding en structuurschade zullen voor een teler een gelijke voorkeur hebben. Lijnen CD en FG geven gelijkwaardig veronderstelde combinaties, waarbij de teler liever op lijn CD zit dan op lijn FG. De vorm van deze voorkeurslijnen en de vorm van de vette lijn tussen A en B (de gemiddeld haalbare combinaties) bepalen waar gemiddeld het beste compromis tussen onkruidbestrijding en bodemstructuurschade ligt. In dit geval is dat punt E. Als structuurschade niet belangrijk zou zijn zouden lijnen CD en FG horizontaal lopen (m.a.w.: alleen de effectiviteit telt) en zou punt B het optimum zijn. Dus: kennis over de vorm van deze lijnen is nodig. Als bodemstructuurschade en tekortschietende onkruidbestrijding konden worden uitgedrukt in geld en als er een rechtlijnig verband zou zijn met de financiële schade, zou men deze lijnen eenvoudig kunnen tekenen. Het verschil tussen het beste punt (E op lijn CD) en het slechtste punt (B op lijn FG) geeft dan de waarde van een juiste beslissing aan.
- ☞ *Hoe kan de ligging van de vette lijn worden veranderd?* De (meerjarig gemiddelde) ligging van de vette lijn wordt bepaald door allerlei strategische keuzen, zoals het trekkgewicht (bodemdruk), werkbreedte van de machine, bodemstructuurverbeterende teeltmaatregelen en onkruidpreventie. Daarom is het belangrijk te weten hoe genoemde factoren de ligging van punten A en B en de lijn daartussen beïnvloeden. In sectie 5 gaan we bijvoorbeeld in op het toelaatbare gewicht van een trekker om geen bodemstructuurschade te veroorzaken en het belang van getrokken werktuigen i.p.v. schoffelmachines gedragen in de hefinrichting. Als de trekker-werktuig combinatie geen bodemstructuurschade veroorzaakt wordt het leven een stuk eenvoudiger.

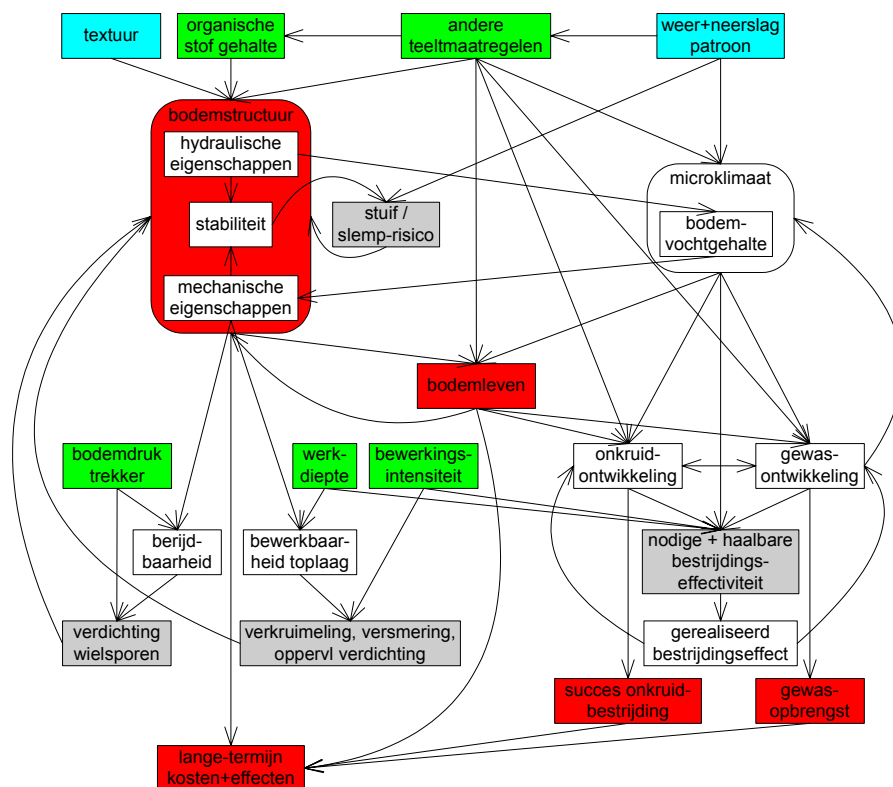
 *Hoe kan men zodanig kan inspelen op de momentane weersomstandigheden dat het gewenste optimum zo goed mogelijk wordt bereikt?* Het gaat daarbij om korte termijn keuzen, bijvoorbeeld over het uitstellen van een bewerking in verband met structuurbederf, of een extra bewerking om vóór een regenperiode het nieuw kiemend onkruid te bestrijden. Deze aan het weer aangepaste bestrijdingskeuzen hebben echter ook invloed op de mogelijkheden voor en de effectiviteit van toekomstige bewerkingen. Concrete richtlijnen voor vochtgehalte, wiellast, bandspanning en een weersafhankelijke aanpak van de bestrijding zouden behulpzaam zijn.

Wij denken dan een goed antwoord op deze vier vragen de drie door telers genoemde knelpunten (effectiviteit, weersafhankelijkheid, structuurschade) integraal zou oplossen en de grens aangeven van wat er met mechanische bestrijding mogelijk is, met inzichtelijke risico's.¹ Helaas gaapt er een groot gat tussen deze ambitie en de huidige stand van kennis. Om te bepalen hoe die kloof het best overbrugd kan worden gaan we in dit rapport eerst bekijken hoe het 'bruggenhoofd' eruit ziet (hoe ver kunnen we met de bestaande kennis komen en hoe 'stevig' is die?) en wat de belangrijkste 'draagliggers' (de meest relevante kennis behoeften over de belangrijkste aspecten) zijn.

Laten we voordat we de opzet van dit rapport gaan bespreken nog even teruggaan naar Figuur 1, de essentie van de risico afweging waarvoor telers staan. Welke factoren zijn van invloed op de ligging van de vette lijn en spreiding daaromheen? Figuur 2 geeft een schematisch overzicht van factoren en effecten en hun onderlinge beïnvloeding. Hierin is de variatie van het bodemvochtgehalte i.r.t. weer- en neerslagpatronen de enige onzekere, niet beïnvloedbare factor die risico's veroorzaakt. Alle andere factoren behalve textuur (grondsoort) zijn beïnvloedbaar en veroorzaken in principe geen risico. Ze kunnen juist gebruikt worden om de risico's te verkleinen, mits hun effect voldoende voorspelbaar is. De vraag is in hoeverre je met deze factoren kunt sturen om het probleem te verkleinen, én hoe dat dan moet in de praktijk. Hoe hangt bijvoorbeeld de toelaatbare bewerkingsintensiteit of de bodemdruk van de trekker af van textuur en het neerslagpatroon? Vooral de effecten en risico's op die spelen op de langere termijn en die samenhangen met andere factoren en handelingen kunnen moeilijk door telers zelf worden geëvalueerd en vergen een wat meer systematische onderzoeks aanpak.

Behalve de mogelijkheden tot sturing zijn ook de omvang van de risico's i.r.t. de onbeïnvloedbare factoren textuur en weer niet duidelijk. Risico's zijn vooral van belang als nadelige effecten niet, beperkt en/of langzaam kunnen worden gecompenseerd door opvolgende maatregelen, en als die maatregelen zelf ook kosten, risico's en complexiteit met zich meebrengen. Omdat mechanische onkruidbestrijding alleen effectief is als onkruid klein is, kan uitstel van bewerking moeilijk gecompenseerd worden. Bij chemische bestrijding kan men eenvoudig de dosis verhogen, maar bij mechanische bestrijding is dit – voor zover bekend – beperkt mogelijk. Als men niet spuit is handwieden tot dusver de enige compensatiemogelijkheid.

¹ Het zou nuttig en interessant zijn om deze veronderstelling te toetsen door onze vertaling van het probleem en de daaruit afgeleide vragen voor te leggen aan telers en voorlichters.



Figuur 2. Relaties tussen factoren die beslissingen, effecten en risico's bij mechanische onkruidbestrijding bepalen. Blauw: onbeïnvloedbare factoren; groen: beïnvloedbare factoren; grijs: aspecten die bij elke bewerking worden afgewogen; rood: effecten die op langere termijn, over meerdere bewerkingen heen worden afgewogen. De aspecten die bij elke bewerking worden afgewogen (bodemstructuurschade en bestrijdings-effectiviteit) hebben terugkoppelingen naar de bodemstructuur en de gewas- en onkruidontwikkeling, die de noodzaak van en de toestand bij de volgende bewerking beïnvloeden.

Gebrek aan kennis over de invloed van deze factoren kan de onzekerheid bij telers vergroten, omdat het moeilijker is om de juiste beslissing te nemen, de situatie-specifieke risico's in te schatten, erop te anticiperen en eventuele negatieve effecten te compenseren. Dit kan een voedingsbodem zijn voor risicomijdend gedrag. Enerzijds leert men hierdoor de mogelijkheden en beperkingen van specifieke situaties onvoldoende kennen en benutten. Anderzijds kan dit voor zowel gangbare als biologische telers een drempel zijn voor het überhaupt toepassen van mechanische onkruidbestrijding. Samen leidt dit risicomijdend gedrag waarschijnlijk tot teleurstellende bestrijdingseffectiviteit (a.g.v. uitgestelde bewerking) en dus risico's op onkruidproblemen.

Om deze impasse te doorbreken werken we in dit hoofdstuk volgens twee lijnen. Eerst proberen we op basis van bestaande teeltgegevens van peen en ui een relatie te leggen tussen jaarlijkse regenval en het lukken van de teelt en de onkruidbestrijding (sectie 2). In sectie 3 wordt met een spreadsheetmodel het effect van regenvalpatronen op de frequentie en lengte geschat van perioden waarin mechanische onkruidbestrijding niet mogelijk is, en welke handwiedkosten dat met zich meebrengt. Dit zijn enkele eerste stappen op weg naar de invulling van Figuur 1.

Na deze basale informatie over de omvang van weegerelateerde risico's proberen we in de tweede lijn te verhelderen welke door telers aangegeven risico's m.b.t. structuurschade wel en niet relevant zijn in welke situaties. Het gaat daarbij om de top laagstructuur (in de bovenste 1-3 cm, sectie 4) en verdichting van wielsporen (sectie 5), in relatie tot de intensiteit van bewerking/verdichting en de stabiliteit van de bodem. In sectie 6 wordt de relatieve bijdrage van mechanische onkruidbestrijding in verhouding tot andere bronnen van structuurschade binnen het teeltsysteem beoordeeld. Na deze verheldering van het probleem geeft sectie 7 oplossingsrichtingen aan. Daarna worden in sectie 8 conclusies geformuleerd en prioriteiten voor verder werk op dit onderwerp voorgesteld.

6.3 Analyse veronkruiding teelten peen en ui i.r.t. weer

Om inzicht te krijgen in het aantal maal dat de onkruiddruk in peen en ui te hoog was, is er een overzicht gemaakt over 5 jaar (1999-2003) van bestaande (niet gepubliceerde) gegevens waarin DLV en PPO een oordeel gaven over de onkruiddruk in een gewas en de mate waarin een (biologische) teelt gelukt is (Tabel 1: peen, Tabel 2: ui). Daarnaast heeft PRI (R.M.W. Groeneveld) een aantal biologische telers gevraagd om over de afgelopen jaren (2000-2003) een oordeel te geven over het lukken dan wel mislukken van een teelt als gevolg van een hoge onkruiddruk (Tabel 3: peen, Tabel 4: ui). Deze gegevens zijn, indien data voorradig waren, gekoppeld aan neerslaggegevens in die jaren en gebieden (KNMI, 1998-2003).

Behalve Siepel, die een KNMI weerstation op het land heeft, lag alleen het bedrijf van Kristelijn minder dan 5 km van een weerstation. Korteweg, Rozendaal, Ter Linde, Oosterhuis en Hootechem lagen 5-10 km van het weerstation verwijderd. De Verte, Donker, Postema, Poley en Van Andel lagen 10-20 km van het weerstation, en Zonnehorst, Gerbranda State en Kuiper 20-30 km. Naarmate de afstand groter is zijn de gegevens minder representatief. De gewassen peen en ui representeren teelten die vanwege het open karakter relatief veel arbeid vragen voor de onkruidbestrijding.

Op 39.4% van de biologische uienpercelen en 5.9% van de peenpercelen in deze steekproef lukte de onkruidbestrijding matig of slecht. Het slagen van de onkruidbestrijding in uien had geen duidelijk verband met de jaarlijkse neerslag (Figuur 3). Het enkele geval in Tabel 1 waarin de onkruidbestrijding in peen matig lukte had de hoogste jaarlijkse neerslag. Echter, in Tabel 3 week de neerslag in de twee gevallen waarin de bestrijding niet lukte of erg veel tijd vroeg niet af van het gemiddelde.

Het verband tussen neerslag en het slagen van de onkruidbestrijding wordt waarschijnlijk duidelijker als men bij eventueel vervolgonderzoek rekening houdt met de volgende aandachtspunten:

- ☞ In plaats van de jaarlijkse neerslag van een weerstation 'in de buurt' moet de neerslag op de percelen zelf gemeten worden en gekoppeld aan de momenten van bewerking, in verband met de grote ruimtelijke en tijdelijke variatie in neerslag. Behalve neerslag is ook de temperatuur van belang in verband met kiemingsgolven en de ontwikkelingssnelheid van onkruid;
- ☞ Weer-gerelateerde gegevens als de uitvoerbaarheid van mechanische onkruidbestrijding en de onkruidontwikkeling (aantallen maar vooral de grootte) zijn waarschijnlijk betekenisvoller dan neerslag en temperatuur op zichzelf. Criteria als 'goed', 'matig' en 'slecht' zijn subjectief, grof en moeilijk overdraagbaar en vergelijkbaar.
- Ook het moment dat de bestrijding uit de hand loopt en de oorzaak daarvoor (bijvoorbeeld uitvoerbaarheid, te groot onkruid, andere werkzaamheden, beperkte effectiviteit, late onkruidontwikkeling, gebrekkige of ontijdige monitoring, tijdsbesteding aan handwieden) vormt belangrijke informatie die de spreiding tussen bedrijven en jaren kan verklaren.
- De verdeling van de neerslag over de tijd heeft (bij een vergelijkbare totale neerslag) een groot effect op het aantal uren handwieden (zie simulaties in sectie 3, Figuur 5).

Tabel 1. *Overzicht van de teeltgegevens van peen op biologische bedrijven van 1999 t/m 2003 met de jaarlijkse hoeveelheid neerslag van een naburig weerstation, de mening van PPO over het slagen van de onkruidbestrijding (slecht, matig, goed) en de mening van DLV over het slagen van de gehele teelt (cijfer 1=slecht, 5=goed). Zonnehorst had een zomerteelt van bospeen, de anderen herfstteelt van winterpeen.*

teler	jaar	neerslag (mm)	onkruidbestrijding	teelt
Zonnehorst	2001	1143	matig	?
De Verte	1999	929	?	?
	2000	953	goed	3
	2001	1062	goed	2
Gerbranda State	1999	817	goed	4
	2000	880	goed	5
	2001	984	goed	?
Kempenaar	1999	1096	goed	4.5
	2000	1086	goed	?
	2001	1089	goed	?
Korteweg	1999	927	goed	4
	2000	1008	goed	4
	2001	1003	goed	4
	2002	887	goed	4
	2003	699	goed	4

Tabel 2. *Overzicht van de teeltgegevens van ui op biologische bedrijven van 1999 t/m 2003 met de jaarlijkse hoeveelheid neerslag van een naburig weerstation, de mening van PPO over het slagen van de onkruidbestrijding (slecht, matig, goed) en de mening van DLV over het slagen van de gehele teelt (cijfer 1=slecht, 5=goed).*

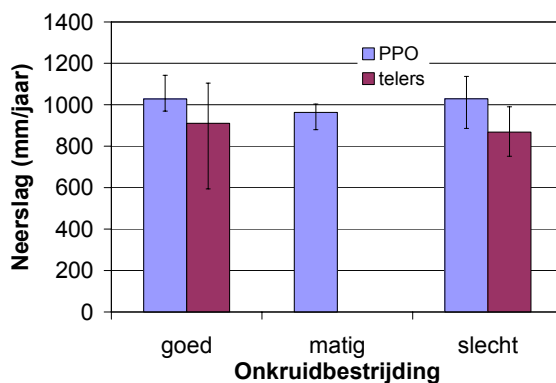
teler	zaai/plant	jaar	neerslag (mm)	onkruidbestrijding	teelt	opmerkingen
Zonnehorst	zaai	2001	1143	goed	?	
De Verte	zaai	2000	953	matig	?	
	zaai	2001	1062	goed	?	
Gerbranda State	plant	2000	880	matig	?	
	plant	2001	984	goed	?	
Donker	zaai	2000	990	matig	?	
Kuiper	plant	2000	990	matig	?	
Korteweg	plant	2000	1008	goed	4	
	zaai	2001	1003	matig	3	
Rozendaal	plant	2001	1003	goed	4	
	zaai	2002	886	matig	3.5	0.4 van 10 ha omgeploegd
	plant	1999	1101	?	3	
	plant	2000	1065	slecht	4	
	plant	2001	1137	slecht	1	
Ter Linde	zaai	2000	829	slecht-matig	1	
	plant	2001	969	goed	4	

Tabel 3. *Overzicht van de teeltgegevens van peen op biologische bedrijven van 1999 t/m 2003 met de jaarlijkse hoeveelheid neerslag van een naburig weerstation en de mening van telers zelf over het slagen van de onkruidbestrijding (slecht, matig, goed). Type: bos=bospeen, winter=winterpeen/grove peen (PRI onderzoek).*

teler	jaar	neerslag (mm)	onkruidbestrijding	opmerkingen
Postema	2000	990	goed	
	2001	951	goed	
	2002	882	goed	
	2003	552	goed	
Kristelij	2000	929	goed	
	2001	1105	goed	
	2002	884	goed	
	2003	752	goed	
Poley	2002	949	goed	
	2003	594	goed	
Oosterhuis	2002	779	goed	
	2003	772	goed	
Siepel	2000	941	goed	
	2001	988	slecht	alles omgeploegd
	2002	779	goed	
	2003	772	goed	
Hootechem	2001	971	goed	
	2002	863	goed	wel veel wieden
	2003	727	goed	
Van Andel	2000	594	goed	

Tabel 4. *Overzicht van de teeltgegevens van ui op biologische bedrijven van 1999 t/m 2003 met de jaarlijkse hoeveelheid neerslag van een naburig weerstation en de mening van telers zelf over het slagen van de onkruidbestrijding (slecht, matig, goed). (PRI onderzoek).*

teler	jaar	neerslag (mm)	onkruidbestrijding	opmerkingen
Postema	2000	990	slecht	omgeploegd ivm straatgras
	2001	951	slecht	geen teelt door hoge onkruiddruk
Kristelij	2000	929	goed	
	2001	1105	goed	
	2002	884	goed	wel veel wieden
	2003	752	slecht	50% omgeploegd ivm wortelonkruiden
Poley	2000	912	goed	
	2001	1083	goed	
	2002	949	goed	
Oosterhuis	2002	779	goed	
	2003	727	goed	
Siepel	2002	779	slecht	50% omgeploegd, ivm melganzevoet en muur
Hootechem	2000	982	goed	wel veel wieden
	2002	863	goed	wel veel wieden
Van Andel	2000	912	goed	
	2001	1083	goed	
	2002	949	goed	
	2003	594	goed	



Figuur 3. Jaarlijkse neerslag (mm, gemiddelde, met minimum en maximum) in relatie tot het slagen van de onkruidbestrijding in ui, zoals beoordeeld door PPO (gegevens Tabel 1 en 2) en telers (gegevens Tabel 3 en 4).

Omdat de gebruikte bestaande gegevens met een ander doel zijn verzameld, zijn de waarnemingen niet afgestemd op ons onderzoeksdoel en komen de risicofactoren ook niet duidelijk naar voren. Eigenlijk is daarvoor een specifiek op risico's gericht onderzoek nodig. Om verder te gaan dan uitspraken over de gemiddelde kans op het mislukken van de onkruidbestrijding is een meer gedegen aanpak nodig, zoals in de epidemiologie (bijvoorbeeld studies naar verbanden tussen eetgedrag, fysieke gesteldheid en kans op medische aandoeningen). Hierbij zouden bijvoorbeeld grondsoort- en gewas-specifieke risico's kunnen worden vastgesteld met als risicofactoren: teeltwijze, werktuiggebruik, timing bewerkingen, inzetbaarheidscriteria, en het weer in relatie tot inzetbaarheid, effectiviteit en onkruidontwikkeling. Met die aanpak kan ook beter de oorzaak van het in deze studie gevonden verschil tussen peen en uien, en het eventueel leerzame verschillen tussen bedrijven worden achterhaald. Hiervoor is wel een grotere steekproef nodig. Het leggen van relaties met de grondsoort is bij het kleine aantal zandpercelen (Zonnehorst) en zavelpercelen (Ter Linde, van Andel) niet zinvol.

6.4 Neerslagpatronen en de uitvoerbaarheid van mechanische onkruidbestrijding

6.4.1 Methode en aannames in het spreadsheetmodel

In plaats van de totale regenval (zoals hierboven) gaat het bij de uitvoerbaarheid van mechanische onkruidbestrijding over de lengte van de 'droge' werkbare perioden en de lengte van de 'natte' perioden daartussen. In een afwisseling tussen een natte, droge en natte periode begint de werkbare periode zodra de toplaag bewerkbaar is (goed verkruimelbaar zonder versmering) en de ondergrond berijdbaar (sterk genoeg om de trekker te dragen zonder excessieve spoorvorming en verdichting). Na de bewerking is een bepaalde tijd nodig om de ontwortelde onkruiden zodanig te laten uitdrogen dat ze door een regenbui niet weer aanslaan. De benodigde tijd tussen een bewerking en het begin van de regenval is afhankelijk van windsnelheid, zonnestraling, de vochtigheid van de toplaag tijdens bewerking, en de mate waarin de grond wordt verkruimeld en het onkruid wordt blootgelegd aan de oppervlakte. Naar schatting (onderzoeksgegevens ontbreken) varieert deze tijd van drie uur tot circa twee dagen. De volgende berekeningen veronderstellen dat na een bewerking één droge dag volgt.

De tijd tussen het stoppen van de regen en het begin van de werkbare periode hangt af van:

- hoe snel de hoeveelheid in de grond opgeslagen water verdampt of wegzakt,
- het kritische vochtgehalte voor bewerkbaarheid van de toplaag (Figuur 6 en 7 in sectie 4.3), en
- de verdichtbaarheid van de ondergrond in relatie tot de bodemdruk (Figuur 10a in sectie 5.1).

Om deze tijd te schatten moet men eigenlijk het vochtprofiel in de bodem en de daarbij horende mechanische grondeigenschappen simuleren met modellen (bijv. Droogers *et al.*, 1996; Weber, 1997; van den Akker, 2004). Zo'n benadering vergt meer tijd dan binnen dit project beschikbaar is, en vraagt bodem-specifieke informatie over allerlei parameterwaarden. Daarom gebruiken we hier een eenvoudige benadering op basis van een spreadsheetmodel, die ook voor leken inzichtelijk is: Vanaf het begin van de regenperiode verdwijnt elke dag een instelbaar maximum aantal mm water uit de bodem, de afvoer. De grond is pas weer bewerkbaar/berijdbaar als al het wateroverschot dat ontstaat door regen weer is verdwenen.

De bodemvochtreserve op elke dag is berekend als de hoeveelheid neerslag op de dag zelf minus de afvoer plus de hoeveelheid vocht die al in de bodem zat. Een berijdbare dag is dan een dag waarop de vochtvoorraad uitkomt op 0 en het niet regent². Als het bijvoorbeeld drie dagen achtereen resp. 1, 5 en 3 mm regent en de afvoer 2 mm per dag is, dan wordt er resp. 1, 2 en 2 mm afgevoerd. Daarna is er nog $0+3+1 = 4$ mm over, waardoor er nog 2 dagen gewacht moet worden met bewerken. Als de maximale afvoer 4 mm per dag was geweest had men meteen op de vierde dag kunnen bewerken.³

In de droge periode kunnen een aantal bewerkingen worden gedaan. De toelaatbare tijd tussen opeenvolgende bewerkingen in deze periode (waarbij geen extra handwieden nodig is om het ontsnappend onkruid te verwijderen) is afhankelijk van de snelheid van onkruidontwikkeling (temperatuur) en de hoeveelheid nieuw kiemend onkruid (temperatuur en vocht) en zal naar schatting minimaal 3 en maximaal 9 dagen bedragen. Als de droge periode 3 dagen of korter is wordt er dus één bewerking gedaan. Als de werkbare periode 4 - 10 dagen duurt worden er twee bewerkingen gedaan, bij 11 - 19 werkbare dagen zijn er drie bewerkingen, enz. De eerste bewerking wordt op de eerste werkbare dag gedaan. De laatste bewerking vindt 1 dag voor de regen plaats.

Naarmate de natte periode langer duurt neemt de kans toe dat onkruiden te groot worden om mechanisch te worden bestreden. Dit onkruid zal ook bij volgende bewerkingen ontsnappen en handmatig gewied moeten worden. Naar schatting zal de toelaatbare tijd tussen bewerkingen variëren van 5 tot 14 dagen, afhankelijk van de temperatuur en de toelaatbare agressiviteit van bewerking (die de bestrijdbare grootte van het onkruid bepaalt). Voor elke dag dat de natte periode langer duurt dan het maximaal aantal dagen tussen opeenvolgende bewerkingen (hier: 9 dagen) wordt in het spreadsheetmodel een (instelbaar) extra aantal uren handwieden verondersteld van 6 uur/ha/dag. Met veronderstelde bewerkingskosten van € 30/ha per keer⁴ en handwiedkosten van € 10 /uur⁵ kunnen jaarlijkse variaties in neerslag en werkbare dagen worden gerelateerd aan de kosten.

Op basis van dagelijkse neerslaggegevens in april en mei van 1994 t/m 2003 van het weerstation in Wageningen (Tabel 5) berekent het spreadsheetprogramma het aantal en de lengte van de niet-bewerkbare periodes (Figuur 4). Door de dagelijkse afvoer te variëren van 2 mm per dag (slecht ontwaterende zware grond) tot 10 mm per dag (nauwelijks bewerkbaarheidsbeperkingen) krijgen we een indruk van de invloed van bewerkbaarheid voor de risico's op hoge handwiedkosten (Tabel 6). Tenzij anders vermeld worden de standaardinstellingen in het kader op pagina 10 gebruikt. Deze parameterwaarden zijn niet gebaseerd op onderzoeksgegevens maar geven uitkomsten die ongeveer overeenstemmen met onze inschattingen.

² In het spreadsheetmodel zijn zowel de neerslagdrempel als de kritische bodemwatervoorraad voor het begin van de werkbare periode instelbaar. De kritische bodemwatervoorraad en de afvoersnelheid moeten in onderlinge samenhang worden afgestemd om voor specifieke situaties de werkbare periode in relatie tot neerslagpatronen realistisch na te bootsen. Hoewel de kritische bodemwatervoorraad groter dan 0 zal zijn, is deze op 0 gesteld om te compenseren voor de langzamere droging van droge grond.

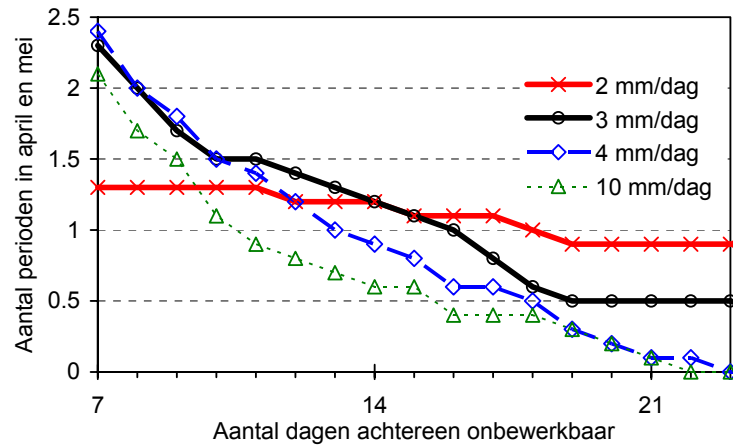
³ Als men neerslaggegevens per 6 uur zou hebben zou men dit kunnen verfijnen door met vier perioden per dag te rekenen, waarbij er in de derde periode (10:30 tot 16:30) bewerkt kan worden.

⁴ Dit is aan de hoge kant, gebaseerd op loonwerktarieven voor schoffelen met een 6-meter brede schoffel (€ 74/u) en een werktijd van 0.4 u/ha (KWIN, 2002).

⁵ De waarde hiervoor is sterk afhankelijk van de categorie werknemers (scholieren of vast personeel).

Tabel 5. *Dagelijkse neerslaggegevens van het weerstation in Wageningen, met de gesimuleerde periode waarin bewerking mogelijk is en het lang genoeg droog blijft (grijs), met bewerkingsdata (vet). Afvoersnelheid 4 mm/dag (lichtgrijs) en 2.8 mm/dag (donkergrijs), 1 droge dag tussen bewerking en regen.*

datum	Neerslag (mm/dag)									
	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994
1 april	10.9	0	0	0.3	0	3.6	0	0	0	12.8
2 april	6.7	0	0	0.6	0	2.2	0	0	0	7.6
3 april	2.2	0	0.1	0.8	7.7	10	0	0	0	0.5
4 april	0	0	1.5	0.6	0	5.1	0.9	0	0	19.7
5 april	0.2	0	7.2	0	1.3	4.2	12.4	0	0.2	4
6 april	0	0	7.9	0	0.9	3.3	0	0	0	0.1
7 april	0	0	1.2	0	0.8	7.2	0	0	0	0.3
8 april	0	0	0.7	0	0	0.1	0	0	0.1	1.8
9 april	0.1	0	0	0	0.2	1	0	0	1	11.6
10 april	0.7	0	4	0	4	0.2	0	5.3	5	0
11 april	0.2	0	0	0	0	0.2	0.2	3.5	0	0
12 april	0	0	0.2	2.9	9.8	0	0.6	0	0	0
13 april	0	0	0	4.5	8.8	6	0	0	0	0
14 april	0	0.5	7.3	0.1	1.8	0	0.3	0	0	0.9
15 april	0	9.2	8.2	2.6	0.4	12.1	0	0	1.4	1.1
16 april	0	6.9	2.3	0.1	0	1.1	0.2	0	1.9	0
17 april	0	0.2	0.2	5	5.6	0.8	0	0	4.6	0
18 april	0	2.8	4.8	0	0.4	0.1	0	0	6.6	0
19 april	0	0	5.1	0	0	0.2	0	0	0.3	0
20 april	0	0	1.4	0.1	1.7	6.6	0	0	0.5	0
21 april	0	0	0	0.1	5	0	0	0	1.1	0
22 april	0.4	0	0	10.7	7.6	0	0	0	0.3	0
23 april	0	0	0	7.6	0	0	0	0	0	6.4
24 april	0.2	0	1.1	0	0	1.5	0	0	0	1.4
25 april	1	0	6.4	0	0	9.6	2.4	0	0	0
26 april	18	10.4	2.9	0	0	0.2	1.4	0	0.2	0.4
27 april	3.1	1.1	3.1	0.9	0	8.4	0.4	0	0	1.3
28 april	1.7	8.1	3.1	0	0	0	8	0	0	0
29 april	3.2	0	0.2	0.6	0	0	5.1	0	0	0
30 april	4.5	1.8	0.3	0	0	0	0	0	0	0
1 mei	5.5	5.6	0	0	0	0	0	1.1	0	0
2 mei	5.3	6.7	0	0.4	0	2.1	0	3.7	0	0
3 mei	3.4	0	1.4	1.3	0	0	0	2.9	0	0
4 mei	0	0.4	1.3	0	0	0	1.2	0.8	0	2.2
5 mei	1	10.6	0	0	11.6	0.8	6.8	0	0	0.6
6 mei	6.1	1.3	0	0	7.2	4.2	6.8	0	0	10.8
7 mei	0	0	0	0	5	0	0.3	0	0	0.2
8 mei	0.4	0	0	2.8	0.1	0	2.2	0	0.7	4.7
9 mei	0	0	0	0	0	0	4.4	0.1	3.9	0
10 mei	0	0.2	0	0	3.9	0	0.8	0	1.1	0
11 mei	0	0	0	0	3.5	0	1.6	0	0	0
12 mei	7.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13 mei	7.8	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0
14 mei	1.7	7	25.7	0	4.7	0	10.6	0	0	3
15 mei	1	0	0.4	0	0	0	0	0	0.1	11.2
16 mei	0	0	2.5	14.2	0	0	0.3	1.6	0	1.4
17 mei	2.1	0	7.8	4.6	0	0	2	2.1	14.1	6.9
18 mei	4.5	0	1.9	2	0	0	7.2	0.1	1	0
19 mei	7.4	0	0	6.4	0.1	0	2	0.6	6.2	0
20 mei	5.2	0	0	1.9	13.6	0	9.2	0	0.8	2.7
21 mei	4.7	1.7	0	8.9	0	0.1	11.7	0.3	0	12.1
22 mei	4.6	3.7	0	0	0.4	0.2	0.8	1.1	0	4.2
23 mei	13.4	0	0	4.1	0	0.1	0	3.3	0	0
24 mei	7	1.1	0	8.3	0	1.2	0	2.7	1.2	0.4
25 mei	1.1	0.2	0	2.8	0	0.1	0	7.7	14.8	7.4
26 mei	0	4.5	0	1.2	0	5.8	0.1	1.7	4.8	1.2
27 mei	0	0	0.3	0.1	0	8	0	4	0	0.1
28 mei	0	0	0.8	11.2	0	0.6	0	0	39.1	0
29 mei	0	1.1	0	12.4	13.4	17.3	0	0	0	0
30 mei	0	0	0	0	4.3	0	0	0	0	0
31 mei	0	0	0.4	0	0.6	0	0	0	0	0



Figuur 4. Het gemiddeld aantal keren dat een periode van een bepaald aantal of meer onbewerkbare dagen voorkomt in april en mei. Simulaties met dagelijkse neerslaggegevens van 1994 t/m 2003 in Wageningen bij verschillende afvoersnelheden.

Het spreadsheetmodel met gebruiksaanwijzing en beschrijvende documentatie kan t.z.t. worden gedownload van www.kennisonline.wur.nl, zodat u zelf Tabel 5 en andere resultaten kunt herberekenen bij andere aannames die representatiever zijn voor uw situatie.

Standaard parameterinstellingen bij simulaties met het spreadsheetmodel

- Aantal 'droge' dagen na bewerking = 1.
- Toelaatbare regenval op 'droge' (werkbare) dagen = 0 mm.
- Kritische bodemwatuvoorraad voor het begin van een werkbare periode = 0 mm.
- Minimaal 3 en maximaal 9 dagen tussen opeenvolgende bewerkingen binnen een droge periode.
- Extra uren handwieden per dag uitstel van bewerking (boven 9 dagen) = 6 u/ha.
- Bewerkingskosten = € 30/ha per keer.
- Handwiedkosten = € 10/uur.

6.4.2 Effecten op lengte bewerkbare periode en uren handwieden

Zelfs zonder bewerkbaarheidsbegrenzungen (afvoersnelheid 10 mm/dag) komt in ons klimaat elk jaar gemiddeld één periode van 10 of meer aaneengesloten niet-werkbare dagen voor (Figuur 4). In 8 van de 10 jaren is enig handwieden (gemiddeld 39 u/ha, maximaal 90 u/ha, Tabel 6) dus onvermijdelijk. Echter, als het op de dag na bewerking mag regenen, stijgt het percentage werkbare dagen van 40% naar 53% en daalt het aantal uren handwieden naar gemiddeld 1.8 u/ha en maximum 12 u/ha. Bij gemiddeld 12.8 (minimaal 10, maximaal 16) mechanische bewerkingen bedragen de totale bestrijdingskosten dan gemiddeld 326 €/ha en maximaal 474 €/ha. Dit aantal bewerkingen is echter een factor 1½ hoger dan onze inschatting van wat werkelijk nodig is.

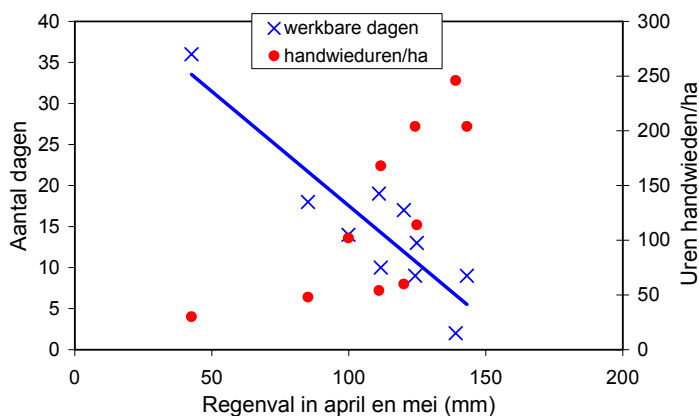
Tabel 6. Gemiddelde en maximum van diverse weerafhankelijke parameters op basis van 10 jaar werkbaarheidssimulaties in april en mei bij verschillende afvoersnelheden van het bodemvocht.

afvoersnelheid (mm/dag)	gemiddeld					maximum				
	2	2.8	3	4	10	2	2.8	3	4	10
%werkbaar dagen	10%	24%	27%	35%	40%	52%	59%	61%	62%	62%
onbewerkbare periode (dagen)	32.5	11.6	10.1	7.6	6.7	49.3	26.7	24.0	15.9	14.6
extra aantal uren handwieden /ha	251	123	104	55	39	312	246	192	108	90
aantal mechanische bewerkingen	1.9	5.8	6.2	7.7	8.7	8	9	10	11	11
kosten handwieden (€/ha)	2514	1230	1044	552	390	3120	2460	1920	1080	900
kosten bewerkingen (€/ha)	56	172	184	228	258	237	266	296	326	326
totale kosten	2570	1402	1228	780	648	3120	2578	2009	1228	1078

Als we aannemen dat 4 mm afvoer /dag een beeld geeft van de bewerkbaarheid van de toplaag, zien we dat een lagere afvoersnelheid (hier een indicatie voor beperking door slechte berijdbaarheid) een zeer grote invloed heeft op de lengte van de niet-bewerkbare periode. Door het wegnemen van de berijdbaarheids-beperking (dus 4 mm afvoer/dag) zou het gemiddeld aantal uren handwieden met 47% (vergeleken met 3 mm/dag) tot 78% (vergeleken met 2 mm/dag) kunnen dalen tot 55 u/ha (bij 4 mm afvoer/dag). De pieken in handwiedwerk dalen iets minder sterk (met resp. 44% en 65%), maar toch aanzienlijk. De verschillen in het gemiddeld percentage werkbare dagen zijn met een factor 1.3 (3 mm afvoer/dag) tot 3.5 (2 mm afvoer/dag) ook groot. Dit onderstreept het belang van het gebruik van lichtere trekkers en getrokken werktuigen.

Bij het onderzoek naar het vaste rijpadensystemen op 'De Oostwaardhoeve' in Slootdorp was het aantal werkbare dagen voor voorjaarswerkzaamheden ongeveer een factor 3 groter dan bij het gangbare grondbewerkingssysteem (Vermeulen & Klooster, 1992). Die relatieve toename komt overeen met het verhogen van de afvoersnelheid van 2.2 naar 4 mm/dag. Het door Vermeulen en Klooster (1992) gevonden percentage werkbare dagen voor oppervlakkige bewerking in april en mei bedroeg in 1986 28% en in 1987 58%, hetgeen binnen de bandbreedte ligt van onze simulaties bij 4 mm afvoer/dag. Als er werd gereden met lagedrukbanden (0.4 bar) konden nagenoeg alle werkbare dagen worden benut. Bij een hogere bandspanning en smallere banden (0.8 bar) waren er in die jaren slechts 0% en 13% werkbare dagen⁶. Dhr. Siepel, één van de door PRI (R.M.W. Groeneveld) bezochte telers, gaf al aan dat hij met klein materiaal circa 2 dagen eerder aan het werk kon dan met grotere werktuigen. Echter, de grotere werktuigen besparen tijd door hun hogere capaciteit. Dhr. Korteweg heeft gemerkt dat hij met zijn grote rupstrekker op vaste rijpaden eerder kan beginnen en langer kan doorgaan dan in een conventioneel grondbewerkingssysteem. Door meer werkbare dagen en een grote capaciteit is hij in staat om 200 ha biologisch te telen en tijdsiger mechanisch onkruid te bestrijden en valse zaaibedden aan te leggen. In sectie 5 wordt verder ingegaan op bodemdrukverlaging.

De aanzienlijke daling van het aantal handwieduren bij een stijging in afvoersnelheid van 3 naar 4 mm/dag vergt gemiddeld maar 1.5 bewerking extra. Blijkbaar is de timing van de bewerkingen meer doorslaggevend dan het aantal. Verder blijkt uit Figuur 5 dat er pas bij meer dan circa 100 mm neerslag in april plus mei problemen ontstaan. De verschillen in neerslagverdeling veroorzaken echter een grote spreiding in de noodzaak tot handmatig wieden. Verder onderzoek naar het afstemmen van bewerkingen op het weersverloop, met name (het verhogen van) de effectiviteit bij lichte regenval lijkt daarom zinvol. Ter illustratie: Als er op de dag na bewerking 0.5 mm regen mag vallen (in plaats van 0 mm) zijn er volgens het model circa 30 minder uren handwieden per ha nodig. Als het alleen op de dag van bewerking droog hoeft te zijn is handwieden slechts in 2 uit 10 jaar nodig (6 en 12 uur/ha).



Figuur 5. Het gesimuleerde aantal bewerkbare dagen en uren handwieden in de jaren 1994 t/m 2003 uitgezet tegen de totale regenval in april en mei, bij een afvoersnelheid van 2.8 mm/dag.

⁶ Dit geldt voor het minst stringente berijdbaarheids criterium: 8% luchtgevulde poriën bij een zuigspanning van -10 kPa (pF=2.0). Hoewel de gebruikte trekker zwaarder is (82 kW) en de banden groter en breder, is 0.8 bar bandspanning lager dan wat gebruikelijk is voor mechanische onkruidbestrijding (zie Tabel 7).

6.4.3 Opmerkingen over het realiteitsgehalte van deze simulaties

De afvoersnelheid en kritische bodemwaternivo zijn parameter van doorslaggevend belang waarin allerlei factoren zijn verdisconteerd. Welke parameterwaarden zijn nu representatief voor bepaalde grondsoorten en machine-(grootte)s? Er zijn onvoldoende gegevens voorhanden om deze vraag te beantwoorden. Toch kunnen telers zelf de waarde voor hun omstandigheden eenvoudig bepalen door (lieft twee maal per dag) de regenval te meten en (kwantitatief) te bepalen of men kan bewerken (kleeft de toplaag?) en berijden (lopen en eventueel een stukje proberen te rijden⁷). Teler die het model willen gebruiken zouden het bijgeleverde formulier (tabblad in spreadsheet) kunnen invullen en opsturen, en krijgen dan (als beloning voor de data) de best passende parameterwaarden aangeleverd. Het model komt in 2005 beschikbaar.

Omdat er bij 2 mm afvoer per dag gemiddeld slechts 1.9 bewerkingen mogelijk zouden zijn en in 6 van de 10 jaren geen bewerking mogelijk is, lijkt deze afvoersnelheid wel erg pessimistisch. Qua aantal bewerkingen en percentage werkbare dagen lijkt 3 mm/dag een realistische tot optimistische schatting van de huidige mogelijkheden te geven. Een afvoersnelheid van 2.8 mm/dag geeft een redelijk globaal beeld geeft van de berijdbaarheid van de grond met de huidige machines.

Grondsoort heeft echter een grote invloed op het aantal werkbare dagen. Een Duitse modelstudie naar de werkbaarheid voor mechanische onkruidbestrijding berekende voor zware grond (zavelachtige klei, leemachtige klei en kleiachtige leem) 23.5% en voor lichte (zand) grond 98% werkbare dagen in de periode mei t/m september (Weber, 1997). Omdat alleen eisen zijn gesteld aan de vochtspanning in de bodem (en niet aan de regenval op zich) is het door Weber gebruikte werkbaarheids criterium minder streng dan in onze studie (gemiddeld maximaal 40% werkbare dagen). Een Nederlandse studie van Droogers *et al.* (1996) toont aan dat binnen dezelfde grondsoort (zavel) het grondbewerkingssysteem invloed heeft op het aantal werkbare dagen.

Voordat er met dit model uitgebreide simulaties worden gedaan is het raadzaam om het eerst te valideren door veldwaarnemingen en vergelijking met voorspellingen met modellen die het bodemvochtprofiel en daaraan gekoppelde sterkte-eigenschappen van de grond voorspellen en expliciet rekenen met bodemdruk van trekkers. Hoewel de waterdoorlatendheid van grond afneemt naarmate die droger wordt, veronderstelt het spreadsheetmodel een constante afvoer. Ook variaties in verdamping worden niet meegenomen. Klei- en zavelgronden kunnen ook te droog worden voor mechanische onkruidbestrijding, door beperkte indringing en verkrumming. Op dergelijke gronden zullen de bewerkbare en berijdbare periode elkaar slechts deels overlappen en is bodemdrukverlaging noodzakelijk om deze periodes te synchroniseren.

Verder houdt dit model er geen rekening mee dat bewerkingen in de droge periode niet altijd uitvoerbaar zijn omdat telers ook andere taken hebben die om de prioriteit strijden, zoals de oogst van een gewas. In een enquête noemen 7 biologische telers als belangrijkste belemmeringen voor het uitvoeren van mechanische onkruidbestrijding:

- 1) het onberijdbaar zijn van het veld,
- 2) het hebben van andere meer urgente taken, en
- 3) kans op gewasbeschadigingen en plantverlies.

Ook moet nog worden vastgesteld hoe lang een niet-bewerkbare periode moet zijn om in de praktijk problemen met onkruidbeheersing te veroorzaken.

Ondanks deze kanttekeningen onderstreept deze simulatie het belang van berijdbaarheid voor het risico's van tekortschietende effectiviteit van mechanische onkruidbestrijding.

⁷ Om de meting te standaardiseren zou men ook een eenvoudige penetrometer ter beschikking kunnen stellen.

6.5 Effecten van oppervlakkige bewerking van de toplaag

Nadat we in de eerste lijn binnen dit hoofdstuk de invloed van het weer op het slagen van de onkruidbestrijding kwantitatief hebben verkend, proberen we in de tweede lijn te verhelderen welke door telers aangegeven risico's m.b.t. structuurschade wel en niet relevant zijn in welke situaties. Het gaat daarbij om de toplaagstructuur (in de bovenste 1-3 cm, sectie 4) en verdichting van wielsporen (sectie 5), in relatie tot de intensiteit van bewerking/ verdichting en de stabiliteit van de bodem. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de directe effecten op de bodemstructuur en de gevolgen (voor de uitvoerbaarheid van toekomstige werkzaamheden, de kwaliteit van het bewerkingresultaat, de ontwikkeling en opbrengst van gewassen, de onkruidontwikkeling, en het milieu). We beperken ons hier tot de korte termijn gevolgen binnen de teelt van het gewas waarin de bestrijding plaatsvindt.

Slechts een beperkt aantal aspecten is specifiek voor mechanische onkruidbestrijding onderzocht, waarbij de weinige experimenten onder voor een beperkte reeks omstandigheden een fragmentarisch beeld geven. Zaaibedbereiding is een bewerking die ongeveer in dezelfde periode van de teelt plaatsvindt en waaraan veel meer onderzoek is verricht, dat (met de nodige voorzichtigheid) vertaald zou kunnen worden naar mechanische onkruidbestrijding. Omdat de beschikbare gegevens geen verantwoorde risicoschatting mogelijk maken, moeten we hier volstaan met een kwalitatieve risico-inventarisatie.

6.5.1 Versmering onder natte omstandigheden

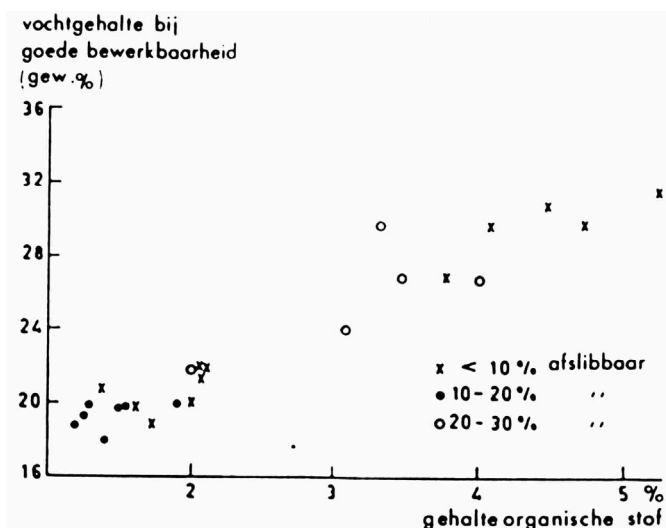
Bij het bewerken brengt het werktuig druk en afschuifkracht over op de grond. De effecten van deze krachten zijn afhankelijk van mechanische grondeigenschappen, die afhankelijk zijn van textuur, structuur, het organische stofgehalte en het vochtgehalte op dat moment.

Onder extreem natte omstandigheden kan versmering optreden waarbij aggregaten en kluiten vervormen in plaats van verbrokkelen. Dit kan worden vergeleken met een licht knedend effect zonder noemenswaardige samendrukking. Hierdoor neemt het volume-aandeel van (met name de grote) poriën af en veranderen de mechanische en hydraulische eigenschappen. Hierdoor kunnen op zowel klei en zavel bij sterk drogend weer harde kluiten ontstaan. Als de grond over een groot oppervlak is dichtgesmeerd (bijvoorbeeld door botte schoffelmessen) zou dit in principe de gasdiffusie naar diepere lagen kunnen belemmeren. Zandgronden zijn niet geaggregeerd en over het algemeen veel minder gevoelig voor deze effecten.

Er zijn geen metingen bekend over het effect van mechanische onkruidbestrijding onder natte omstandigheden op de toplaagstructuur. De negatieve effecten van zaaibedbereiding onder natte omstandigheden zijn algemeen bekend, maar vanwege de grotere werkdiepte en intensievere bewerking zijn die niet representatief voor mechanische onkruidbestrijding. Aangezien mechanische bestrijding bij natte omstandigheden meer onkruidkieming oproept (Bond & Baker, 1990), niet het gewenste bestrijdende effect geeft (nauwelijks blootleggen van ontworteld onkruid, slechte bedekking) en nauwelijks uitvoerbaar is (grond plakt aan werktuigen, slechte berijdbaarheid), zullen deze effecten in de praktijk waarschijnlijk zelden optreden.

6.5.2 Oppervlakkige verdichting

Met name onder vochtige omstandigheden zouden er onder de te bewerken laag verdichtingen kunnen ontstaan als de werktuigen zelf op de grond afsteunen. De in Nederland gebruikte werktuigen steunen nauwelijks op de grond af. In Canadees en Amerikaanse veldonderzoek met *rotary hoes* (die per rotor 12-16 kg afsteunen, maar in Nederland niet worden gebruikt) bleek geen aanwijsbare verdichting op te treden (Coote & Saidak, 1984; Mulder & Doll, 1993; Centre de Développement d' Agrobiologie, 1997 geciteerd door Coulombe (2003)). Krause & Ditges (1994) vonden bij de rolcultivator en aangedreven borstelwals een halvering van de infiltratiesnelheid, terwijl de schoffelmachine slechts een geringe afname veroorzaakte (grondsoort: '*fluviatilen schwemmlandboderl*', zonder specificatie van textuur of vochtgehalte tijdens bewerken).



Figuur 8. Invloed van de gehalten aan organische stof en afslibbare delen op de grenswaarde van het vochtgehalte bij goede bewerkbaarheid (Boekel, 1979 in van Wijk & Boekel, 1987).

6.5.3 Risicobeoordeling bewerking onder vochtige omstandigheden

Omdat het goed mogelijk is om op het gevoel en op het oog de bewerkbaarheid te beoordelen (Koolen *et al.*, 1987; Figuur 6), is het risico van toplaagstructuurbederf onder natte omstandigheden in principe vermijdbaar. De vochtspanning is de belangrijkste factor voor de bewerkbaarheid, en is voor een bepaalde grond en dichtheid nauw gerelateerd aan het vochtgehalte. De vochtspanning op de bewerkbaarheidsgrens is afhankelijk van de zwaarte van de grond en het organische stofgehalte (Figuur 7 en 8). Er zijn diverse bruikbare objectieve bewerkbaarheidscriteria ontwikkeld waarmee het aantal bewerkbare dagen kan worden gekwantificeerd (bijv. Van Wijk & Boekel, 1987; Hoogmoed *et al.*, 2003; Müller *et al.*, 1990; Mueller *et al.*, 2003). Echter, de modellen voor het voorspellen van het vochtgehalteverloop in de toplaag hebben grondsoort- en structuur-afhankelijke parameters nodig.

Hoewel dergelijke simulatiestudies de omvang van het bewerkbaarheidsprobleem voor enkele situaties zouden kunnen verhelderen, hebben ze waarschijnlijk nauwelijks zin bij het verminderen van of omgaan met risico's. Praktische adviezen over hoe in te spelen op wisselende grond- en weersomstandigheden zijn nuttiger. Volgens Bender (1994) is het rekening houden met het verloop van het bodemvochtgehalte over de tijd erg belangrijk voor een effectieve mechanische bestrijdingsstrategie. Daarbij legt hij veel meer nadruk op de kieming en ontwikkelingsnelheid van het onkruid, en de berijdbaarheid van het veld, dan op structuurschade onder vochtige omstandigheden (achtergrond: een conservation tillage systeem met ruime vruchtwisseling in Nebraska, VS). Het verminderen van de gevoeligheid voor structuurschade door aangepaste teelt- en grondbewerkings-systemen is een andere oplossingsrichting, die in sectie 7 wordt besproken.

6.5.4 Verkrumeling⁸

Onder vochtige, normale en droge omstandigheden zal grond door het bewerken verbrossen c.q. verkrumelen. Hierbij worden de verbindingen tussen aggregaten en kleinere kluiten verbroken, zonder ze te vervormen. Als er reeds weinig samenhang tussen aggregaten of gronddelen bestaat, zal er nauwelijks verkrumeling optreden, en wordt grond alleen verplaatst en gemengd.

⁸ Hoewel verkrumeling ook wel de fijnheid van de toplaag structuur aanduidt, geeft de term hier twee dingen aan: 1) de verandering van de grootteverdeling van kluiten en aggregaten, hetgeen kan worden gekwantificeerd als een relatieve of absolute verschuiving van de gemiddelde aggregaat diameter berekend uit zeeffracties. 2) het verbreken van relatief zwakke verbindingen tussen aggregaten.

In het algemeen neemt de verkruiemeling toe naarmate de grond fragieler is en de door het werktuig veroorzaakte kracht groter. Schoffels en grond-aangedreven vinger- en borstelwieders zullen waarschijnlijk minder verkruiemelen dan egtanden en torsiewieders (geen metingen bekend). De verkruiemelende werking neemt waarschijnlijk toe met een hogere snelheid en een meer slepende tandstand. In veldproeven van Elsten (1994) op klei in Lelystad was de verkruiemelende werking van eggen echter zo gering dat eginstelling en rijnsnelheid geen effect op de verkruiemeling hadden. Ook metingen door Krause & Ditges (1994) gaven aan dat een schoffelmachine en rolcultivator geen significante verkruiemeling gaven. Alleen de aangedreven borstelwals vergrootte de fractie kleinere aggregaten. Zandgronden worden in het algemeen iets minder fragiel naarmate ze vochtiger zijn, maar zijn vanwege de lage cohesie vaak heel gemakkelijk te verkruiemelen. Zavel- en kleigronden hebben een hogere cohesie, die in het algemeen toeneemt naarmate de grond droger wordt. Vochtige grond met een vochtgehalte beneden en nabij de bewerkbaarheidsgrens is vaak goed verkruiemelbaar door mechanische onkruidbestrijding.


Hoewel diverse auteurs excessieve verkruiemeling van de toplaag door mechanische onkruidbestrijding als risico voor erosie, korstvorming en verslemping aanmerken (Ascard & Mattsson, 1994; Krause & Ditges, 1994; Laguë & Khelifi, 2001), zijn er nog nauwelijks metingen verricht (Coulombe, 2003). Voor een goede interpretatie van de verkruiemelende werking moet behalve de verschuiving van de aggregaatgrootteverdeling ook het vochtgehalte van de toplaag tijdens bewerking worden gemeten en gerelateerd aan een werktuig-onafhankelijke aggregaatsterktebepaling (bijv. drop-shatter test).

Ondanks deze kanttekeningen en het gebrek aan gegevens zijn er duidelijk gevallen waarin elke verkruiemelende bewerking ongewenst is, zoals bijvoorbeeld in de Veenkoloniën. Deze dalgronden zijn zó fragiel dat er bij het ploegen uit voorzorg een vorenpakker wordt gebruikt zonder verkruiemelrol, waarbij vaak ook nog gerst wordt ingezaaid om winderosie (stuifschade) te vermijden. Daarnaast worden zaaibedbereiding en andere grondbewerkingen zoveel mogelijk beperkt. Ook op de lichte zavelgronden langs de Waddenzee kust, in de kop van Noord-Holland, Zeeland, de Noordoostpolder en de lössgronden in Zuid Limburg is verkruiemeling door mechanische onkruidbestrijding ongewenst in verband met het risico van verslemping en korstvorming door inwerking van regen en uitdroging (Groenevelt *et al.*, 2003). Omdat in deze gevallen vooral de zwakste verbindingen tussen bestaande aggregaten worden verbroken, neemt de stabiliteit van de toplaag af, zonder dat de aggregaatgrootte-verdeling verandert. Het gaat dus om structuurveranderingen van tijdelijke aard, die door regen en bezakking grotendeels teniet worden gedaan.

Hoewel het moeilijk is om de effecten van verkruiemeling op de effectiviteit van mechanische onkruidbestrijding te scheiden van die van andere factoren, vond Kurstjens (2002b) een positief verband tussen verkruiemeling en effectiviteit. Een lichte mate van verslemping kan de mechanische bestrijding ten goede komen omdat samenhangende grond een betere ontwortelende en bedekkende werking geeft (pers. med. M. Kroonen in Kurstjens, 1998; Kurstjens *et al.*, 2000). Kluiten zijn echter ongewenst en een dikke slemplaag of korst kan de mechanische bewerking ernstig bemoeilijken (Bleeker, 2003).

6.5.5 Gevolgen van verkruiemeling

Uit secties 4.1 t/m 4.4 bleek dat verkruiemeling het belangrijkste en een uit onkruidbestrijdings-overwegingen gewenst effect van oppervlakkige bewerking op de bodemstructuur is. Versmering onder natte omstandigheden is zowel vanuit bodemstructuur als onkruidbestrijding ongewenst, maar treedt bij vakkundige boeren waarschijnlijk niet op. Verdichtende effecten onder de bewerkte laag lijken verwaarloosbaar. Aangezien verkruiemeling het belangrijkste effect is van mechanische onkruidbestrijding, richten we ons hier op de belangrijkste gevolgen ervan:

 **Winderosie** geeft vooral op fragiele zandgronden en dalgronden risico op stuifschade in oppervlakkig gezaaide en langzaam groeiende gewassen zoals suikerbiet. Soms komt het zelfs voor bij zomergranen (pers. med. J.D.A. Wevers, 2004). Losliggende zandkorrels kunnen door de wind worden versneld en hebben een schurende werking, die planten en ook vastliggende grond en kluiten 'zandstraalt'. Op percelen waar het gestoven heeft hebben bieten een dunnere waslaag en zijn meer gevoelig voor de herbiciden die daarna toegepast dienen te worden. Vaak moet een bespuiting uitgesteld worden, waardoor het onkruid wat groter is geworden en hogere doseringen nodig zijn (pers. med. JDA Wevers, 2004). Het zaaibed inclusief zaden en planten kan wegwaaien van plekken of grote aaneengesloten delen van een bewerkt perceel. Als grond rondom bietenplanten is losgemaakt heeft het hypocotyl weinig steun, zodat plantjes als een propeller kunnen gaan ronddraaien en

afknappen. Bij bieten kan schade optreden tussen de zaai en het 6-8 blad stadium, waarbij aantasting door bodempathogenen het risico van stuifschade vergroot. Telers die te maken hebben met percelen met stuifgevaar zaaien steeds meer een stuifdek gerst. Dit betekent dat zij in een vroeg stadium van het gewas geen mechanische onkruidbestrijding kunnen toepassen (pers. med. JDA Wevers, 2004). De stuifschade kan het plantaantal zodanig reduceren dat overzaai nodig is, met een korter groeiseizoen en economische schade als gevolg (berekening: <http://www.irs.nl/betakwik/defaultOverzaaien.htm>). In de laatste vier jaar is het over te zaaien bietenareaal als gevolg van stuifschade beperkt gebleven tot circa 100 ha (publikatiereeks 'het bietenjaar xxxx' op www.irs.nl). Het is moeilijk te voorspellen hoezeer dit zou toenemen bij een bredere toepassing van mechanische onkruidbestrijding.

- ☐ Mechanische onkruidbestrijding kan risico's van nachtvorstschade vergroten omdat een losse toplaag minder warmte uitstraalt door het lagere vochtgehalte en de slechtere warmtegeleiding. Onderzoek van PPO in aardappelen in de Veenkoloniën op wel en niet geëgde aardappelruggen gaf gedurende 4 tot 5 dagen na de bewerking een temperatuurverschil aan van maximaal 0.9 °C op 10 cm boven het grondoppervlak. Ook bij schoffelen werden vergelijkbare effecten gevonden bij uitstralende nachten. Aanaarden gaf geen extra risico en zelfs een positief effect, waarschijnlijk omdat vochtige grond naar het oppervlak werd gebracht en/of de grond door het aanaardraam weer werd aangedrukt (van der Weide *et al.*, 1997). Het risico van nachtvorstschade speelt vooral bij aardappelen in de veenkoloniën.
- ☐ Hoewel grondbewerkingen in het algemeen de leefomgeving van allerlei bodem organismen verstoort, is er nog maar zeer beperkt onderzoek gedaan naar de effecten van mechanische onkruidbestrijding (Coulombe, 2003). Loopkevers worden niet nadelig beïnvloed (Kromp, 1999), maar de effecten zijn mogelijk afhankelijk van hun daadwerkelijke aanwezigheid in de bewerkte toplaag tijdens bewerking. In een onderzoek van Booij *et al.* (1995) kwamen er meer loopkevers voor in biologisch dynamische teeltsystemen dan in gangbare en geïntegreerde. Dit positieve effect kon echter niet aan een bepaalde factor zoals mechanische onkruidbestrijding worden toegeschreven, omdat ook de biodiversiteit in biologische systemen groter is en dit van belang is voor loopkevers.
- Een toename van de mineralisatie (Ascard & Mattsson, 1994; Böhrnsen & Thomas, 1994; Mayor & de Faria, 1995 geciteerd door Coulombe (2003); Steinmann, 2000) levert een kleine verhoging van de bodemvruchtbaarheid (< 5 kg N/ha per bewerking), maar vermindert daardoor ook de hoeveelheid organische stof. Hoewel de aard van die organische stof ook van groot belang is, neemt de aggregaatstabiliteit toe met het organische stof gehalte, waardoor het erosierisico afneemt. In vergelijking met andere grondbewerkingen (met name ploegen) is de bijdrage van mechanische onkruidbestrijding aan de mineralisatie en het verlies aan organische stof erg klein.



Figuur 9. Een korst remt de opkomst. Op deze zavelgrond komt tuinkers alleen op in de scheuren.

- ☐ Als het regent op de losgemaakte toplaag kan op lichte zavelgronden met zwakke aggregaten verslemping optreden. Door de inslag van regendruppels op onbeschermde grond, vallen aggregaten uiteen en spoelen de bodemdeeltjes naar beneden, waar ze de ruimte tussen aggregaten opvullen en de doorlatendheid verminderen. Door uitdroging kan een korst ontstaan die de gewasopkomst sterk kan belemmeren (maar ook de opkomst van

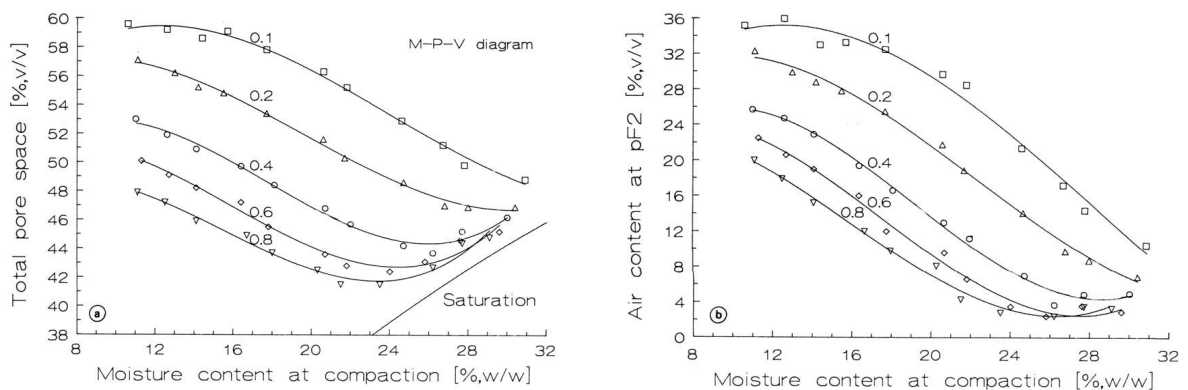
nieuw onkruid) (Figuur 9). Bij suikerbieten is korstvorming de belangrijkste oorzaak van de noodzaak tot overzaaien (circa 200-400 ha, publikatiereeks 'het bietenjaar xxxx' op www.irs.nl). Door een slechtere doorlatendheid kan een ongewenste water-, lucht-, en temperatuurhuishouding ontstaan, waarbij een zuurstoftekort in de grond de gewasgroei kan belemmeren. De slemplaag beïnvloedt waarschijnlijk ook de bewerkbaarheid van de toplaag. De grootte van deze effecten zijn afhankelijk van grondsoort (of specifieker: het verschil tussen vloeigrens en vochtgehalte bij $pF=2$), neerslaghoeveelheid en neerslagintensiteit. Hoewel dergelijke relaties en hun effecten voor specifieke grondsoorten bekend zijn, is deze informatie ontoereikend voor een risicobeoordeling.

6.6 Verdichting van wielsporen

6.6.1 Verdichtingstypen en structuurschade in relatie tot het bodemvochtgehalte

De wielen van de trekker en het werktuig oefenen een voornamelijk verticale kracht uit, die de grond samendrukt. Die druk is afhankelijk van de wiellast en de bandenspanning, en is veel groter dan de druk die door tanden en schoffels wordt veroorzaakt. De horizontale druk van tanden werkt nauwelijks verdichtend, omdat de grond bij afwezigheid van verticale druk naar boven losbreekt en 'ontsnapt'. Echter, onder een wiel zit grond als het ware 'opgesloten', zodat de druk hoger kan oplopen. Tijdens de passage wordt de grond net zo lang verdicht totdat die sterk genoeg is om de opgelegde druk te dragen. Als deze evenwichtssituatie ontstaat vóórdat het vocht in de bodemporiën onder druk komt te staan, is er sprake van 'droge verdichting'. Hierbij wordt lucht uit de grond gedrukt, waarbij vooral de grote poriën worden verkleind.

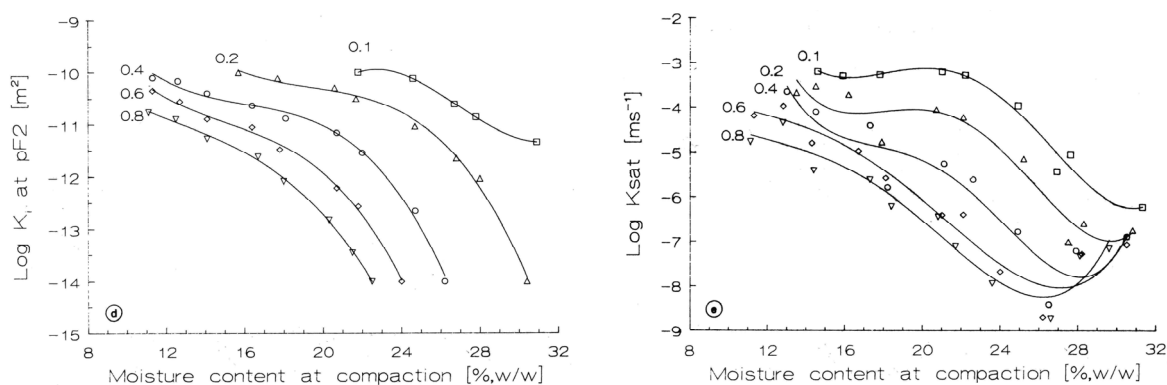
Op basis van uniaxiale drukproeven bij uiteenlopende vochtgehalten van een bepaalde grond kan een MPV (moisture – pore volume) diagram worden geconstrueerd, waaruit het resulterende poriënvolume kan worden afgeleid (Figuur 10a). Onder de achterwielen van een 40 kW trekker⁹ op 23 cm brede wielen is een druk van 245 kPa op 10 cm diepte een realistische waarde (Tabel 7 in sectie 7.2). In het voorbeeld MPV-diagram van Figuur 10a zien we dat bij een laag vochtgehalte van bijvoorbeeld 12% het poriënvolume op 10 cm diepte na berijding ongeveer 55% zal zijn, hetgeen overeenkomt met een bulkdichtheid van circa 1.19 kg/l en een luchtgehalte van circa 41% (28% bij $pF=2$, Figuur 10b). Als de grond vóór berijding al zo dicht is, zal er nauwelijks verdichting optreden. De grond onder de bouwvoor is in het algemeen zo dicht dat de in Tabel 7 vermelde drukken op 25 cm diepte geen ondergrondverdichting veroorzaken.



Figuur 10. Relatie tussen het bodemvochtgehalte bij samendrukking en het poriënvolume (a) en het luchtgehalte bij $pF2$ (b) bij uiteenlopende drukken (lijnen van 0.1 tot 0.8 MPa) voor een zavel van 'De Oostwaardhoeve' in Slootdorp (30% klei, 40% zand, 2% organische stof, 6% CaCO_3) (aangepast uit Dawidowski & Lerink, 1990).

⁹ Voor mechanische onkruidbestrijding worden vaak grotere trekkers gebruikt dan nodig is i.v.m. bruikbaarheid voor andere 'lichte' werkzaamheden en in verband met de hefkracht. Deze trekker is nog relatief licht (2400 kg). Het gebruik van trekkers tot 60 kW (circa 3800 kg) is niet uitzonderlijk.

Als de grond droog is kan dit verdichtingstype worden hersteld door een losmakende bewerking. Naarmate grond natter wordt raken grotere poriën met water gevuld en is het aandeel luchtgevulde poriën kleiner. Naarmate we in het MPV-diagram verder naar rechts gaan, wordt bij dezelfde druk een lager poriënvolume bereikt. De grond wordt dus gevoeliger voor verdichting. Tijdens de passage van de band neemt de sterkte van de grond tijdens het samendrukken minder snel toe en wordt eerder het moment bereikt dat het bodemvocht onder druk komt te staan. Bij 27% vocht daalt het poriënvolume van deze grond tot 46% en het luchtgehalte tot 7%. Als het vochtgehalte verder stijgt zal er nauwelijks lucht meer ontsnappen en zijn nagenoeg alle poriën (circa 94%) met (onsamendrukbaar) water gevuld, zodat de grond begint te stromen (vergelijk: kneden onder druk) terwijl die nauwelijks dichter of sterker wordt. Als dit plaatsvindt is er sprake van 'natte verdichting'. Hierbij komt de grond naast de banden vaak omhoog, zijn grondbewegingen zichtbaar en trillingen voelbaar, en ontstaan diepere sporen dan bij 'droge verdichting' het geval zou zijn. Door vervorming neemt de water- en luchtdoorlatendheid van de grond meer af dan door 'droge' verdichting (resp. Figuur 11a en 11b). Zie Koolen & Kuipers (1983) en Lerink (1994) voor een beschrijving van verdichtingsprocessen.



Figuur 11. Relatie tussen het bodemvochtgehalte bij samendrukking en de luchtdoorlatendheid bij pF2 (a, boven) en de verzadigde waterdoorlatendheid (b, onder) bij uiteenlopende drukkens (lijnen van 0.1 tot 0.8 MPa) voor een zavel van 'de Oostwaardhoeve' in Slootdorp (30% klei, 40% zand, 2% organische stof, 6% CaCO₃) (aangepast uit Dawidowski & Lerink, 1990).

De verdichting van vochtige aggregaten en structuurschade door vervorming kan niet door losmakende bewerkingen worden hersteld. Deze schade kan alleen door natuurlijke zwel – krimp cycli (drogen en bevochtigen, bevriezen en dooien) herstellen. Naarmate grond sterker zwelt en krimpt gaat dit sneller, maar de meeste Nederlandse gronden zwellen minder of helemaal niet. Berijden onder natte omstandigheden kan de bodemstructuur dus ernstig en blijvend beschadigen (Wiermann & Horn, 2000). Echter, beide vormen van verdichting geven wielsporen met een verminderde doorlatendheid (Figuur 12). Doordat deze grond na regenval langer nat blijft (vooral na natte verdichting), neemt de berijdbaarheid af en het risico op verdere verdichting toe (vooral als men toch het land op moet).

Dus, hoewel droge verdichting minder ernstig is dan natte verdichting, moeten beide (macroscopisch gezien) in elkaar overgaande vormen van verdichting worden meegenomen bij het bepalen van de kans op structuurschade. Dit is vrij ingewikkeld, omdat de verandering van hydraulische en mechanische eigenschappen bij opeenvolgende verdichtingen moet worden meegenomen in de berekeningen. Immers, het MPV-diagram, de pF-curve en de doorlatendheidskarakteristiek zijn afhankelijk van de bodemstructuur en veranderen dus mee. Modellen voor het voorspellen van deze (ook ruimtelijke!) veranderingen zijn nog niet ontwikkeld en zouden waarschijnlijk veel grondspecifieke parameters bevatten. Dit bemoeilijkt het maken van representatieve simulatiestudies.



Figuur 12. Wielsporen in een bietenveld blijven in een natte periode langer onbegaanbaar.

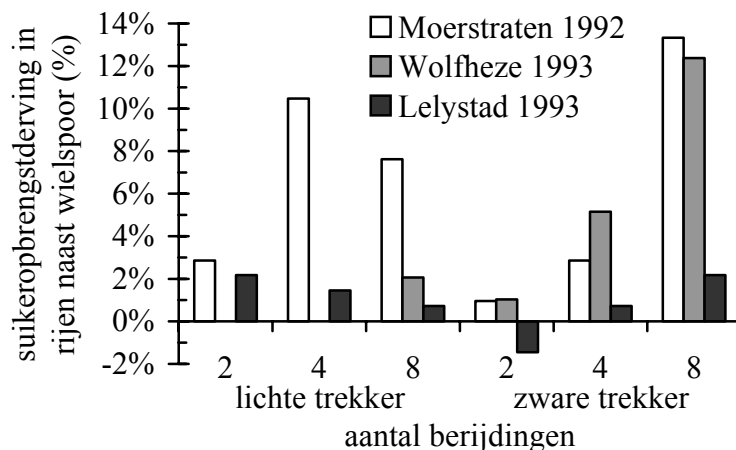
6.6.2 Gevolgen van verdichting van wielsporen

Hoewel er uitvoerig onderzoek is gedaan naar de effecten van verdichting door berijding, is er slechts één studie bekend naar het effect van verdichting als gevolg van mechanische onkruidbestrijding. Van Dooren *et al.* (1994) onderzochten het effect van het aantal berijdingen met een lichte en zware trekker (respectievelijk circa 2400 en circa 4400 kg) op de verdichting van wielsporen en de opbrengstderving van suikerbieten op zandgrond en zavelgrond. Hoewel de eerste passage de grootste dichtheidsverandering geeft, werd de grond door volgende passage steeds dichter, bij de zware trekker tot aan de achtste berijding. De spoordiepte op zandgrond nam toe van gemiddeld 2.6 cm na zaaien tot 5.2 cm na acht maal berijden met de zware trekker. Op zavelgrond nam de spoordiepte toe van 4.0 naar 9.7 cm. De bulkdichtheid in het spoor na acht maal berijden bedroeg 1.53 - 1.57 kg/l, hetgeen overeenkomt met een porositeit van circa 41%. De rijen naast het spoor hadden een 0% tot 13% lagere opbrengst dan de rijen zonder wielsporen ernaast (Figuur 13). Bij een 6 meter breed werktuig zou de opbrengstderving van de lichte en zware trekker bij 8 maal berijden gemiddeld respectievelijk 1.2% en 3.1% bedragen.

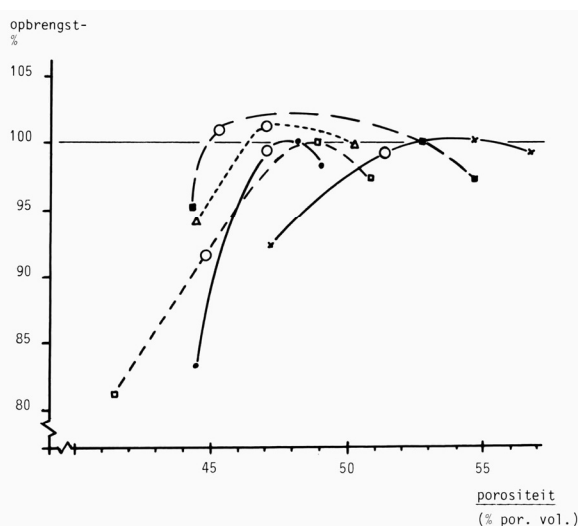
Figuur 14 geeft de relatie weer tussen de relatieve opbrengst van maïs en het poriënvolume van de bouwvoor bij berijding van het hele oppervlak. Het poriënvolume waarbij opbrengstderving optreedt is afhankelijk van de vochtomstandigheden in de verschillende jaren. Vooral in natte jaren is er kans op opbrengstvermindering in verband met zuurstoftekort in de grond. Bij poriënvolumes < 47% is er een grote kans op opbrengstvermindering (Figuur 14).

Dit type relaties heeft echter een beperkte waarde bij het voorspellen van de opbrengstderving als gevolg van wielsporen, omdat verdichtingspatronen heterogeen zijn. Het feit dat in de meeste proeven met mechanische onkruidbestrijding geen significante opbrengstdaling wordt gevonden zegt ook weinig over de effecten van verdichting, omdat er bij experimenten meestal geen rekening wordt gehouden met de patronen van de wielsporen. Desondanks kunnen we zeker stellen dat het gebruik van lichte trekkers en bandspanningsregelsystemen het risico van opbrengstderving kan voorkomen.

Behalve opbrengstvermindering kan spoorvorming op zavel en klei ook leiden tot meer grondtarra bij aardappelen en bieten. Om dit te voorkomen en om onder natte omstandigheden te kunnen spuiten met trekkers op brede banden, worden er ook wel tijdelijke rijpaden gecreëerd door bij het zaaien rijen weg te laten. Omdat schoffelmachines een kleinere werkbreedte hebben (3-6 m) dan veldspuiten (18-36 m) zal dit voor mechanische onkruidbestrijding niet worden toegepast in verband met opbrengstderving en de noodzaak voor extra onkruidbestrijding op de rijpaden later in het seizoen.



Figuur 13. Suikeropbrengstderiving in rijen naast de wielsporen bij 2, 4 en 8 maal berijden met een lichte en een zware trekker in drie experimenten op zandgrond (Moerstraten, Wolfheze) en zavel (Lelystad). Totaalgewicht lichte trekker resp. 2350, 2100 en 2850 kg. Totaalgewicht zware trekker resp. 3400, 5300 en 4400 kg. Bandbreedte lichte trekker resp. 28, 24 en 21 cm. Bandbreedte zware trekker resp. 35, 35 en 24 cm. (Van Dooren et al., 1994).



Figuur 14. De invloed van de porositeit op de relatieve drogestofopbrengst van snijmaïs, waarbij de opbrengst van de lichte verbetering op 100 is gesteld. De opbrengst van de matige verdichting, verkregen door bereiding met dubbellucht vóór het zaaien is omcirkeld (Boone et al., 1987).

6.7 Effecten in de context van het grondbewerkings-systeem

Bij zowel verkruiemeling van de toplaag als verdichting van de wielsporen spelen enerzijds de factoren die de intensiteit van bewerking c.q. berijding beïnvloeden een rol (bijv. type werktuig, snelheid, wiellast, bandenspanning) en anderzijds factoren die de gevoeligheid van de grond bepalen. Een deel van de laatstgenoemde factoren zorgt voor een variërende bodemgevoeligheid op korte termijn (vochtgehalte, poriënvolume, voorverdichtingsweerstand, aggregaatsterkte), terwijl andere bodemeigenschappen pas op langere termijn veranderen (bv. aggregaatsstabieliteit, organische stofgehalte, structuur en dichtheid van aggregaten) of helemaal niet veranderen (textuur). Fluctuaties op korte termijn geven onzekerheid over de uitvoerbaarheid van bewerkingen, terwijl de lange-termijn eigenschappen het risiconiveau bepalen (bijv. gemiddelde werkbare periode, kans op structuurbederf).

Het is belangrijk te realiseren dat de intensiteit van berijding en bewerking en de momentane omstandigheden ook de bodemgevoeligheid en risico's op lange termijn bepalen. Ook andere maatregelen binnen het teelt- en grondbewerkingssysteem zijn van grote invloed, zoals het jaarlijks ploegen, het frequent berijden met hoge wiellasten onder natte omstandigheden tijdens oogst en mestinjectie, de verkrumelende en zevende bewerkingen bij de teelt van rooigewassen, de geringe aanvoer van gewasresten en de geringe bescherming tegen weersinvloeden. Er zijn geen studies bekend die de bijdrage van mechanische onkruidbestrijding in vergelijking met die van andere bodemdegraderende maatregelen hebben gekwantificeerd. Dit is overigens moeilijk eenduidig en met voldoende gevoeligheid experimenteel vast te stellen.

Er zijn echter twee redenen om te veronderstellen dat de bijdrage van mechanische onkruidbestrijding aan bodemdegradatie binnen de in Nederland gebruikte teelt- en grondbewerkingssystemen relatief klein zal zijn. Ten eerste is het bodemvolume dat blootstaat aan verkrumeling en verdichting relatief klein: respectievelijk 8% en 8 - 17% van de bouwvoor¹⁰. Ten tweede is de intensiteit van de verkrumelende en verdichtende acties relatief laag. Hoewel de intensiteit van verkrumeling moeilijk kwantitatief is te vergelijken, zijn het zeven van circa 25% van de bouwvoor door zeefkettingen van een aardappelrooier, het frezen van datzelfde grondvolume bij de aanleg van ruggen en het rotor-kopeggen voorbeelden van zeer intensieve bewerkingen onder vaak vochtige omstandigheden. Bij het willekeurig over het land rijden wordt circa 90% van het oppervlak bereden met een berijdingsintensiteit van circa 150% voor granen tot 300% voor suikerbieten (Lumkes, 1984). Bietenrooiers en zelfrijdende mestinjecteurs met wiellasten tot circa 12000 kg (!) en bandspanningen van minimaal 1.6 bar verdichten 50-100% van het veldoppervlak. Onder natte omstandigheden is ernstige spoorvorming en hoge wielslip onvermijdelijk, waarbij nagenoeg de hele bouwvoor ernstig wordt beschadigd (Figuur 15).



Figuur 15. Bij het oogsten onder natte omstandigheden treedt vaak grote structuurschade op.

6.8 Discussie en oplossingsrichtingen

6.8.1 Toplaagstructuur

De in sectie 4 als relevant aangemerkte risico's als gevolg van verkrumeling (zand- en dalgronden: stuifschade, nachtvorstschade, erosie; zavelgrond: verslemping, korstvorming) wegen het zwaarst bij mechanische onkruidbestrijding vóór gewasopkomst en bij de eerste bewerking in een jong gewas. In de periode daarna nemen alle risico's af, behalve het risico van zuurstoftekort door verslemping.

¹⁰ Bij 2 cm werkdiepte, 3-6 m werkbreedte, en 25 cm spoorbreedte.

Aangezien verkruiemeling van de toplaag uit onkruidbestrijdingsoogpunt wenselijk is, is het de vraag of er een optimale mate van verkruiemeling kan worden gevonden. Dit is alleen zinvol als de mate van verkruiemeling enigszins regelbaar is en als een geringe verkruiemeling beduidend minder risico's oplevert bij een gelijkwaardige onkruidbestrijding. Beide zijn hoogst twijfelachtig. Daarom heeft het ook niet zoveel zin om grondsoortafhankelijke richtlijnen voor de fijnheid van de oppervlaktelaag bij mechanische onkruidbestrijding te geven. Bovendien zijn er binnen een grondsoort relevante verschillen, zodat je de stuif- en slempgevoeligheid eigenlijk perceel-specifiek voor verschillende mate van verkruiemeling zou moeten meten. Zelfs als je die gevoeligheid zou weten kom je niet verder dan een meerjarig risicoprofiel (risico in relatie tot mate van verkruiemeling). Aangezien verkruiemeling na de hoofdgrondbewerking irreversibel is, levert dit vooral richtlijnen voor zaaibedbereiding, niet zozeer voor mechanische onkruidbestrijding. Deze richtlijnen zijn al voldoende ontwikkeld. Echter, omdat na verloop van tijd gewasopkomst-risico's niet meer relevant zijn, het gewas de grond beschermt en verslempingen herstelbaar zijn, zou de toplaag naar verloop wellicht fijner mogen zijn dan de algemene richtlijn voor zaaibedbereiding. Daarom is het vooral zinvol om aan te geven tot wanneer verkruiemeling voorkomen moet worden.

Behalve in richtlijnen en het inzichtelijk maken van risico's kunnen oplossingen ook worden gezocht in technische alternatieven. Het bewerken van uitsluitend smalle stroken rondom de gewasrijen (Kurstjens, 2003; Kurstjens & Bleeker, 2003) biedt waarschijnlijk het meeste perspectief. Hierbij worden de stroken tussen rijen minder vaak en alleen bij droge omstandigheden oppervlakkig geschoffeld, of ingezaaid met een onkruidonderdrukkend en erosiewerend gewas (bijv. Brainard *et al.*, 2004). Vóór gewasopkomst zou men onkruid ook kunnen afbranden. Mechanische methoden die de grond niet verstoren zouden ook een optie kunnen zijn, maar deze zijn niet selectief, waardoor ze niet in de gewasrij toepasbaar zijn (Nawroth, 2002). Andere benaderingen zoals het afsnijden of afbranden van individuele onkruidplanten (Heisel *et al.*, 2002; Dedousis, 2003) zijn nog niet ver genoeg ontwikkeld. 'Punch planting' in combinatie met branden en valse zaaibedden (Rasmussen, 2003) of het strookgewijs verhitten van grond (Melander *et al.*, 2002) zouden op structuurschade-gevoelige gronden een bruikbaar alternatief kunnen zijn om de onkruidopkomst te verminderen met minimale grondverstoring. Voor de geïntegreerde landbouw op structuurschadegevoelige gronden vroeg in het groeiseizoen zijn herbiciden ook een optie.

Naast het inspelen op omstandigheden ter voorkoming van schade op de korte termijn is het verminderen van de bodemgevoeligheid voor verkruiemeling een risicoverminderingstrategie die meer aandacht verdient. Omdat het in Nederland gangbare intensieve grondbewerkingssysteem en de lage toevoer van organische stof de belangrijkste oorzaken zijn voor een verlaagde bodemstabiliteit, is het niet terecht om mechanische bestrijding als oorzaak van toplaagstructuurbederf te bestempelen. Indien mechanische bestrijding een vast onderdeel van het teeltsysteem moet worden, zal dus veeleer het grondbewerkingssysteem moeten worden aangepast. Als men daar niet voor kiest zal men het risico en de noodzaak voor herstelwerkzaamheden (opnieuw losmaken in geval van verslemping) moeten leren aanvaarden als een consequentie, die met chemische bestrijding minder merkbaar was. Vóór de opkomst van herbiciden was het loshouden van de toplaag door frequente bewerking (met name in Duitsland) gebruikelijk.

6.8.2 Verdichting van wielsporen

In sectie 5 zijn de effecten van berijding behandeld voor een relatief losse situatie, die in Nederland gangbaar is (berijden van 25 cm diep geploegde grond). Als men spoorvorming wil voorkómen zal men de grond minder los moeten maken (no tillage, vaste rijpaden) en/of de wiellast en bandspanning verlagen, zodat het zelfversterkend proces van spoorvorming en afnemende berijdbaarheid wordt vermeden. Hoewel het niet met gegevens gestaafd kan worden, hebben we de indruk dat de trekkers die doorgaans voor mechanische onkruidbestrijding worden gebruikt veel zwaarder zijn dan nodig is, omdat de lichte trekker op een bedrijf ook geschikt moet zijn voor andere, zwaardere werkzaamheden. Sommigen bedrijven houden nog wel een stokoude lichte trekker (15-20 kW) in tact voor zeer lichte werkzaamheden als mechanische onkruidbestrijding en rijenspuiten.

Door een bandendruk-regelsysteem (Rempfer, 2003) zou de bandendruk op het veld kunnen worden verlaagd tot 150 kPa voor een gangbare trekker en 130 kPa voor een lichte trekker (Tabel 7). Door de 6 meter brede veertandeg uit het in sectie 5.1 gebruikte voorbeeld niet in de hefinrichting van de trekker te dragen maar te trekken, is een

minder zware trekker nodig. In principe zou 24 kW¹¹ motorvermogen en een totaalgewicht van 1225 kg volstaan¹². Een trekker met dezelfde bandenmaat (230/95 R 40) en een gewichtsverdeling 25% voor, 75% achter zou dan een achterwiel-last van 460 kg hebben, met een zeer lage bandspanning (circa 40 kPa), hetgeen op 10 en 25 cm diepte een bodemdruk geeft van circa 70 respectievelijk 30 kPa (Tabel 7).

Omdat op een kleinere lichte trekker doorgaans kleinere banden worden gemonteerd en investeringen in bandendruk-regelsystemen ongebruikelijk zijn, is dit voorbeeld te optimistisch. Bovendien zijn dergelijke lichte trekkers op grote wielen en getrokken onkruidbestrijdingswerktuigen (tot 12 m breed) niet beschikbaar. Het voorbeeld toont echter aan dat er veel mogelijkheden zijn om de bodemdruk drastisch te verlagen: van 314 kPa naar 77 kPa, een factor 4! Dit is nog maar het begin, want door niet het hele oppervlak te bewerken, maar alleen smalle strookjes rondom de gewasrijen, kan de benodigde trekkracht (afhankelijk van de rijafstand) met ongeveer een factor vier dalen, zodat het vermogen, het gewicht en dus ook de bandendruk van trekkers nog verder kan afnemen (Kurstjens, 2003; Kurstjens & Bleeker, 2003).

6.8.3 Aantal werkbare dagen

Het voorkómen van verdichting is ook een goed uitgangspunt voor het berekenen van het aantal werkbare dagen in relatie tot wiellast en bandspanning, ter kwantificering van het risico van uitstel van bewerkingen en verlaagde bestrijdingseffectiviteit. Dit is eenvoudiger dan het kwantificeren van structuurbeschadigingsrisico's. Om plantengroei niet te beperken mag het luchtgehalte bij $pF = 2$ niet onder circa 15% dalen (Boone, 1988 in Perdok *et al.*, 2002). Uit Figuur 10b in sectie 5.1 kan men aflezen dat het kritische vochtgehalte tijdens berijden met 245 kPa bodemdruk circa 22% is, terwijl men bij 70 kPa hetzelfde luchtgehalte (15%) pas bereikt bij een vochtgehalte van circa 30% (Tabel 7). Dit betekent dat men dus onder nattere omstandigheden het veld op kan. Vermeulen & Klooster (1992) hanteerden overigens minder stricte richtlijnen voor kritische luchtgehalten bij $pF = 2$: 8% en 10%.

Door het verloop van het vochtgehalte op uiteenlopende diepte te voorspellen op basis van weergegevens en gewasgroei, zou men relaties tussen het aantal werkbare dagen en de bodemdruk kunnen berekenen en daaruit de kans op uitstel van bewerkingen afleiden. Dit zou men ook kunnen doen voor verschillende grondbewerkingssystemen (normaal ploegen, ploegen en sterk verdichten van sporen, of permanente rijpaden die nooit worden losgemaakt). Zo kan het nut van bodemdrukverlaging worden afgewogen tegen de benodigde investeringen. Ook kan men nagaan bij welke bodemdruk de bewerkbaarheid van de toplaag als beperking voor tijdige onkruidbestrijding overblijft.

¹¹ Gebaseerd op metingen aan vertandeggen op een zavelgrond (Böhrnsen & Bräutigam, 1990). De benodigde 2.0 kW trekkracht per m werkbreedte is vermenigvuldigd met een factor 2 om rekening te houden met verliezen in de transmissie, wielslip-verliezen en 30% vermogensreserve.

¹² Bij 8 km/u en 15% slip is volgens het ZOZ-diagram (ASAE Data 230.4 revised 1983 in Goering, 1989) 750 N asdruk per kW trekvermogen nodig. Voor een tweewielaangedreven trekker die 12 kW trekvermogen levert resulteert dit in een benodigd achteras-gewicht van 920 kg. Bij een gewichtsverdeling voor:achter van 1:3 is het minimaal benodigde trekkergewicht dus 1225 kg.

Tabel 7. Effect van innovatie-opties op de berekende wiellasten, bandspanningen, bodemdrukken en toelaatbare vochtgehalten voor berijding bij mechanische onkruidbestrijding met een zes meter brede veertandeg.

trekker werktuigaanspanning bandendrukregelsysteem werktuig 550 kg geheven	60 kW ¹⁾		40 kW ²⁾			24 kW ³⁾	
	hefinrichting		hefinrichting			getrokken	
	nee	nee	nee	ja	nee	nee	ja
achterwiel-last (kg)	1270	1225	800	1225	800	460	460
bandspanning (kPa) ⁴⁾	215	195	195	130	65	45	35
bodemdruk op 10 cm diepte ⁵⁾ (kPa)	314	291	245	217	115	77	62
bodemdruk op 25 cm diepte ⁵⁾ (kPa)	104	99	70	90	54	33	30
toelaatbaar vochtgehalte ⁶⁾ (% w/w)	19.5	21	22	23.5	27.5	29.5	30.5

1) Voorbeeld: Fendt 307, totaal gewicht 3800 kg, 5000 kg hefvermogen.

2) Voorbeeld: John Deere 5310, totaal gewicht 2400 kg, 1200 kg hefvermogen.

3) Minimaal benodigd vermogen voor een 6-m brede eg, totaal gewicht 1225 kg.

4) Voor beide trekkers: Michelin XM 25 verplegingswielen maat 230/95 R 40

5) Berekende max. druk onder het midden van een cirvelvormig contactvlak volgens de Söhne-Boussinesq methode in Koolen *et al.* (1992), met concentratiefactor = 4 en een gemiddelde contactdruk van 2 maal de bandspanning (om schuifspanningen, ongelijke drukverdeling en karkastijfheid van de band te verdisconteren).

6) Berijdbaarheidsvochtgehalte op basis van Figuur 5b, 15% luchtgevulde porien bij pF=2.

Hoewel een dergelijke studie haalbaar lijkt (bijv. Arvidsson *et al.*, 2003) en aanbeveling verdient, was die binnen het tijdsbestek van dit project niet uitvoerbaar. Bij voldoende beschikbaarheid van bodemparameters kost zo'n studie circa 30 dagen. Dit zou men kunnen combineren met veldwaarnemingen aan bewerkbaarheid, berijdbaarheid en neerslag, en het bepalen van afvoersnelden voor het bodemvocht in het eenvoudige model van sectie 3, en het vergelijken van voorspellingen van dit model met complexere modellen.

6.8.4 Perceptie van telers

Ondanks het naar verhouding kleine effect op de bodemstructuur zien boeren mechanische onkruidbestrijding toch als bron voor structuurbederf (de Koeijer *et al.*, 2002). Deze opvatting hangt mogelijk samen met het schijnbaar onvermijdelijke karakter van andere structuurschade-bronnen. Immers, als spuiten een beschikbaar alternatief is, is structuurschade door mechanische bestrijding in principe vermijdbaar. Aangezien er praktisch haalbare mogelijkheden zijn om de bodemdruk aanzienlijk te verminderen, werpt zich de vraag op waarom de in sectie 7.1 en 7.2 genoemde opties nog nauwelijks worden benut.

Schatten boeren het nut ervan laag in? Of hebben ze nog niet veel moeite gedaan voor het zoeken naar oplossingen, omdat spuiten de basis van hun bestrijdingssysteem vormt? Of maken andere nadelen van mechanische onkruidbestrijding (weersafhankelijk en beperkt bestrijdingseffect) innovaties niet de moeite waard? In dat geval is het nodig om meer inzicht te krijgen in:

- 1) de gevolgen van een lagere bodemdruk op de mogelijke effectiviteitsverbetering door betere tijdigheid van bewerkingen, en
- 2) de haalbare effectiviteit onder ongunstige omstandigheden.

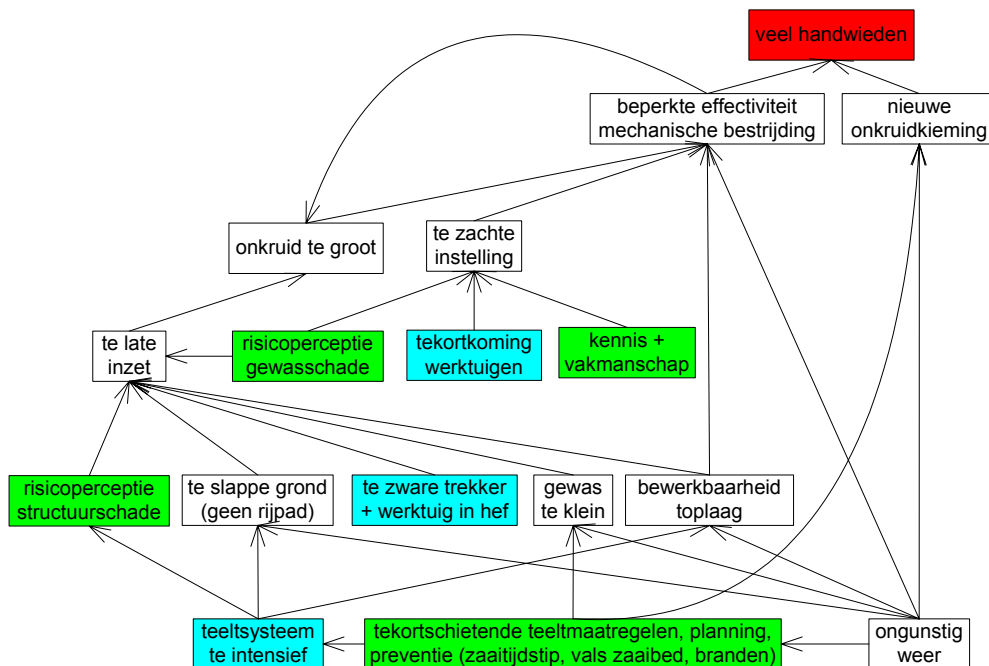
Een tweede verklaringsrichting voor de perceptie dat mechanische onkruidbestrijding de bodemstructuur schaadt, is de focus op korte termijn effecten zoals verslemping, korstvorming, stuifschade, spoorvorming en hun onmiddellijke oorzaken. Het is de vraag in hoeverre boeren zich het belang van de gevoeligheid van de bodemstructuur realiseren, en het effect van gangbare teelt- en grondbewerkingsmaatregelen daarop (op de lange termijn). In Australië zijn veel boeren en onderzoekers zich recentelijk bewust geworden van het grote effect van (slechts extensieve) grond-

bewerking en berijding, doordat de introductie van permanente rijpaden een aanmerkelijke verbetering van de bodemstructuur, het bodemleven, waterinfiltratie en opbrengsten (15% en meer) aan het licht bracht (zie proceedings 16th ISTRO congress 2003, www.controlledtraffickingfarming.com). Deze alternatieve mechanisatiestrategie biedt mogelijk ook oplossingen voor andere problemen, bijvoorbeeld met betrekking tot bodempathogenen, watertekort in droge zomers en oogstzekerheid onder natte omstandigheden in de herfst.

Hoewel het erg moeilijk is om de bijdrage van mechanische onkruidbestrijding aan de degradatie van de bodemstructuur en haar gevolgen nauwkeurig experimenteel vast te stellen, hebben boeren mogelijk opvattingen over de oorzaken van structuurbederf die de complexe werkelijkheid onvoldoende recht doen. Het verdient aanbeveling om de achtergronden van die percepties te verhelderen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen een gebrek aan kennis, onzekerheid over de gevolgen van bewerkingen (vooral in relatie tot weersomstandigheden) en tussen gepercipieerde en werkelijke risico's. Dit biedt hopelijk aanknopingspunten voor gericht toetsend onderzoek en kennisoverdracht, met name in het agrarisch onderwijs en de vakpers. Hierbij moeten ook andere problemen die met het probleem 'veel handwieden' in oenschouw worden genomen (Figuur 16).

6.9 Conclusies en aanbevelingen

- Onkruidbestrijding in de teelt van ui mislukte in deze steekproef vrij vaak: 40% 'slecht' of 'matig'. Bij peen zijn de problemen veel kleiner: bij 6% van de teelt was de onkruidbestrijding 'slecht' of 'matig' geslaagd. De hoeveelheid neerslag op deze percelen bleek echter niet te verschillen van de hoeveelheid op de percelen waar de teelten niet mislukten. Uit simulaties blijkt dat de risico's voor handwiedkosten en inzetbaarheid van mechanische bestrijding niet zozeer afhangen van de neerslaghoeveelheid maar van de verdeling van de neerslag over de tijd.
- De begaanbaarheid van het veld bleek bij simulaties de belangrijkste beperkende factor. Zonder die beperking (4 mm afvoer/dag) zijn er gemiddeld 35% werkbare dagen en zijn er gemiddeld 55 wiedereën/ha en 7.7 mechanische bewerkingen nodig, die totaal 780 €/ha kosten. Met berijdbaarheidsbeperking (2.8 mm afvoer/dag) zijn er gemiddeld 24% werkbare dagen, en 123 wiedereën/ha nodig (min 30, max 246) en lopen de kosten op tot 1400 €/ha (min 566, max 2578). Dit is een onaanvaardbare situatie. De natte periode is dan gemiddeld maximaal 26.7 dagen lang. Een natte periode van 17 dagen of langer komt dan elk jaar gemiddeld één keer voor.



Figuur 16. Schema dat oorzaken voor het probleem 'veel handwieden' uiteenrafelt en laat zien hoe weersomstandigheden, bedrijfsinrichting (blauw) en risicoperceptie en kennis van telers (groen) doorwerken.

- Deze voorspellingen zijn gedaan met een eenvoudig maar niet gevalideerd spreadsheetmodel met parameterwaarden die niet experimenteel zijn onderbouwd. De snelheid waarmee de grond droogt, de kritische grens voor werkbaarheid en het aantal benodigde droge dagen na bewerking bleken sleutelfactoren bij het bepalen en verminderen van het risico van falende onkruidbestrijding. Daarom is het raadzaam om de voorspellingen te vergelijken met veldwaarnemingen bij telers en met simulaties met betere modellen die expliciet het vochtprofiel, sterkteprofiel en bodemdrukken simuleren. Verder moet de relatie tussen het aantal aaneengesloten niet-bewerkbare dagen en het extra aantal uren handwieden experimenteel worden bepaald.
 - Als voor bepaalde telers de parameterwaarden eenmaal bekend zijn, zou men op die bedrijven kunnen proberen om op een deel van het perceel eerder te rijden, alsof de afvoersnelheid en kritische bodemwatervoorraad hoger waren. Op basis van zulke 'on-farm' experimenten kan getoetst worden of de werkelijke afname in handwiedenuren en de werkelijke bewerkingsdata overeenstemmen met de voorspelling van het spreadsheetmodel. Tegelijk kan men kijken in hoeverre structuurberdief werkelijk optreedt en opbrengstvermindering geeft.
 - Het zou zinvol zijn om de weersafhankelijkheid van mechanische onkruidbestrijding te vergelijken met die van chemische bestrijding. Hierbij moet de berijdbaarheid voor (relatief zware!) veldspuiten en de weersafhankelijke effectiviteit van chemische bestrijding met lage doseringen (op basis van GEWIS) worden meegenomen. Dit verheldert de beeldvorming en levert wellicht richtlijnen op voor een optimale mix tussen chemische en mechanische bestrijding.
 - De effecten van verdichte wielsporen op de gewasopbrengst in dat jaar zijn klein (< circa 5%) en in principe vermijdbaar door bandendrukregelsystemen, lichtere trekkers en getrokken werktuigen. Dit zal tevens de berijdbaarheid verbeteren, waardoor ook de bestrijdingseffectiviteit wordt vergroot. Omdat deze aspecten innovatie motiveren, is het van belang om de relatie tussen de bodemdruk van trekkers en de kans op uitstel van bewerkingen te kwantificeren. Dit kan door simulaties met modellen die bodemvochtprofielen voorspellen op basis van weergegevens, en het draagvermogen van de grond i.r.t. bodemdrukprofielen onder trekkerbanden. Zo'n studie moet ook rekening houden met de werkbaarheid van de toplaag, omdat dit bepaalt in hoeverre bodemdrukverlaging zinvol is.
- ☞ Aan weersomstandigheden aangepaste bestrijdingsstrategieën lijken van groot belang voor de risicobeheersing. Het mogelijk maken van frequente bewerking van smalle strookjes rondom de gewasrijen lijkt van belang. Het is echter nog niet duidelijk of de werkbaarheid van de toplaag beperkend is, of dat de verhoogde nieuwe onkruidkieming en kans op hergroei van ontwortelde planten bewerkingen bij relatief vochtige omstandigheden sowieso onzinvol maakt. Het structuurschaderisico c.q. bewerkbaarheidsknelpunt kan dus beter in samenhang met de mechanische bestrijdingseffectiviteit en de kiemingsecologie van onkruidzaad worden bekeken.
- ☞ Omdat verkruiemeling van de toplaag enerzijds de effectiviteit van mechanische onkruidbestrijding bevordert en anderzijds een risico op stuifschade en verslemping kan veroorzaken, is dit een aspect waar een balans zal moeten worden gevonden. Risico's treden op binnen een beperkte periode, zijn grondsoort-specifiek (zavel: verslemping, zand- en dalgrond: stuifschade in m.n. suikerbieten) en afhankelijk van de kans op intensieve regenval en hoge windsnelheden. Verdere kwantificering is moeilijk omdat binnen grondsoortklassen een aanzienlijke variatie kan worden verwacht. Mede daarom is het de vraag of onderzoeksresultaten van andere velden telers zullen overtuigen.
- ☞ Verslemping is corrigeerbaar door oppervlakkige bewerking, stuifgevoeligheid niet. Het onder de aandacht brengen van alternatieven en de corrigeerbaarheid van verslemping lijkt zinvoller dan een verdere kwantificering van de risico's van verslemping en stuifschade. Informatie over het gewasontwikkelingsstadia waarin verkruiemeling geen risico oplevert is nodig. Het beperken van het bewerkte oppervlak door alleen smalle strookjes rondom gewasrijen te bewerken lijkt een goede technische optie, die combineerbaar is met erosiewerende, onkruidonderdrukkende gewassen tussen de rijen. Men zou ook niet-grondverstorende zaaitechnieken en strokenbranders kunnen toepassen (voor gewasopkomst).
- ☞ De bijdrage van mechanische onkruidbestrijding aan structuurberdief op de lange termijn is bij de in Nederland gangbare grondbewerkings- en teeltsystemen waarschijnlijk erg klein. Er zijn echter geen meetgegevens die dit kunnen aantonen. Zulke gegevens zijn ook niet te verwachten omdat effecten moeilijk te scheiden zijn en pas op lange termijn kunnen worden vastgesteld. Een hogere aggregaatstabiliteit en hoger organische stofgehalte zou het structuurschadefrisico kunnen verkleinen, maar vereist aanpassingen in het teelt- en grondbewerkings-systeem (meer toevoer van organische stof, bodembedekking, minder intensieve bewerking). Deze preventieve lange-termijn strategie verdient meer aandacht.

- Het zou bij een vervolg goed zijn om de achtergronden van de percepties van telers t.a.v. structuurschade door mechanische onkruidbestrijding nader te onderzoeken, met name omdat voor de hand liggende oplossingen nauwelijks worden benut. Hun samenhang met andere nadelen van mechanische onkruidbestrijding, praktische beperkingen, en de visie van boeren op het beheer van de bodemstructuur moet daarbij niet uit het oog worden verloren. Het geven van demonstraties met een zeer lichte trekker met een geavanceerde getrokken schoffel-machine die ook alleen 10 cm smalle strookjes rondom de gewasrijen kan bewerken, kan helpen om de gangbare denkkaders te doorbreken en discussie en innovatie te stimuleren.

Referenties

- Arvidsson, J., E. Sjöberg & J.J.H. van den Akker, 2003.
Subsoil compaction by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden III. Risk assessment using a soil water model. *Soil & Tillage Research* 73, 77-87.
- Ascard, J. & B. Mattsson, 1994.
Inter-row cultivation in weed-free carrots: the effect on yield of hoeing and brush weeding. *Biological Agriculture and Horticulture* 10, 161-173.
- Bender, J., 1994.
Herbicide-free weed management. *New Farm* 16: 3, 7-10, 12-14.
- Bleeker, P.O., 2003.
Mechanische onkruidbestrijding in maïs, suikerbieten, zaaiuien en aardappelen (1998-2002). Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, projectrapportnr. 1236335, 72 pp.
- Böhrnsen, A. & V. Bräutigam, 1990.
Mechanische Unkrautbekämpfung mit Striegel und Netzegge in Winterweizen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XII*, 463-472.
- Böhrnsen, A. & J.M. Thomas, 1994.
Several years results about mechanical weeding in cereals. In: *Maîtrise des adventices par voie non-chimique. Communications de la quatrième conférence internationale I.F.O.A.M.*, 5-9 July 1993, Dijon, France. Vol. 2, 95-101.
- Boekel, P., 1979.
De bewerkbaarheid van grond in het voorjaar. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 18: 4, 211-219.
- Bond, W. & P.J. Baker, 1990.
Patterns of weed emergence following soil cultivation and its implications for weed control in vegetable crops. In: *Crop Protection in Organic and Low Input Agriculture* (ed. R. Unwin). British Crop Protection Council, Farnham, UK, Monograph 45, 63-68.
- Booij, C.J.H., W. van der Werf, W. Joenje & J. Theunissen, 1995.
Architectuur van agro-ecosystemen; consequenties voor plagen, ziekten, antagonisten en onkruiden. In: A.J. Haverkort en P.A. van der Werff (Eds), *Hoe ecologisch kan de landbouw worden?*, Themadag KLV, AB-DLO en PE, 21-11-1995, Wageningen. http://library.wur.nl/way/catalogue/documents/ab_dlo/
- Boone, F.R., H.M.G. van der Werf, B. Kroesbergen, B.A. ten Hag & A. Boers, 1987.
The effect of compaction of the arable layer in sandy soils on the growth of maize for silage. 2. Soil conditions and plant growth. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 35, 113-128.
- Boone, F.R., 1988.
Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. *Soil & Tillage Research* 11, 283-324.
- Brainard, D.C., R.R. Bellinder & A.J. Miller, 2004.
Cultivation and interseeding for weed control in transplanted cabbage. *Weed Technology* 18, 704-710.
- Centre de Développement d'Agrobiologie, 1997.
Optimisation du désherbage mécanique dans le maïs sans herbicide. Rapport final. Innovation technologique: Entente auxiliaire Canada-Québec sur un environnement durable en agriculture. Sainte-Élisabeth-de-Warwick, Québec, Canada.

- Coote, D.R. & W.J. Saidak, 1984.
Influence of herbicide use and inter-row tillage on corn yields and soil condition. *Canadian Journal of Plant Science* 64, 405-409.
- Coulombe, A.M., 2003.
Revue de la littérature sur les impacts potentiellement négatifs du désherbage mécanique sur le sol et l'environnement. Phyto Controle, 1428 Kennedy, Saint-Joseph-de-Beauce, GOS 2VO Québec, Canada.
- Dawidowski, J.B. & P. Lerink, 1990.
Laboratory simulation of the effects of traffic during seedbed preparation on soil physical properties using a quick uni-axial compression test. *Soil & Tillage Research* 17, 31-45.
- Dedousis, A.P., 2003.
Development of high density energy techniques in robotic weeding. MSc Thesis Farm Technology Group, Wageningen University, 82 pp.
- Droogers, P., A. Fermont & J. Bouma, 1996.
Effects of ecological soil management on workability and trafficability of a loamy soil in the Netherlands. *Geoderma* 73, 131-145.
- Elsten, J.C.R., 1994.
Mechanische onkruidbestrijding met de veertandeg – effecten op grond, gewas en onkruid. Afstudeervak vakgroep Grondbewerking, Landbouwniversiteit, Wageningen, 48 pp.
- Goering, C.E., 1989.
Engine and tractor power. American Society of Agricultural Engineers (ASAE), St. Joseph, Michigan, USA, p. 379.
- Groenevelt, J., J. Groot, M. Huls, O. Idoe, F. Peterse, J. Thelen & M. Wijers, 2003.
Teeltmaatregelen in omschakeling. Studenten-rapport Beroeps Voorbereidend Blok, Leerstoelgroep Bodemtechnologie, Wageningen Universiteit, 111 pp.
- Heisel, T., J. Schou, C. Andreasen & S. Christensen, 2002.
Using laser to measure stem thickness and cut weed stems. *Weed Research* 42, 242-248.
- Hoogmoed, W.B., M. Cadena-Zapata & U.D. Perdok, 2003.
Laboratory assessment of the workable range of soils in the tropical zone of Veracruz, Mexico. *Soil & Tillage Research* 74, 169-178.
- KNMI, 1998-2003.
Jaaroverzicht neerslag en verdamping in Nederland, JONV-bulletin van KNMI, Klimatologische dienst, jaargangen 1998-2003, De Bilt, ISSN 0925-3009.
- Koeijer, T. de, J. Verstegen, M.J. Smits, C. Kempenaar & B. Lotz, 2002.
Instituten en de ontwikkeling van kennis en technologie voor de biologische landbouw; Een toepassing voor de onkruidproblematiek. Rapport 7.02.07, LEI, Den Haag.
- Koolen, A.J. & H. Kuipers, 1983.
Agricultural soil mechanics. Advanced Series in Agricultural Sciences 13. Springer, Heidelberg, 241 pp.
- Koolen, A.J., P. Boekel, U.D. Perdok & A.L.M. van Wijk, 1987.
Werkbaarheidsgrenzen en hun bodemfysische achtergrond. In: *Themadag 'Werkbaarheid en tijdigheid'*, werkgroep Grondbewerking Technische aspecten, 13 mei 1987. PAGV Lelystad, verslag nr. 64, 21-41.
- Koolen, A.J., P. Lerink, D.A.G. Kurstjens, J.J.H. van den Akker & W.B.M. Arts, 1992.
Prediction of aspects of soil-wheel systems. *Soil & Tillage Research* 24, 381-396.
- Krause, R. & C.M. Ditzges, 1994,
Strategie und Verfahren der mechanischen Unkrautkontrolle, Einige Ergebnisse aus einem GTZ-geförderten Projekt im bewässerten Zuckerrübenanbau Nordtunesiens. *Tropenlandwirt Beiheft* 52, 203-216.
- Kromp, B., 1999
Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 187-228.
- Kurstjens, D.A.G., 1998.
Overzicht van mechanische en fysische technologie voor onkruidbestrijding. Inventarisatie en analyse, innovatiebehoeften, stand van kennis en onderzoeksvragen. Rapport 98-03, IMAG-DLO Wageningen, 103 pp. (with English summary).

- Kurstjens, D.A.G., U.D. Perdok & D. Goense, 2000.
Selective uprooting by weed harrowing on sandy soils. *Weed Research* 40, 431-447.
- Kurstjens, D.A.G., 2002a.
Mechanisms of selective mechanical weed control by harrowing. Proefschrift Wageningen Universiteit, 156 pp.
- Kurstjens, D.A.G., 2002b.
Invloed van zaaibedstructuur, werktuigafstelling en omgevingsfactoren op de effectiviteit van eggen, torsiewieders en vingerwieders - veldproeven 1999-2002. Wageningen UR – IMAG, Nota P2002-92, hoofdstuk 2.
- Kurstjens, D.A.G., 2003.
Enhancing non-chemical weed management – how soil tillage research can contribute. In: *Proceedings of the 16th ISTRO conference*, 13-18 July 2003, Brisbane, Australia (keynote paper).
- Kurstjens, D.A.G. & P.O. Bleeker, 2003.
Huidige machines moeten beter. *Landbouwmechanisatie* 54: 5, 22-23.
- KWIN, 2002.
Kwantitatieve informatie akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, Lelystad.
- Laguë, C. & M. Khelifi, 2001.
Energy use and time requirements for different weeding strategies in grain corn. *Canadian Biosystems Engineering* 43: 2, 13-21.
- Lerink, P., 1994.
Prediction of the immediate effect of traffic on field soil qualities. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, 221 pp.
- Lumkes, L.M., 1984.
Traffic intensity. In: *Experiences with three tillage systems on a marine loam soil II: 1976-1979*. Agricultural Research Report 925, Wageningen, 12-23.
- Mayor, J.P.H. & A.C.F. de Faria, 1995.
Bilan écologique de différents procédés de désherbages d'une culture de carottes. *Revue Suisse d'Agriculture* 27: 6, 357-367.
- Melander, B., T. Heisel & M.H. Jørgensen, 2002.
Aspects of steaming the soil to reduce weed seedling emergence. In: *Proceedings 12th EWRS symposium*, Wageningen, The Netherlands, 236-237.
- Müller, L., P. Tille & H. Kretschmer, 1990.
Trafficability and workability of alluvial clay soils in response to drainage status. *Soil & Tillage Research* 16, 273-287.
- Mueller, L., U. Schindler, N.R. Fausey & R. Lal, 2003.
Comparison of methods for estimating maximum soil water content for optimum workability. *Soil & Tillage Research* 72, 9-20.
- Mulder, T.A. & J.D. Doll, 1993.
Integrating reduced herbicide use with mechanical weeding in corn (*Zea mays*). *Weed Technology* 7: 2, 382-389.
- Nawroth, P., 2002.
Mechanische Unkrautregulierung in landwirtschaftlichen Reihenkulturen ohne Eingriff in das Bodengefüge. PhD Thesis, Technische Universität München, Weihenstephan, 266 pp.
- Perdok, U.D., B. Kroesbergen & W.B. Hoogmoed, 2002.
Possibilities for modelling the effect of compression on mechanical and physical properties of various Dutch soil types. *Soil & Tillage Research* 65, 61-75.
- Rasmussen, J., 2003.
Punch planting, flame weeding and stale seedbed for weed control in row crops. *Weed Research* 43, 393-403.
- Rempfer, M., 2003.
Grundlagen der automatischen Reifenluftdruckverstellung bei Traktoren. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 14 nr. 111, VDI Verlag, Düsseldorf, Germany, 180 pp.

Steinmann, H.H., 2000.

The impact of harrowing on the soil-nitrogen dynamic under spring wheat – one year results from a loess soil. In: *4th EWRS workshop on Physical Weed Control*, 20-22 March, Elspeet, The Netherlands, 23-24.

Van den Akker, J.J.H., 2004.

SOCOMO: a soil compaction model to calculate soil stresses and the subsoil carrying capacity. *Soil & Tillage Research* 79, 113-127.

Van der Weide, R.Y., E. Bouma & K.H. Wijnholds, 1997.

Mechanische onkruidbestrijding en nachtvorst. *PAV bulletin Akkerbouw* mei 1997, 10-12.

Van Dooren, H.J., J.K. Kouwenhoven, J.D.A. Wevers & J.C. van de Zande, 1994.

Berijden bij verzorging bieten - effecten op grond en gewas. *Landbouwmecanisatie* 45: 4, 43-45.

Van Wijk, A.L.M. & P. Boekel, 1987.

Effect van grondsoort en ontwatering op bewerkbaarheid en tijdigheid in het voorjaar. In: *Themadag 'Werkbaarheid en tijdigheid'*, werkgroep Grondbewerking Technische aspecten, 13 mei 1987. PAGV Lelystad, verslag nr. 64, 86-104.

Vermeulen, G.D. & J.J. Klooster, 1992.

The potential of a low ground pressure traffic system to reduce soil compaction on a clayey loam soil. *Soil & Tillage Research* 24, 337-358.

Weber, H., 1997.

Geräte- und verfahrenstechnische Optimierung der mechanischen Unkrautregulierung in Beetkulturen. Dissertation, Institut für Landtechnik der Technischen Universität München, Freising, Forschungsbericht VDI-MEG 315, 201 pp.

Wiermann, C. & R. Horn, 2000.

Effect of different tillage systems on the recovery of soil structure following a single compaction event. *Advances in Geoecology* 32, 339-350.

7. Verspreiding van onkruidzaden vanuit natuurgebieden of bermen via de wind

In dit hoofdstuk wordt een beschouwing van A. Lamour van Plant Research International op de verspreiding van onkruidzaden via de wind gegeven. De beschouwing is uitgewerkt in 2004 richting een model dat verspreiding van onkruidzaden in de ruimte in kaart kan brengen. Aan dit model dient nog een module voor populatiedynamiek gekoppeld te worden om een risico-schatting te kunnen maken. Hierover zal in 2005 gerapporteerd worden.

7.1 Theoretische beschouwing

Een zaaddragende plant (de bron) die haar zaden verspreid via de wind ziet een groot deel van de zaden binnen enkele meters van de bron terecht komen. Slechts een klein deel legt een veel langere afstand (tientallen meters) af. Verspreiding van zaden over korte afstand wordt vaak gemodelleerd volgens een 'negatief exponentieel model' (Bullock & Clarke, 2000):

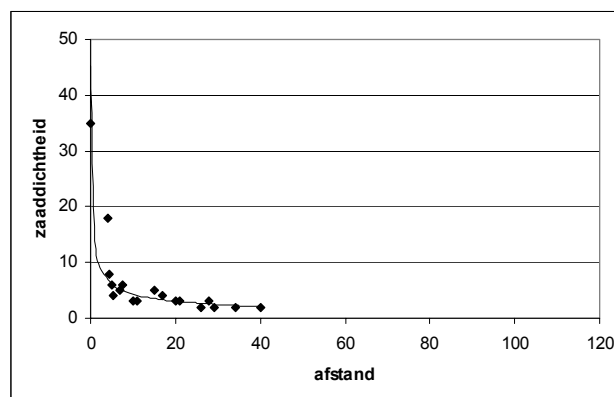
$$Z_x = a e^{-bX}$$

met Z_x = zaaddichtheid op afstand X
 X = afstand tot de zaadbron
 a = zaaddichtheid op X=0 (dus aan de bron)
 -b = de richtingscoëfficiënt van het lineaire verband tussen $\ln(Z_x)$ en X
 (b>0 geeft een afname aan in zaaddichtheid met toenemende afstand)

Wanneer zowel de zaaddichtheid Z_x als de afstand X logaritmisch worden uitgezet, ontstaat een verband dat aangeduid wordt met een 'inverse power model', hetgeen vaak gebruikt wordt voor het modelleren van zaadverspreiding over langere afstanden (Willson, 1993; Laman, 1996; Portnoy & Willson, 1993):

$$Z_x = c X^{-d}$$

Wanneer we kijken naar windverspreiding van onkruidzaden vanuit natuurgebieden, zijn we geïnteresseerd in verspreiding over langere afstanden. Verspreidingsdata van de Akkerdistel (Lotz *et al.*, 2000) zijn gebruikt om een 'inverse power model' te fitten (Figuur 1).

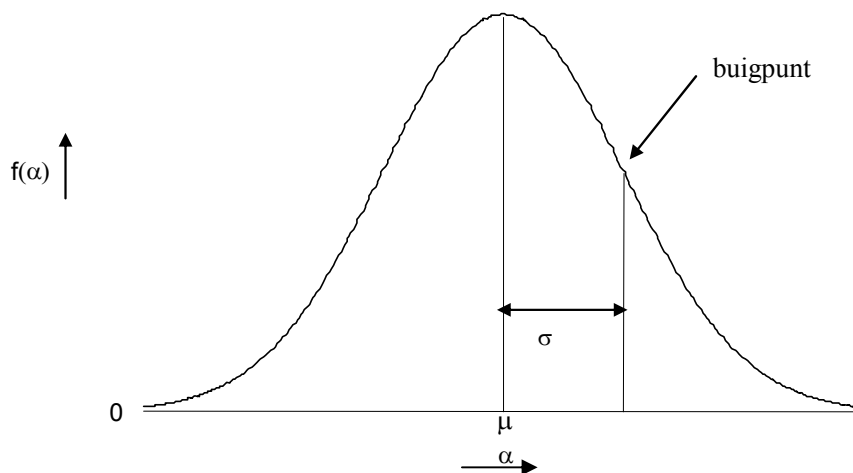


Figuur 1. Zaaddichtheid ($\#/m^2$) van de Akkerdistel als functie van de afstand tot de bron (Figuur 4, pag. 16 in Lotz *et al.*, 2000). De fit van het 'inverse power model' geeft $\log(c)=1.145$ en $d=0.5109$ ($R^2=0.82$).

Niet alleen de afstand tot de bron is interessant, maar ook de richting waarin de verspreiding heeft plaatsgevonden ten gevolge van de toen heersende windrichting. Wanneer een akker ten oosten van een natuurgebied ligt en er uitsluitend westenwind heerst, dan geeft Figuur 1 de verspreidingscurve in oostenlijke richting aan (uitgaande van een evengrote zaadbron). Maar aangezien er nooit uitsluitend één windrichting heerst, moet er gecorrigeerd worden voor windrichting. We doen dit met behulp van een kansdichtheidsfunctie (in het Engels: probability density function) voor de windrichting, dat wil zeggen een functie die de kans op een bepaalde windrichting aangeeft waarbij het oppervlak onder de curve gelijk is aan 1. In het volgende rekenvoorbeeld gebruiken we de standaard normale verdelingsfunctie $f(\alpha)$ met een windrichting α van 0 tot 360 graden, waarbij 0 graden een oostenwind aangeeft:

$$f(\alpha) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\alpha-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{met} \quad \int_0^{360} f(\alpha) d\alpha = 1$$

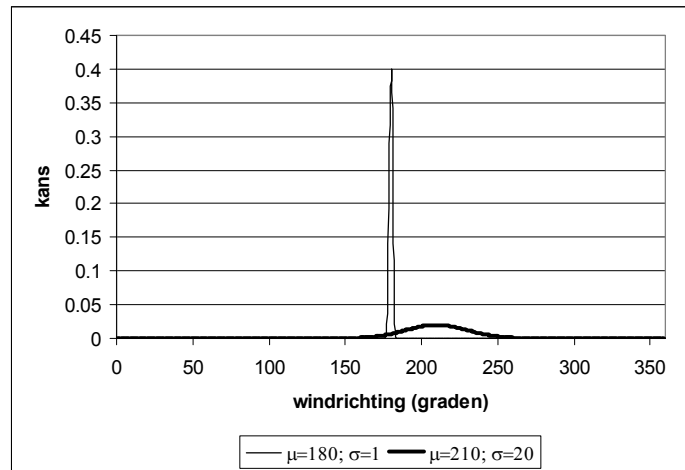
hetgeen als volgt grafisch kan worden weergegeven:



Het gemiddelde μ en de standaardafwijking σ bepalen de vorm van de curve. De amplitude is gelijk aan:

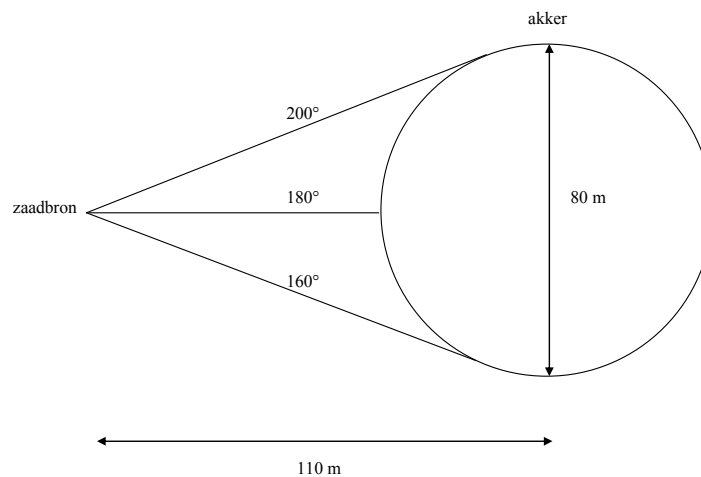
$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

Wanneer er inderdaad vrijwel uitsluitend westenwind heerst (180 graden), zal μ gelijk zijn aan 180 en zal σ klein zijn (zeg $\sigma=1$ in functie $f_1(\alpha)$). Echter, de momenten waarop de zaden los laten van de plant en zich verspreiden kunnen juist de warmere, zonnige momenten zijn met een afwijkende windrichting en een grotere variantie in windrichting. We veronderstellen in het rekenvoorbeeld dat deze varieert rondom pakweg west-zuid-west (zeg 210 graden met $\sigma=20$ in functie $f_2(\alpha)$).



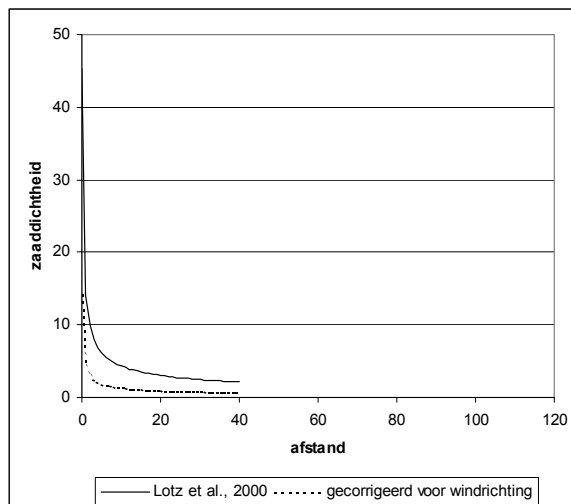
Figuur 2. Kansdichtheidsfuncties $f_1(\alpha)$ en $f_2(\alpha)$ voor de windrichting met gemiddelde μ gelijk aan respectievelijk 180 en 210 graden, en standaardafwijking σ gelijk aan respectievelijk 1 en 20.

We kunnen de zaaddichtheden als functie van de afstand tot de bron (Figuur 1) corrigeren met behulp van de kansdichtheidsfuncties $f_1(\alpha)$ en $f_2(\alpha)$. In beide gevallen bekijken we de zaaddichtheid (als afstand tot de bron) die in oostelijke richting ontstaat. We stellen ons een akker schematisch voor als een cirkel met een doorsnede van 80 m (i.e. een halve ha). Op een afstand van 110 m van de bron komen zaden op deze akker terecht bij windrichtingen tussen 160 en 200 graden (Figuur 3). Is de afstand tot de bron kleiner, zeg 40 m, dan ontvangt een cirkelvormige akker met een doorsnede van 29 m zaden bij windrichtingen tussen 160 en 200 graden. Zowel de afstand tot de bron als de windrichting als de grootte van de akker bepalen hoeveel zaden op de betreffende akker terecht komen.



Figuur 3. Schematische voorstelling van de positie van een cirkelvormige akker ten opzichte van een zaadbron. Windrichtingen van 160, 180 en 200 graden zijn aangegeven.

Om het effect van windrichting op de zaadverspreiding duidelijk te maken, nemen we aan dat, op elke afstand tot de bron, de grootte van de akker zodanig is dat die akker zaden ontvangt bij windrichtingen tussen 160 en 180 graden. Kansdichtheidsfunctie $f_1(\alpha)$ geeft zaaddichtheden die nagenoeg gelijk zijn aan die in Figuur 1, maar kansdichtheidsfunctie $f_2(\alpha)$ geeft veel lagere zaaddichtheden (Figuur 4).



Figuur 4. Zaaddichtheid ($\#/m^2$) van de Akkerdistel als functie van de afstand tot de bron wanneer uitsluitend één windrichting heerst (Lotz et al., 2000) en wanneer voor windrichting gecorrigeerd wordt.

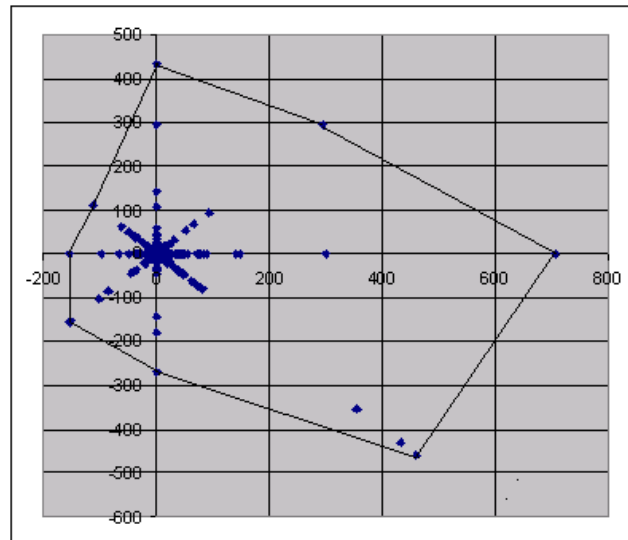
Dit rekenvoorbeeld laat zien dat, wanneer voor je gevoel één windrichting overheerst, het kan gebeuren dat je een veel hogere onkruiddruk verwacht dan in werkelijkheid het geval is (bijv. op 40 m afstand is de zaaddichtheid 69% lager dan verwacht).

7.2 Vervolgonderzoek en mogelijke resultaten

Zaden die via windverspreiding op een akker terecht komen, kunnen aanleiding geven tot een extra bestrijdingsinspanning. In de biologische landbouw zou de schade mee kunnen vallen wanneer het geen extra mechanische onkruidbestrijding met zich meebrengt. Maar aangezien naar een zeer lage onkruiddruk gestreefd wordt door handmatig onkruid te verwijderen, hetgeen zeer arbeidsintensief is, is een extra bestrijdingsinspanning zeer voor de hand liggend. In 2004 is een model ontwikkeld waarmee gekeken kan worden in hoeverre onkruiden in de omgeving van een akker de onkruiddruk op die akker verhogen. De zaaddichtheid die op de akker zelf wordt geproduceerd, fungeert als referentiedichtheid. Bovendien is het interessant om voor meerjarige onkruiden, die via windverspreiding op de akker terecht zijn gekomen, de vermeerdering (bijv. via wortelstokken) op de akker te bekijken. Er is reeds een model ontwikkeld voor *Cyperus esculentus* (Schippers et al., 1993).

Ten slotte nog de opmerking dat *mechanistische* modellen voor windverspreiding van zaden alleen toegepast kunnen worden wanneer veel soort-specifieke kennis voorhanden is (Andersen, 1991; Jongejans & Telenius, 2001; M.B. Soons, 2003). Die is echter vaak lastig experimenteel te bepalen. Mechanistische modellen zijn ook vaak veel ingewikkelder, zeker wanneer ook windsnelheid als variabele meegenomen wordt (A. Pielaat, in druk).

In onderstaande figuur wordt de output getoond van een run met een simulatiemodel dat verspreiding van onkruidzaden kan berekenen op basis van een windroos gekoppeld aan het model van Schippers *et al.* Dit model zal in 2005 gekoppeld worden aan een model dat kans op vestiging kan simuleren. Pas als dat gedaan is kan begonnen worden met risico-schattingen.



Figuur 5. Output van een verspreidingsmodel (parameters zijn fictief).

7.3 Literatuur

Andersen, M., 1991.

Mechanistic models for the seed shadows of wind-dispersed plants. *Am. Nat.* 137: 476-497.

Bullock, J.M. & R.T. Clarke, 2000.

Long distance seed dispersal by wind: measuring and modelling the tail of the curve. *Oecologia* 124: 506-521.

Jongejans, E. & A. Telenius, 2001.

Field experiments on seed dispersal by wind in ten umbelliferous species (Apiaceae). *Plant Ecology* 152: 67-78.

Laman, T.G., 1996.

Ficus seed shadows in a Bornean rain forest. *Oecologia* 107: 347-355.

Lotz, L.A.P., R.M.W. Groeneveld, W. van der Zweerde & C. Kempenaar, 2000.

Distelproblematiek in het rivierengebied. Rapport 3 van Plant Research International, Wageningen Universiteit en Researchcentrum.

Pielat, A.

Persoonlijk commentaar. RIVM.

Portnoy, S. & M.F. Willson, 1993.

Seed dispersal curves - behavior of the tail of the distribution. *Evol. Ecol.* 7: 25-44.

Schippers, P., S.J. ter Borg, J.M. van Groenendael & B. Habekotte, 1993.

What makes *Cyperus esculentus* (yellow nutsedge) an invasive species? - A spatial model approach. Brighton Crop Protection Conference - Weeds.

Soons, M.B., 2003.

Habitat fragmentation and connectivity - Spatial and temporal characteristics of the colonization process in plants. PhD thesis Univ. Utrecht.

Willson, M.F., 1993.

Dispersal mode, seed shadows, and colonization patterns. *Vegetatio* 108: 261-280.

8. Samenvatting

In het Bio3 project van LNV-DWK-programma 397 wordt ingezoemd op een aantal knelpunten m.b.t. onkruidbeheersing in de biologische landbouw. Er zijn 4 knelpunten geselecteerd. Prioritering is gedaan op basis van meningen van telers over risico's van onkruidbeheersing in biologische landbouw (Bijlage I). Voor de gekozen knelpunten zijn eerste risico-schattingen gemaakt. De uitwerkingen hebben een aantal opvallende aspecten opgeleverd. De onderzochte knelpunten (cases) zijn:

1. Mogelijk nadelige effecten van mechanische onkruidbestrijding op ontwikkeling ziekten en plagen in gewassen.
2. Mogelijk nadelige effect van mechanische onkruidbestrijding op structuurbederf van de bodem.
3. Veronkruiding in uien en peen in relatie tot weer en andere risicofactoren.
4. Import van onkruidzaden op biologische bedrijven vanuit bermen en natuurterreinen.

Cases 2 en 3 zijn in loop van het project samengevoegd.

In de cases is getracht zo veel mogelijk harde informatie te verzamelen over risico-factoren, de kans op een nadelige effect en de omvang van het nadelige effect. Helaas moesten de trekkers van de cases concluderen dat een degelijke risico-schatting nog niet gemaakt kan worden, vanwege de complexiteit van het onderwerp en het ontbreken van kennis. Vaak is wel bekend wat risico-factoren zijn, maar wat de kans op een nadelig effect bij een bepaalde omstandigheid is, is vaak niet bekend. Mede daarom eindigen de cases vaak ook met vragen. Verdieping is nodig om een risico-schatting beter van kwaliteit te maken.

Aan het eind van de hoofdstukken 5 t/m 7 staan uitgebreide conclusies en aanbevelingen per case. Hierna worden de resultaten nogmaals kort samengevat.

Case 1

Er zijn geen aanwijzingen gevonden in proefveldgegevens die aantonen dat de inzet van mechanische onkruidbestrijding de kans op schade aan het gewas door ziekten of plagen vergroot, ondanks dat in aantal proeven wel degelijk diverse ziekten optraden in prei, sla en aardbei. In algemene zin kan dan ook gesteld worden dat het risico rondom ziekten en plagen als gevolg van mechanische onkruidbestrijding te hoog ingeschat wordt. Omdat de geruchten in de praktijk hardnekkig zijn en er vele risicofactoren meespelen, is het echter niet uit te sluiten dat in bepaalde gevallen deze risico's wel realistisch zijn. Een degelijke risico-schatting moet gebaseerd zijn op kennis van de epidemiologie van de betreffende ziekte en de voorkomende timing en omstandigheden van de mechanische onkruidbestrijding.

Waarschijnlijk is *Botrytis* een belangrijke ziekteverwekker in de discussie over risico's van mechanische onkruidbestrijding in biologische landbouw. In de case is daarom in 2004 ingezoemd op deze schimmel in verschillende bolgewassen. Om risico-schattingen voor *Botrytis* in biologische landbouw sterker te maken zijn veldproeven noodzakelijk.

Cases 2 en 3

Bij het inschatten van het risico van mechanische onkruidbestrijding op structuurbederf moet onderscheid gemaakt worden tussen versmering, verkruiemeling en verdichting. Versmering zal nauwelijks optreden omdat de bodem in zo'n geval te nat is voor een zinvolle mechanische bestrijding. Verdichting treedt alleen op in wielsporen van trekkers, met name onder natte omstandigheden. Vooral als er met smalle machines vaak wordt gereden kan er opbrengstderiving optreden. Uit indicatieve berekeningen blijkt echter dat verdichting geen probleem hoeft te zijn als gekozen wordt voor lichte trekkers met bandspanningsregelsysteem en getrokken werktuigen. Blijft het punt van verkruiemeling over. Te fijne verkruiemeling geeft kans op verslemping van lichte zavelgronden en stuifschade bij langzaam groeiende gewassen op zand- en dalgrond. Omdat verkruiemeling gunstig is voor de effectiviteit van mechanische onkruidbestrijding, is het ook wenselijk om hier de grenzen voor de verschillende omstandigheden beter in kaart te brengen en te kwantificeren. Daar waar de risico's dan objectief te groot zijn moet de oplossing worden gezocht in bijvoorbeeld strokenbewerking in combinatie met erosiewerende gewassen tussen de rijen, en het toepassen van niet-grondverstorende onkruidbestrijdingstechnieken in vroege gewasgroeistadia.

Wat opvalt uit de rapportage van deze cases is dat de betrokken telers 3% van de onderzochte peenteelten en 18% van de onderzochte uienteelten als mislukt beschouwden vanwege te veel onkruidontwikkeling. Onderzocht is of mislukte teelten vaker voor kwamen in natte jaren. Dit bleek niet aan de orde. Het mislukken van de teelten had altijd een complexe achtergrond (capaciteit, ervaring, weer, onkruiddruk, grondsoort). Mislukking was nooit terug te voeren op één enkele oorzaak, maar neerslag bleek wel een belangrijke factor. Er is gekeken naar aantallen werkbare dagen in het voorjaar (dagen waarop de grond voldoende droog is voor mechanische onkruidbestrijding aan de hand van neerslagcijfers) op basis van criteria voor neerslag. Hoewel er onder gemiddelde Nederlandse omstandigheden voldoende werkbare dagen voor mechanische onkruidbestrijding lijken te zijn (het percentage werkbare dagen in april en mei lag tussen 25% en 57%), bleken er in 6 van de 10 onderzochte jaren perioden van meer dan 14 aaneengesloten niet werkbare dagen voor te komen. Hoewel het niet duidelijk is hoeveel aaneengesloten niet-werkbare dagen een mislukking van de onkruidbestrijding veroorzaken, komt de weersafhankelijkheid als een belangrijk risico naar voren.

Het resultaat van deze cases is een model waarmee het aantal werkbare dagen voor mechanische onkruidbestrijding bepaald kan worden.

Case 4

Deze case heeft nog geen concrete resultaten voor een risico-schatting opgeleverd. Dit komt vooral door de complexiteit van het onderwerp. Voor een risicoschatting is een goede modellering van de verspreiding via de lucht en vestiging van onkruiden op de akker van belang. Op basis van literatuuronderzoek zijn de belangrijkste factoren voor verspreiding op een rij gezet en geplaatst in een eenvoudig verspreidingsmodel dat ruimtelijk depositie van zaden kan weergeven. In 2005 zal hieraan een module voor populatiedynamieka gekoppeld worden.

Het ligt in de lijn van het projectplan om case 1 en 4 in 2005 verder te ontwikkelen. Daarnaast zullen de resultaten van BIO3 breed gecommuniceerd worden.

9. Referenties bij hoofdstukken 1 t/m 4 en 8

Almasi, A., L. Lekkerkerk & I. van Vliet, 2000.

Kansen en knelpunten biologische productiewijze. Rapport 204. IKC, Ede.

Buizer, A., 2000.

Verslag Ondernemersbijeenkomst 'Onkruidbestrijding in Omschakeling' op 26 juli 2000 in centrum voor Biologische Landbouw te Lelystad.

De Buck, A., 2001.

The role of production risks in the conversion to more sustainable arable farming. Agrarische Bedrijfseconomie. Wageningen, Wageningen Universiteit: 157.

De Koeijer, T., J. Verstegen, M.J. Smits, C. Kempenaar & L.A.P. Lotz, 2002.

Instituten en de ontwikkeling van kennis en technologie voor de biologische landbouw. Rapport 7.02.07. LE, Den Haag.

Langelaan, I. & J. Jager, 1999.

Biologisch boert beter. LEI-agrimonitor, april 1999, no. 2.

Leferink, J. & M. Adriaanse, 1998.

Omschakelen: beren en bergen; Onderzoek naar de redenen van akkerbouwers en vollegrondsgroentetelers om niet om te schakelen naar de biologische landbouw. Informatie en Kennis Centrum, Ede, rapport no. 106.

LNV, 2000.

Een biologische markt te winnen; beleidsnota biologische landbouw 2001-2004. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.

Lauwere, C.C. de, A.J. de Buck, A.B. Smit, J.S. Buurma, H. Drost, H., Prins & L.W. Theuws, 2003.

Omschakelen naar geïntegreerde of biologische landbouw. IMAG rapport 2003-02. IMAG, Wageningen.

Lotz, L.A.P., R.M.W. Groeneveld & C. Kempenaar, 2000.

Onkruidbeheersing als knelpunt in de biologische landbouw. Gewasbescherming 31: 157-160.

Van der Weide, R., 2000.

Herbicidenrije teelt, illusie of realiteit? Workshop Duurzame Vollegrondsgroenteteelt. PAV themaboekje 23, pagina's 46-49.

Zadoks, J.C., 2003.

Europese visies op de risico's van genetisch gemodificeerde gewassen (1). Gewasbescherming 34(2) 44-47.

Bijlage I.

Samenvatting perceptie van knelpunten m.b.t. onkruiden in biologische landbouw

Insteek	Toelichting	Knelpunt
Gewassen	Alle open teelten	Onkruidbestrijding in algemene zin, relatief hoge teeltkosten
	Suikerbieten	Onkruidbestrijding in de rij
	Peen	Relatief veel arbeid nodig voor onkruidbestrijding
	Aardbei	Relatief veel arbeid nodig voor onkruidbestrijding
	Prei	Kans op gewasschade bij mechanische onkruidbestrijding
	Uien	Relatief veel arbeid nodig voor onkruidbestrijding
	Bedekte teelten in volle grond Groenbemesters, granen	Relatief veel arbeid nodig voor onkruidbestrijding Te weinig effectieve bestrijdingsmogelijkheden
Onkruiden	Meerjarige onkruiden (o.a. distels en kweek)	Te weinig effectieve bestrijdingsmethoden
	Eenjarige onkruiden, oliehoudend zaad	Zaden kunnen lang in bodem overleven
	Onkruiden in verse te oogsten peulvruchten	Verontreiniging van te oogsten product
	Onkruiden, algemeen	Vermeerdering ziekten en plagen op onkruiden
Bestrijdingsmethoden	Mechanisch, algemeen	Te weinig effectiviteit (onder ongunstige omstandigheden)
	Mechanisch, algemeen	Te weinig slagkracht/capaciteit
	Mechanisch, algemeen	Kans op neven effecten als structuurbederf, erosie, energieverbruik
	Bepaalde methoden	Te weinig effectiviteit in de gewasrij
	Bepaalde methoden	Kans op gewasschade, invalspoorten voor ziekten en plagen
	Bepaalde methoden	Te weinig selectiviteit
	Bepaalde methoden	Grotere kans op nachtvorstschade
	Inzet bodembedekkende materialen	Te weinig effectiviteit (onder ongunstige omstandigheden)
Inzet bodembedekkende materialen Vals zaaibed	Kans op neven effecten op bodemkwaliteit en gewas Te weinig ruimte binnen gewasrotaties voor optimaal gebruik	
	(meer preventie, plantverband, allelopathie?)	

Insteek	Toelichting	Knelpunt
Omstandigheden	Weer	Ongunstig weer vermindert effectiviteit en capaciteit
	Grondsoort	?
	Onkruiden in omgeving van het perceel	Verhoging onkruiddruk op perceel of bedrijf vanuit de omgeving
	Import mest met onkruiden	Verhoging onkruiddruk op perceel of bedrijf via de mest
Management & Bedrijfssysteem	Inzet handmatig wieden	Arbeidspieken, moeilijk te organiseren
	Inzet van methoden	Kennis over optimaal gebruik niet beschikbaar op bedrijven
	Inzet van methoden	Niet kunnen beschikken over bep. machines, beperkte slagkracht
	Strategische visie	Ontbreken van een meerjarig onkruidbeheersingsplan (onkruidbeheersing geen hoge prioriteit)
	Bedrijfinrichting en rotatie	Veelheid aan perceel-gewas combinaties
	Bedrijfinrichting en rotatie	Kennis over rotatie-effecten onvoldoende bekend