UB

# Handboek onkruidkunde

Redactie:
M. Hoogerkamp
J. Stryckers

Pudoc Wageningen 1990

Isn 27 22 14

BIBLIOTHEEK
LANDBOUWUNIVERSITEIT
WAGENINGEN

CIP-gegevens Koninklijke Bibliotheek, Den Haag

Handboek

Handboek onkruidkunde / red.: M. Hoogerkamp, J. Stryckers.
– Wageningen : Pudoc. – Ill.
ISBN 90-220-0976-9
SISO 632.6 UDC 632.5+632.954 NUGI 411
Trefw.: onkruid / onkruidbestrijding.

ISBN 90-220-0976-9
NUGI **411**/835

Omslagontwerp: Evert van der Molen, Doorwerth.

© Pudoc, Centrum voor Landbouwpublikaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen, 1990.

Niets uit deze uitgave, met uitzondering van titelbeschrijving en korte citaten ten behoeve van een boekbespreking, mag worden gereproduceerd, opnieuw vastgelegd, vermenigvuldigd of uitgegeven door middel van druk, fotokopie, microfilm, langs elektronische of elektromagnetische weg of op welke wijze ook zonder schriftelijke toestemming van de uitgever Pudoc, Postbus 4, 6700 AA Wageningen. Voor alle kwesties inzake kopiëren uit deze uitgave: Stichting Reprorecht, Amsterdam.

Gedrukt in Nederland.

## Korte inhoudsopgave en auteurs

**Voorbericht van de redactie** VIII

**1 Zaadvoorraad, kieming en onkruidvegetatie** 1
Prof.dr. C.M. Karssen, Vakgroep Plantenfysiologie, Landbouwuniversiteit Wageningen
Drs. B.J. Post, Vakgroep Vegetatiekunde, Plantenoecologie en Onkruidkunde, Landbouwuniversiteit Wageningen.

**2 Concurrentie** 14
Dr. W. Joenje, Vakgroep Vegetatiekunde, Plantenoecologie en Onkruidkunde, Landbouwuniversiteit Wageningen
Dr. M.J. Kropff, Vakgroep Theoretische Produktie Ecologie, Landbouwuniversiteit Wageningen

**3 Simulatiemodellen in de onkruidkunde** 24
Dr. M.J. Kropff, Vakgroep Theoretische Produktie Ecologie, Landbouwuniversiteit Wageningen.
Dr.ir. C.J.T. Spitters †, Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Wageningen

**4 Oecologie en populatiedynamica** 36
Dr. J.M. van Groenendael en dr. S.J. ter Borg, Vakgroep Vegetatiekunde, Plantenoecologie en Onkruidkunde, Landbouwuniversiteit Wageningen
Ir. H.F.M. Aarts, Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Wageningen

**5 Floraverschuivingen** 54
Prof.dr.ir. R. Bulcke, Laboratorium voor Landbouwplantenteelt en Herbologie, Rijksuniversiteit Gent
Ing. A.J.W. Rotteveel, Plantenziektenkundige Dienst, Wageningen

**6 Mechanische en fysische onkruidbestrijding** 63
Dr.ir. J.K. Kouwenhoven, Vakgroep Grondbewerking, Landbouwuniversiteit Wageningen
Ing. J.J. Klooster, Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, Wageningen
Ing. E.E. Vos-Heikens, CAD voor Stedelijk Groen, Boskoop

Ir. J.D.A. Wevers, Instituut voor Rationele Suikerproduktie, Bergen op Zoom

**7 Biologische bestrijding van onkruiden** 87
Dr.ir. P.C. Scheepens, drs. W. van der Zweerde en dr.ir. M. Hoogerkamp, Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Wageningen

**8 Toedieningstechnieken** 96

*8.1 Fysisch-chemische achtergronden* 96
Dr.ir. V.J.M. Koch, Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, Wageningen

*8.2 Betekenis van hulpstoffen voor de opname van herbiciden via het bladoppervlak* 105
Dr.ir. H. de Ruiter, Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Wageningen

*8.3 Toepassing in de praktijk* 111
Ing. L.M. Lumkes, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad

**9 Werkingswijzen van herbiciden** 119
Dr.ir. J.L.P. van Oorschot, Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Wageningen
Dr.ir. J.J.S. van Rensen, Vakgroep Plantenfysiologisch Onderzoek, Landbouwuniversiteit Wageningen

**10 Gedrag van herbiciden in de bodem** 129
Dr.ir. J.J.T.I. Boesten, Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, Wageningen
Ir. R. Zandvoort, Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Wageningen

**11 Toelatingsbeleid** 137

*11.1 Toelatingsbeleid van herbiciden in Nederland* 137
Ir. H. Naber, Plantenziektenkundige Dienst, Wageningen

*11.2 Toelatingsbeleid van pesticiden in België* 143
Prof.dr.ir. W. Dejonckheere, Laboratorium voor Fytofarmacie, Rijksuniversiteit Gent

**12 Geïntegreerde onkruidbestrijding** 158
Ir. F.G. Wijnands, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad

**13 Watergangen** 171

*13.1 Waterplanten en hun rol in watergangen* 171
Dr. E.P.H. Best, Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Wageningen

*13.2 Beheer van waterlopen* 179
Ir. R.H. Pitlo, Adviesgroep Vegetatiebeheer, Wageningen

**14 Vegetatiebeheer in wegbermen** 192
Dr. K.V. Sykora en prof.dr. P. Zonderwijk, Vakgroep Vegetatiebeheer, Plantenoecologie en Onkruidkunde, Landbouwuniversiteit Wageningen

**15 Beheer van openbaar groen** 201
E.A.D. Baart, Vakgroep Vegetatiekunde, Plantenoecologie en Onkruidkunde, Landbouwuniversiteit Wageningen

**16 Toekomstverwachtingen inzake onkruidkunde in de land- en tuinbouw en randgebieden** 207

*16.1 Land- en tuinbouw* 207
Prof.dr.ir. J. Stryckers en ir. M. Van Himme, Laboratorium voor Landbouwplantenteelt en Herbologie, Rijksuniversiteit Gent.
Ir. P.M. Spoorenberg, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad

*16.2 Niet op produktie gerichte randgebieden van de land- en tuinbouw* 219
Dr. W. Joenje en prof.dr. P. Zonderwijk, Vakgroep Vegetatiekunde, Plantenoecologie en Onkruidkunde, Landbouwuniversiteit Wageningen

**Behandelde (on)kruiden** 224

**Uitgebreide inhoudsopgave** 228

## Voorbericht van de redactie

Onkruidkunde is de wetenschap (logos) van de onkruiden (herba of malherba), met als synoniem herbologie. De Fransen gebruiken de term 'malherbologie', waar de Engelstaligen het bij het reeds vroeger gekozen 'weed science' hebben gehouden, doch de Duitstaligen 'Herbologie' boven 'Unkrautkunde' stellen. Een veel gebruikte definitie van onkruid is: 'plant of groep van planten die op de plaats waar ze voorkomt niet wordt gewenst'.

De onkruidkunde richt zich op de kennis van onkruiden, op de negatieve gevolgen van hun aanwezigheid en op de bestrijding of liever beheersing van ongewenste plantesoorten. Onkruiden kunnen voorkomen op vrijwel alle plaatsen waar planten kunnen groeien. Ze kunnen problemen geven bij de teelt van gewassen, maar ook bij het beheer van openbaar groen, wegen en watergangen en zelfs bij het beheer van diverse objecten die in principe onbegroeid moeten blijven.

Onkruid kan op vele wijzen last veroorzaken en de door onkruiden aangerichte schade is van uiteenlopende aard; als voorbeelden hiervan kunnen bij de teelt van gewassen worden genoemd:

- Onkruiden kunnen rechtstreeks oorzaak zijn van een geringere financiële opbrengst door minder biomassa-opbrengst van het gewenste gewasprodukt, onder meer door concurrentie om groeifactoren als licht, water en nutriënten of voedsel. Soms zelfs kunnen ze aanleiding geven tot totale opbrengstderving.
- Ze kunnen teeltmaatregelen, onder meer de oogst, belemmeren en verwerkingsmoeilijkheden berokkenen.
- Ze kunnen leiden tot waardeverlies van het oogstprodukt en zelfs tot volledig produktbederf, onder meer door verontreiniging.
- Ze brengen dus tijdverlies en extra kosten voor bestrijdingsmaatregelen mee.
- Onkruiden kunnen als waardplanten optreden van gewasvijanden en hierdoor ook indirect opbrengstverlaging veroorzaken.
- Bepaalde onkruiden zijn zelfs parasieten, terend op gewasplanten.
- Onkruiden kunnen ook schadelijk zijn voor cultuurtechnische werken.
- Ten slotte mag men het negatieve psychologisch effect dat een veronkruide akker of veronkruid bedrijf veroorzaakt, nog steeds niet onderschatten.

Produktievormen van een gewas of een teeltsysteem maken dus vaak een onkruidbestrijdingssysteem noodzakelijk, een systeem waarin verschillende bestrijdingsmaatregelen op een op elkaar afgestemde wijze worden gecombineerd. Bestrijding is het doen afnemen van een populatie van een schadelijk organisme, in casu het onkruid. Volgens recentere opvattingen kan men beter spreken van het 'beheersen van de ongewenste plantesoorten'. Beheersing is het houden van de populatie van (een) orga-

nisme(n), in casu het onkruid, op een voor de objectbeheerder aanvaardbaar niveau of, zo nodig, het daartoe terugbrengen. 'Beheersen' is hier niet te verwarren met 'beheren', omdat bij onkruid in het algemeen niet van een positieve benuttingsvorm kan worden gesproken. In de civieltechnische sfeer, bijvoorbeeld op wegbermen, in watergangen en in openbaar groen, doet men wel aan vegetatiebeheer en neemt men maatregelen om min of meer natuurlijke begroeiingen zoveel mogelijk in stand te houden of te verkrijgen, eventueel zelfs biologisch te verbeteren. Ook hier wenst men de negatieve gevolgen van de aanwezigheid van onkruiden echter te voorkomen. Zowel om economische, milieutechnische als natuurwetenschappelijke redenen dienen we echter te weten welke planten ongewenst zijn, in welke mate en hoe ze moeten worden bestreden.

Tussen gewassen, onkruiden en hun omgeving bestaan talrijke complexe interacties, zodat ze ecosystemen vormen; dit geldt niet alleen voor vegetaties in de landbouw, maar ook daarbuiten, zoals op wegbermen en in watergangen. De onkruidvegetatie in het agro-ecosysteem vormt een dynamisch geheel. Deze dynamiek is nauw verbonden met de samenstelling en omvang van de zaadvoorraad in de bouwvoor en met de specifieke kiemingsbiologie van de betrokken soorten.

Om de concurrentieschade te kunnen voorspellen moet men allereerst een voorspelling kunnen maken van de te verwachten onkruidvegetatie. Bij de bepaling van het oogstverlies is dan ook kennis nodig van de onkruidkieming, morfologische ontwikkeling van de onkruidplant of morfogenese en de relatie ervan met bodem- en weersfactoren. Meer en meer hanteert de praktijk in verband met de onkruidbestrijding begrippen als kritieke periode, bestrijdingsdrempel en economische schadedrempel en daarbij groeit de behoefte aan betere prognoses. Verwacht wordt dat beter inzicht in de concurrentie tussen cultuurgewas en onkruid de mogelijkheid verschaft om nauwkeuriger de noodzaak tot bestrijden van onkruid en de aard van de bestrijdingsmaatregelen vast te stellen.

Om meer inzicht te verkrijgen in het gedrag van een systeem, zoals de combinatie van een gewas met onkruid en een verklaring voor de waargenomen verschijnselen op grond van processen die daaraan ten grondslag liggen, zoals fotosynthese, transpiratie en respiratie, is men ook in de onkruidkunde simulatiemodellen gaan ontwikkelen. Dergelijke modellen kunnen worden gebruikt voor de ontwikkeling van effectievere adviessystemen voor onkruidbestrijding of liever, onkruidbeheersing; in geleide onkruidbeheersingssystemen kunnen ze worden toegepast om de noodzaak en het effect van bestrijdingsmaatregelen aan te geven.

Om het gedrag van plantesoorten in akker- of in gemengde vegetaties te begrijpen is kennis van alle fasen van de levenscyclus van de onkruiden nodig. In verband met de aantalsverandering of populatiedynamica zijn recent modellen ontwikkeld om de kwantitatieve gegevens hierover meer in detail te analyseren en te interpreteren. De aantalsmodellen of populatiedynamische modellen dienen ook voor het verkrijgen van inzicht in de fasen waarin een bepaalde soort het gevoeligst is voor bestrijdingsmaatregelen. Dit kan sturend werken bij het zoeken naar andere bestrijdingsmethoden. Gevoeligheidsanalysen kunnen die fasen in de levenscyclus aanduiden wel-

ke de grootste invloed hebben op de aantalsverandering en de beheersingsmaatregelen kunnen dan juist op die fasen worden geconcentreerd.

Bij het zoeken naar alternatieven om de nadelige aspecten van de chemische onkruidbestrijding te ontwijken kan wellicht de sterke ontwikkeling van de plantenoecologie en in het bijzonder deze van de populatiebiologie van planten, een andere aanpak binnen de bestaande mogelijkheden brengen.

De flora, die zeer diverse invloeden ondergaat, vormt een bijzonder dynamisch geheel. Inter- en zelfs intraspecifieke verschuivingen in de (on)kruidflora komen steeds nadrukkelijker op de voorgrond in land- en tuinbouw, onder meer door wijzigingen in vruchtwisseling en teelttechnieken, en in het bijzonder als gevolg van langdurige, eenzijdige inzet van herbiciden. Betrouwbare voorspelling van de evolutie van de flora is dan ook een middel om ongewenste floraverschuivingen te vermijden.

Omdat gewas en onkruid vergelijkbaar reageren op teeltmaatregelen en het weer, komt het er op aan het gewas een flinke voorsprong te geven op het onkruid; dit kan bijvoorbeeld door het onkruid tijdig af te snijden of te bedekken onder meer met grond. Ofschoon dit principe al lang bekend is en in onze streken voorheen ijverig toegepast werd bij de mechanische onkruidbestrijding, is men thans aan een herwaardering hiervan toe en tracht men verder ook fysische onkruidbestrijdingsmaatregelen te introduceren, zoals branden of bodembedekking met mulch of ander materiaal. In ieder geval is het belang van de mechanische onkruidbestrijding groter gebleken dan men meestal aanneemt, zelfs bij inzet van herbiciden.

Zeker in het jongste decennium is er hernieuwde belangstelling gaan groeien voor niet-chemische bestrijdingsmethoden. Het bewust aanwenden van levende organismen om de populatie van schadelijke planten te verminderen en de biologische bestrijding van onkruiden krijgen stilaan ook voor West-Europa betekenis. Bekend is het onderhoud van watergangen met graskarper; ook de onderdrukking van onkruid door hoger groeiende planten krijgt aandacht. Voor de toepassing van biologische bestrijdingsmiddelen, zogenaamde biologische herbiciden, zoals bij de selectieve bestrijding met ziekteverwekkende schimmels, hebben we in Europa een bijzonder grote achterstand op de Verenigde Staten.

De chemische onkruidbestrijding hebben we daarentegen in de afgelopen dertig jaren op een overweldigende wijze zien evolueren; er bestaan thans ongeveer 250 werkzame stoffen en daarvan zijn er in de Benelux ruim 100 verkrijgbaar, waarmee men hier al evenveel mengsels heeft geformuleerd, zodat we nu voor de meeste situaties een effectieve oplossing tegen onkruid hebben. Deze ontplooiing heeft in de na-oorlogse periode een groot aandeel gehad in het opvoeren van de arbeidsproduktiviteit en in de stijging van de opbrengsten aan hoogwaardige oogstprodukten. De sociale verbeteringen door een menswaardiger manier van onkruidbestrijding werden bovendien algemeen zeer gewaardeerd. Op het intensieve bedrijf droeg deze vorm van onkruidbestrijding niet alleen bij tot verlaging van de produktiekosten, maar ook tot schaalvergroting binnen het bewerkte areaal. Er hebben opvallende veranderingen in de teelttechnieken plaatsgehad in relatie met de chemische onkruidbestrijding. De selectieve toepassing van chemische onkruidbestrijdingsmiddelen heeft in onze gewesten mede

geleid tot de sterke uitbreiding van suikerbiet, wintergerst en maïs, evenals tot het inburgeren van de groenteteelt op de akkerbouwbedrijven. In een geëvolueerd modern plantenteeltsysteem is de chemische onkruidbestrijding dan ook een absoluut onmisbaar element en is ze er niet meer weg te denken.

Wel is er behoefte aan een meer bedrijfszekere chemische onkruidbestrijding met gebruik van lagere hoeveelheden herbiciden. Middelen ter verhoging van het rendement van een herbicide zijn een verbetering van de toedieningstechnieken en toevoeging van hulpstoffen aan de spuitvloeistof ter verhoging van de opname van herbiciden via het bladoppervlak. Voor de keuze van de uitrusting, evenals voor de keuze en het optimaal gebruik van het middel wordt voor de praktijk veel verwacht van computergestuurde keuzen. Voor een efficiënte chemische onkruidbestrijding is ook inzicht in de werkingswijze van herbiciden nodig. De selectieve werking van herbiciden hangt hiermee samen. De resistentie van onkruidbiotypen is in verband met de herbiciden weliswaar sedert de jaren zeventig opgetreden, maar ook deze resistentie is een belangrijk aspect dat nauw verband houdt met de werkingswijze.

Het gedrag van herbiciden in de bodem is vanzelfsprekend in het bijzonder van belang voor de bodemherbiciden. Vooral bij herbiciden met een lange werkingsduur in de bodem is het risico voor schade aan volggewassen bij herhaling duidelijk gebleken, een gevaar dat nog des te groter is waar men bij gewasmislukking in vervanggewassen moet voorzien. Men is bijzonder op zijn hoede voor herbiciden met een grote mobiliteit in de bodem en voor het risico van verontreiniging van het grondwater. Ook stoffen met een lange verblijfsduur in een biologisch niet-actieve vorm in de bodem beschouwt men momenteel niet langer als milieuvriendelijk.

Bij het keuringsonderzoek is men dan ook geleidelijk veeleisender geworden en de officiële toelating of erkenning van bestrijdingsmiddelen slaat niet alleen op de werkzame stof, maar eveneens op hulpstoffen. In de afgelopen jaren is men hierbij bijzondere aandacht gaan hechten aan de persistentie in de bodem en dit niet alleen van de werkzame stof, maar ook van metabolieten. De toelaatbaarheid voor gebruik in waterwingebieden wordt bovendien aan de orde gesteld.

De onkruidbestrijding of -beheersing gebeurt dus zowel indirect, onder meer teelttechnisch, als direct, namelijk via mechanische en fysische weg, en vooral op chemische wijze; ook is dit soms al biologisch mogelijk. De onkruidbestrijding is echter met steeds stijgende kosten gepaard gegaan en daarbij vertonen al deze methoden naast voordelen ook specifieke nadelen. In het jongste decennium zijn vooral allerlei ongewenste effecten van de chemische bestrijding aan het licht gekomen en is ook hier de wens tot een geïntegreerde aanpak naar voren getreden en ontstaan er accentverschuivingen. De diverse bestrijdingsmethoden en teelttechnieken worden hierbij op een op elkaar afgestemde wijze gecombineerd; de beheersingsmaatregelen dienen ecologisch en milieuhygiënisch verantwoord te zijn en tevens tracht men de kosten te drukken. De kennis uit de onkruidkunde, samen met die uit andere gewasspecialismen moet in ieder geval beter worden geïntegreerd met plantenteeltkundige kennis. Algemeen bedoelt men met geïntegreerde bestrijding een bestrijdingssysteem gebaseerd op veranderingen van de populatie-omvang van een schadelijk organisme, met name het

onkruid, daarbij rekening houdend met natuurlijke weerstands- of misschien beter reguleringsfactoren en met een minimaal gebruik aan milieubelastende middelen.

Waar men het roer nog meer wil afwenden van de gangbare land- en tuinbouw, zal men bij deze integratie streven naar een alternatieve vorm van gewasbescherming met zo weinig mogelijk of zelfs zonder inzet van chemische middelen, met daarbij vermindering van algehele bemestingsintensiteit en waarbij preventieve maatregelen belangrijk zijn.

Waar men iedere chemische ingreep, alle herbiciden en zelfs ieder biocide, wil weren, zijn de watergangen. De beheersing van de groei van waterplanten tracht men vooral mechanisch te klaren en in zekere mate ook wel biologisch, ofschoon de onderhoudskosten ook hier aan beperkingen toe zijn. Van de beheerder, die zowel waterkwantiteit als waterkwaliteit dient te bewaken, wordt daarbij een goede kennis van de waterplanten verwacht onder meer om het gevoeligste moment in hun levenscyclus doeltreffend te benutten. Uit de wegbermen wil men ook iedere vorm van biocide bannen. Van de wegbermbeheerder wordt heden verwacht dat hij de plantengemeenschappen in wegbermen weet te verbeteren en dat deze bermen een toevluchtsoord worden voor soorten die in de cultuurgewassen verdwenen zijn en zelfs in het overige landschap niet meer kunnen groeien. Ook hier is grote ervaring op vegetatiekundig gebied van bijzonder belang. Het beheer van openbaar groen heeft zich in de afgelopen jaren eveneens in menig opzicht gewijzigd, vooral met betrekking tot het minder toepassen van herbiciden; waar andere onderhoudsmethoden kans op slagen hebben wordt omgeschakeld naar een ander groenbeleid.

Door de Stichting Post-Hoger Landbouwonderwijs (PHLO) te Wageningen werden in 1987 twee cursussen over onkruidkunde georganiseerd, respectievelijk te Wageningen en te Gent. Deze cursussen vonden plaats in het raam van de activiteiten van COVLAWA, de commissie die zich al een decennium inspant om de samenwerking te bevorderen tussen de Vlaamse Faculteiten van de Landbouwwetenschappen, namelijk van de Rijksuniversiteit te Gent (RUG) en de Katholieke Universiteit te Leuven (KUL), en de Landbouwuniversiteit te Wageningen (LUW). De organisatie berustte bij een cursuscommissie, met als leden prof.dr.ir. J. Stryckers (RUG, Laboratorium voor Landbouwplantenteelt en Herbologie), voorzitter en cursusleider, dr.ir. M. Hoogerkamp (Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, CABO, Wageningen), cursusleider, prof.dr.ir. R. Bulcke (RUG, Laboratorium voor Landbouwplantenteelt en Herbologie), ing. H.J. Harkink (Hogere Bosbouw en Cultuurtechnische School, Velp), dr. W. Joenje (LUW, vakgroep Vegetatiekunde, Plantenoecologie en Onkruidkunde), dr. ir. J.H. de Ru (PHLO) en prof.dr. P. Zonderwijk (LUW, vakgroep Vegetatiekunde, Plantenoecologie en Onkruidkunde). Naast leden van deze begeleidingsgroep traden als docent medewerkers op van diverse instellingen gespecialiseerd in een of meerdere onderdelen van de onkruidkunde.

Gezien het grote belang van de onkruidkunde was er dan ook bijzonder veel belangstelling voor deze COVLAWA-cursussen en daar er ook buiten de kring van cursusdeelnemers zeer veel interesse bestaat voor de behandelde stof, werd besloten de tijdens de cursussen gegeven colleges te publiceren. De beide redacteuren zijn verant-

woordelijk voor de eenheid in de tekst wat betreft woordkeuze en presentatie, waarbij echter de individuele stijl van de respectievelijke auteurs gerespecteerd is. Voor de terminologie is getrouw de tweede druk gevolgd van de 'Terminologie op het gebied van de onkruidkunde', uitgegeven door COTONT, Commissie voor Terminologie op het Gebied van de Onkruidkunde voor het Nederlandse Taalgebied.

De eerste vijf hoofdstukken leveren een samenvatting van de basiskennis; de volgende elf richten zich op de bestrijding, of liever beheersing van het onkruid.

In de laatste periode van de totstandkoming van deze uitgave overleed onverwacht een van de auteurs, dr.ir. C.J.T. Spitters. Zijn bijdragen aan het onderzoek zijn bijzonder waardevol geweest.

# 1 Zaadvoorraad, kieming en onkruidvegetatie

C.M. Karssen en B.J. Post

De oorsprong van bijna alle soorten uit een onkruidvegetatie en daarmee van bijna elke onkruidproblematiek op een perceel ligt in de voorraad zaden in de bouwvoor. De bewaaromstandigheden van deze zaden voorafgaand aan de (hoofd-)grondbewerking en/of zaaibedbereiding bepalen de mate van kiemrust. Daarmee wordt dan de mogelijkheid vastgelegd wel of niet met kieming te reageren op de (wisselende) omstandigheden die zich na zaaibedbereiding in het zaaibed of vlak daaronder voordoen. Deze omstandigheden kunnen binnen een perceel nogal heterogeen zijn met een heterogene samenstelling van de kiemplantenvegetatie als gevolg. Ook kunnen die omstandigheden zodanig zijn dat geen kieming plaatsvindt en opnieuw een bepaalde vorm van kiemrust wordt aangelegd. Deze cyclus kan afhankelijk van de soort niet of vaak herhaald worden. De levensduur van zaden van verschillende akkeronkruidsoorten in de bouwvoor kan variëren van enkele weken tot tientallen jaren.

## 1.1 Inleiding

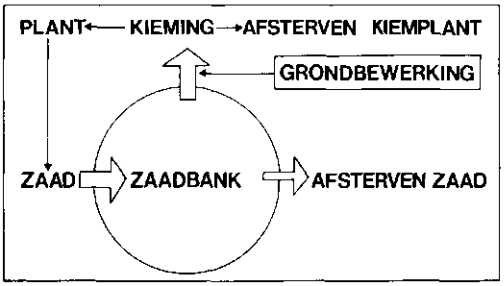
De onkruidvegetatie in het agro-ecosysteem van akker- en tuinbouw vormt een dynamisch geheel zowel in samenstelling als in omvang. Deze dynamiek is nauw verbonden met de samenstelling en omvang van de zaadvoorraad in de bouwvoor en de specifieke kiemingsbiologie van de betrokken soorten. Inzicht in het tot stand komen en de ontwikkeling van de samenstelling van de onkruidvegetatie berust in hoge mate op een integratie van gegevens uit de zaadfysiologie, de bodemkunde en de meteorologie.

## 1.2 Zaadvoorraad

De levende zaden in de bouwvoor worden samengevat en aangeduid als de zaadvoorraad ('seedbank'). De zaadvoorraad in de grond kan sterk variëren van honderden tot honderdduizenden zaden per $m^2$ bouwvoor (Post, 1984). Zoals later zal blijken is de omvang sterk afhankelijk van de toegepaste teeltmaatregelen in het betrokken agro-ecosysteem.

De zaadvoorraad is de oorsprong van het grootste deel van de floristische elementen op een perceel. In onze gematigde klimaatzone en de daarin gebruikelijke teeltsystemen komen nauwelijks onkruidsoorten voor die zaad produceren dat met de wind of aanhangend aan dieren of kleding naar een akkerbouwgrond wordt verspreid en daar kiemt voordat het aan de zaadvoorraad in de bouwvoor is toegevoegd.

Het grootste deel van de zaadvoorraad bestaat dus uit zaden die ter plekke zijn geproduceerd. Incidenteel van buitenaf aangevoerd voortplantingsmateriaal kan ech-



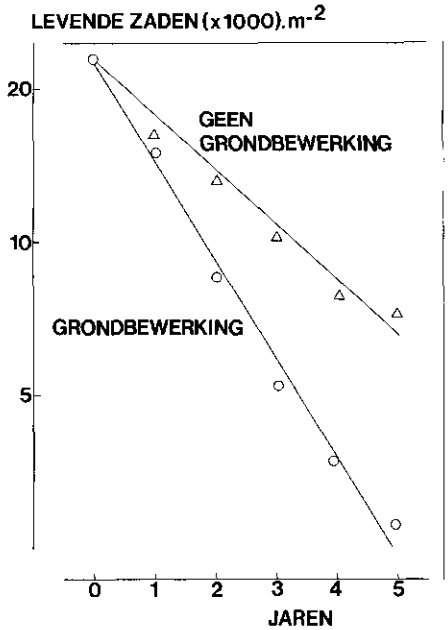

Figuur 1.1. Factoren die de samenstelling van de zaadvoorraad beïnvloeden.

ter tot ernstige onkruidproblematiek leiden. De ontwikkeling van het probleem kan langzamerhand wel grotere vormen aannemen door toenemende produktie van voortplantingsmateriaal op het perceel zelf. De soorten zaden en de hoeveelheden daarvan in de bouwvoor zijn voornamelijk afkomstig van onkruidplanten die de op het perceel genomen teeltmaatregelen hebben kunnen overleven.

Doet aanvoer van zaad een zaadvoorraad groeien, kieming en afsterven van zaad veroorzaken een afname van de omvang (figuur 1.1). Van sommige soorten verdwijnt daardoor de zaadvoorraad gedurende een beperkte periode van het jaar geheel uit de bodem. Thompson & Grime (1979) noemen dit 'transient seedbanks'. De meeste van onze onkruidsoorten vormen echter 'persistent seedbanks' waarbij steeds een voorraad levende zaden aanwezig blijft, indien elk jaar ook een nieuwe influx van zaden plaatsvindt.

Hoe lang overleeft een dergelijke 'persistent seedbank' nu zonder die jaarlijkse influx? Talloze goed gedocumenteerde voorbeelden hebben aangetoond dat de taaiste volhouders zeker 50–100 jaar en zelfs langer in leven blijven. Uitgestorven gewaande soorten duiken daardoor soms ineens weer op. Op een akker is het uiteraard niet van belang om te weten wanneer het laatste onkruidzaad verdwenen is. Daar telt vooral het moment dat de zaadvoorraad zover in omvang is gereduceerd, dat de onkruidpopulatie geen schadefactor van belang meer is ten opzichte van het gewas. 'Wie een jaar zijn onkruid laat staan, moet zeven jaar uit wieden gaan' gaat aardig op. De zaadvoorraad van een akker neemt exponentieel af als een nieuwe instroom van zaden verhinderd wordt. Indien regelmatig grondbewerking plaatsvindt, is de halfwaardetijd van de zaadpopulatie 1 jaar en duurt het 7 jaar voordat de zaadvoorraad tot 1 % van de oorspronkelijke omvang is gereduceerd. Zonder grondbewerking is de afname veel trager. Het duurt dan 18 jaar voor dezelfde reductie is bereikt.

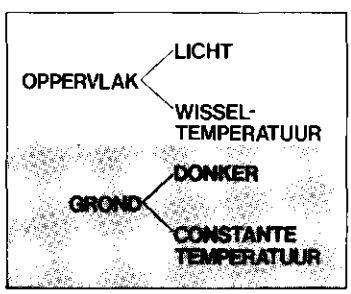
Grondbewerking bevordert een snelle afname van de zaadvoorraad, doordat het de kieming stimuleert (figuur 1.2). Om te overleven moet een zaad echter voorkomen dat het kiemt. In de ongekiemde toestand komt het er vervolgens op aan dat er voldoende zuurstof beschikbaar is. In vochtig bewaarde zaden zakt de ademhalingsactiviteit, na een aanvankelijke stijging in de eerste uren, terug naar een stabiel niveau dat de zaden lange tijd volhouden. De ademhalingsenergie is onder andere nodig om mogelijke




Figuur 1.2. Vermindering van de zaadvoorraad in de bouwvoor als gevolg van grondbewerking bij afwezigheid van nieuwe zaadintroductie (naar Roberts & Feast, 1972).

optredende schade aan de ultrastructuur en het enzymapparaat te herstellen. Er vindt dan ook voortdurend enige eiwitsynthese plaats. De uiteindelijk limiterende factor voor het overleven lijkt de snelheid te zijn, waarmee het reservevoedsel wordt opgebruikt. Zuurstofgebrek veroorzaakt gisting en daardoor bijna altijd de ondergang van het zaad.

Waarom bevordert grondbewerking de kieming en daardoor de afname van de zaadvoorraad? Centraal staat dat ploegen een deel van de zaden aan de oppervlakte brengt. En daar heersen een aantal voor kieming onmisbare milieucondities die in de grond ontbreken (figuur 1.3). Licht speelt hier de belangrijkste rol. Zaden van een overgrote meerderheid van enkele duizenden onderzochte soorten hebben licht nodig voor hun kieming.



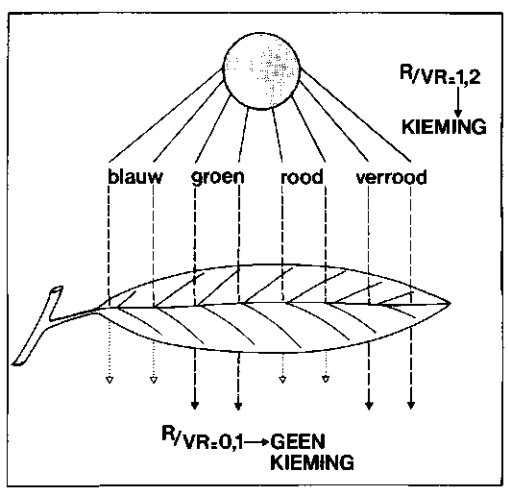

Figuur 1.3. Verschillen van de belangrijkste factoren in de bouwvoor en aan de oppervlakte met betrekking tot het kiemingsmilieu.

In de grond is op een diepte van enkele millimeters de lichtintensiteit al zover gedaald, dat de lichtbehoefte niet meer verzadigd wordt. Door de lichtbehoefte bezitten de zaden dus een soort dieptesensor, die aangeeft waar ze zich in de ruimte bevinden. Het voorkomt dat de kieming op te grote diepte plaatsvindt, hetgeen fataal zou zijn voor het kiemplantje dat op weg naar het oppervlak waarschijnlijk zou sneuvelen. De fatale ondergrondse kieming wordt ook tegengewerkt doordat de zaden van vele wilde soorten een dag-nacht ritme in de temperatuur verkiezen boven een constante temperatuur. Het dagelijks temperatuurverschil is aan het bodemoppervlak het grootst en neemt in de grond snel af.

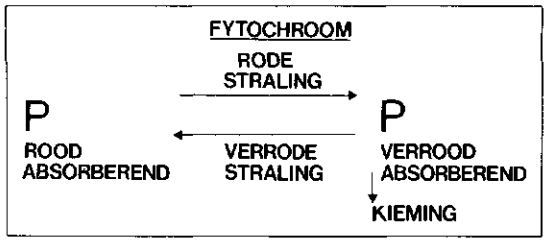
Door de behoefte aan licht en aan een dagelijks wisselende temperatuur kunnen de zaden te weten komen of er op de plaats waar ze zich bevinden al een plant staat. Ook deze informatie is natuurlijk weer van belang voor de toekomst van het kiemplantje, dat in de concurrentie met de bestaande vegetatie niet ten onder mag gaan. Een gesloten bladerdek reduceert allereerst de dagelijkse temperatuuramplitude en verandert bovendien de spectrale samenstelling van het licht. Bladeren filteren namelijk door hun gele en groene pigmenten (carotenoïden en chlorofyllen) vooral de blauwe en rode golflengtegebieden uit het licht (figuur 1.4). De straling, die dan overblijft, bevat onder andere de voor ons oog net niet zichtbare verrode straling (700–800 nm) Op. zaden en andere plantedelen heeft deze straling een sterk formatief effect. In tegenstelling tot het rode licht, dat de kieming bevordert, remt deze verrode straling de kieming.

Het voor deze lichtwerking verantwoordelijke pigment is het fytochroom. Het kent twee verschillende moleculaire vormen: een rood absorberende vorm (Pr), die door absorptie van rood licht overgaat in de verrood absorberende vorm (Pfr) (figuur 1.5). Dit Pfr is nodig voor de kieming. De onder een bladerdek overheersende verrode straling zet dit Pfr weer om naar Pr en remt zo dus de kieming.

Zaden weten niet alleen waar ze zich in de ruimte bevinden, ze weten ook welk deel



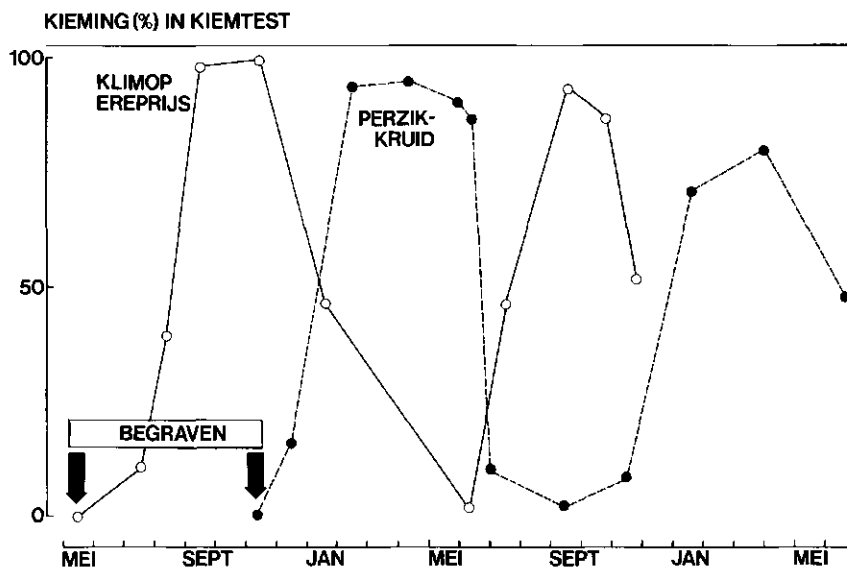

Figuur 1.4. Verhouding tussen rood en verrood licht bij filtering door een bladerdek.




Figuur 1.5. Werkingsschema van rood en verrood licht op het fytochroom.

van het jaar het is. Dit is af te leiden uit de waarneming dat zaden van vele eenjarige soorten alleen in het voorjaar of de vroege zomer ontkiemen (de zomerannuellen), terwijl zaden van andere soorten alleen in de herfst kiemen (de winterannuellen). Waarom is de kieming nu zo sterk gebonden aan een bepaald seizoen? Het kan niet liggen aan verschillen in de temperatuur- en vochtcondities van voor- en najaar, want die zijn vrijwel gelijk. De meteorologische voorgeschiedenis van de seizoenen is natuurlijk wel verschillend. Het voorjaar volgt op een koudeperiode en het najaar op een warmer seizoen. Zaden blijken dat ook in de gaten te hebben.

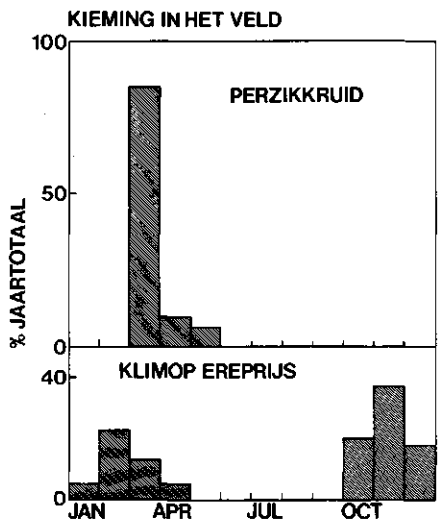
Deze conclusie is gebaseerd op onderzoek met zaden van de zomerannuel perzikkruid (*Polygonum persicaria*) en van de winterannuel klimop-ereprijs (*Veronica hederifolia*) (Karssen, 1982). Zaden werden in respectievelijk Wageningse en Engelse grond begraven op ongeveer 10 cm diepte. De zomerannuel werd begraven in het najaar en



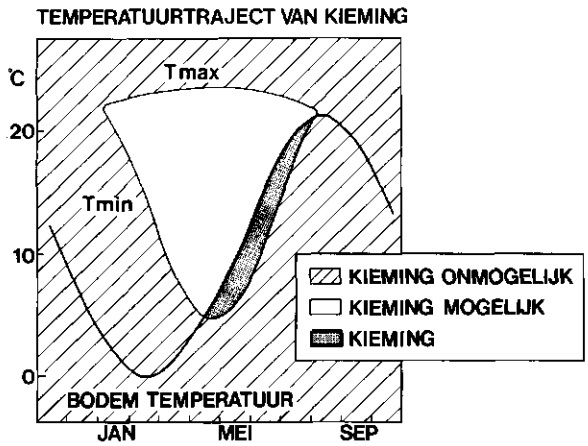

Figuur 1.6. Kiemingsritme van in grond bewaarde zaden van klimop-ereprijs (*Veronica hederifolia*) en perzikkruid (*Polygonum persicaria*), te kiemen gelegd bij voor de soort optimale kiemingsomstandigheden (naar Karssen, 1982).

de winterannuel in het voorjaar, de periodes van hun normale zaadval. In de 2 jaar die volgden werden met regelmatige tussenpozen zaden opgegraven en in het laboratorium getoetst op hun kiemvermogen bij voor de soort optimale temperatuurcondities en licht (figuur 1.6). Vlak voor het begraven kiemden vers verzamelde zaden niet. Maar al tijdens de eerste maand van het verblijf in de grond nam bij beide soorten het kiemvermogen in de test sterk toe. Na enkele maanden steeg het zelfs tot 100 %. Voor ereprijs was het toen najaar en voor het perzikkruid voorjaar en dat zijn dus precies de periodes van hun natuurlijk kieming in het veld (figuur 1.7). Daarna nam het kiemvermogen echter snel af. Daardoor kiemden de zaden van de voorjaarskiemers niet in het najaar en van de najaarskiemers niet in het voorjaar. In het tweede jaar herhaalde het patroon zich.

De belangrijkste conclusie uit dit experiment is, dat zaden tijdens hun verblijf in grond kennelijk een cyclus in kiembaarheid kunnen doormaken, die voor zomer- en winterannuellen een faseverschil van een half jaar vertoont. Deze cyclus zorgt ervoor dat de zaden maar in een beperkt deel van het jaar kunnen kiemen. Het fysiologische principe van deze verandering in kiembaarheid bleek nog duidelijker, wanneer de opgegraven zaden niet alleen werden getest bij de temperatuur van het voor kieming optimale seizoen, maar ook bij een grote reeks andere temperatuurcondities. Een dergelijke proef werd uitgevoerd met zaden van de alsemambrosia (*Ambrosia artemisiifolia*), een zomerannuel. De proef toonde aan dat de zaden van deze soort direct na de oogst in het najaar bij geen enkele temperatuur kiemen. Onder invloed van de lage temperaturen tijdens de wintermaanden ontwikkelen de begraven zaden eerst het vermogen om te kiemen bij de hoge temperaturen van de zomer, om daarna de minimum-




Figuur 1.7. Percentages in het veld waargenomen kieming van de zomerannuel perzikkruid (*Polygonum persicaria*) en de als winterannuel beschreven klimop-ereprijs (*Veronica hederifolia*) (naar Roberts & Feast, 1973).

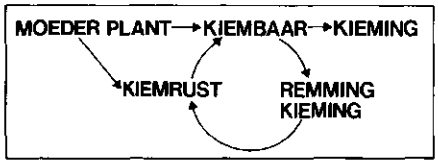



Figuur 1.8. Schematische voorstelling van het temperatuurtraject van kieming met betrekking tot de maximum (Tmax) en minimum kiemingstemperatuur (Tmin) en de overlap daarmee van de bodemtemperatuur (onderbroken lijn) (naar Karssen, 1982).

temperatuur van hun kieming steeds verder te laten zakken.

In het veld kan er kieming optreden, wanneer in het voorjaar de bodemtemperatuur boven deze dalende minimumtemperatuur uitstijgt. De 'temperatuurvraag' van het zaad en het 'temperatuuraanbod' van de bodem komen dan dus overeen. Wanneer de kieming niet plaatsvindt, zoals bij begraven zaden bij gebrek aan licht, versmalt het traject van voor kieming geschikte temperaturen zich weer, waardoor de zaden midden in de zomer bij geen enkele temperatuur kunnen kiemen. Er is als het ware voor korte tijd een 'temperatuurvenster' opengegaan, dat echter ook snel weer dicht gaat (figuur 1.8). Winterannuellen vertonen een vergelijkbaar patroon, maar dan in spiegelbeeld. Er is hier sprake van veranderingen in de kiemrust van de zaden. Kiemrust refereert bij de meeste soorten aan een fysiologische toestand, die de kieming bij alle of bijna alle temperaturen verhindert. Verbreken van rust gaat gepaard met een verbreden van het voor kieming geschikte temperatuurtraject. Rust induceren betekent de omgekeerde weg.

Tijdens hun verblijf in de grond doorlopen zaden van vele soorten dus kennelijk jaar in jaar uit een seizoensgebonden cyclus in kiemrust (figuur 1.9), waaruit ze jaarlijks slechts in een beperkte periode kunnen ontsnappen door te kiemen. Die kans grij-




Figuur 1.9. Schematische voorstelling van de cyclus van kiemrustbreking, kiembereid zijn, en kiemrustinductie (naar Karssen, 1982).

pen bij een 'persistent seedbank' echter lang niet alle zaden. Zoals boven al werd opgemerkt is er voor kieming veelal behoefte aan licht en ook ruime afstand tussen dag- en nachttemperatuur. Een behoefte waarin grondbewerking kan voorzien. Grondbewerking werkt echter alleen in de periode dat het 'temperatuurvenster' open staat en niet daarbuiten.

De enige natuurlijke, chemische kiemingsstimulator in grond is nitraat. De kiemingsstimulerende werking van dit ion is voor zeer vele wilde soorten aangetoond. Grondbewerken plus bemesten vormt dus een ideale voorwaarde voor kieming van onkruiden. Overigens kunnen zaden ook al beter kiemen door nitraat dat ze tijdens de zaadontwikkeling uit de moederplant hebben opgenomen. Zaden van een nitraatrijke akker kunnen zodoende gemakkelijker op een armere grond kiemen dan zaden die zijn geproduceerd op de arme grond zelf.

### 1.3 Onkruidvegetatie

De kiemplanten die kans zien zich te vestigen, vormen te zamen een onkruidvegetatie (Post, 1986). Produktienormen van het betreffende gewas of teeltsysteem maken vaak een onkruidbestrijdingssyteem noodzakelijk. De opbrengstderving van het gewas die verwacht mag worden door de aanwezigheid van een onkruidvegetatie, kan te maken hebben met onder andere produktbederf, oogstbelemmering of minder biomassaopbrengst van het gewenste gewasprodukt doordat de onkruidplanten met de gewasplanten concurreren om groeifactoren als licht, nutriënten en vocht.

De concurrentiekracht en daarmee de schade van de onkruidvegetatie ten opzichte van het gewas is afhankelijk van de soortensamenstelling en het aantal planten per $m^2$. De samenstelling van de zaadvoorraad in de bouwvoor en de kiemingsfysiologische toestand van de betreffende zaden bepaalt welke onkruidvegetatie als gevolg van teeltmaatregelen op het zaaibed zal kunnen ontstaan. Zoals boven werd uiteengezet bepalen het tijdstip en de wijze waarop teeltmaatregelen als grondbewerking en bemesting plaatsvinden de kiemingsfysiologische reactie van de zaden in de bouwvoor. Dit vertoont een samenhang met reeds bestaande fysische bodemcondities en te verwachten veranderingen door de heersende weersomstandigheden na de grondbewerking en zaaibedbereiding. De zaden van verschillende soorten, geproduceerd aan moederplanten uit verschillende seizoenen en opgegroeid onder verschillende omstandigheden, vereisen verschillende condities alvorens tot kieming te komen. Deze condities kunnen van seizoen tot seizoen maar ook binnen een perceel van plek tot plek zo verschillen dat heterogeniteit in samenstelling van de onkruidvegetatie het gevolg is. Dit betreft niet alleen het verschil tussen winter- en zomerannuelle vegetaties (figuur 1.10). Ook binnen deze categorieën kunnen verschuivingen in samenstelling optreden. In het algemeen kan gesteld worden dat moderne landbouwsystemen een floristische verarming van akkeronkruidvegetaties veroorzaakt hebben.

De grote mate van uniformiteit in gewaskeuze, vruchtwisselingssyteem en teeltmaatregelen hebben de diversiteit in milieucondities van landbouwarealen sterk verminderd. Dit geldt in het bijzonder voor de bodemgesteldheid. De rijkdom aan onkruiden

| | | |
|---|---|---|
| Herhaling: | | 1132233 1133 444444 11233 33 123122222 112234 234 444 134 2344 2244 12111133 |
| Tijdstip: | | 4444441 4444 444411 11111 22 222244221 111111 222 221 232 3333 3333 23333333 |
| Bemesting: | | 0000000 1111 110010 10110 00 001111100 101011 111 000 111 0000 1011 01110010 |
| APERA | SPI | 322-23- 2211 ----------22-- |
| JUNCU | BUF | 6773463 4566 777711 ----------2---------- |
| POLYG | AVI | -331112 12-1 334322 -2-22 ----------1-----11 --1 --2 -1- -------1----- |
| GNAPH | ULI | 3433322 ---- 416614 ---------- 113 ---------- |
| RORIP | PAL | ------- 1--- 1----2 ----- 2- --------- 222 ---------- |
| VIOLA | ARV | 1211331 -2-2 ------ 33122 2- --112---2 23-2-1 --- -1- ----------12111-- |
| CAPSE | BUR | -----1- 1--1 ---------- 32 -2--1---------11 ----------1--1--1 |
| POA | ANN | ----112 2------1-11 --1-2 2- ---11-----1----1-1 1----------2-------1- |
| POLYG | CON | --2--2- --13 1----------1 112-----1 -1-1-1-------1 -31 --1----1-------2 |
| MATRI | REC | 5555566 5455 555555 45545 55 323333233 555454 223 555 2-3 ---1 ---- 1-----1- |
| SPERG | ARV | 6557655 5554 441446 35555 34 652665556 255645 422 666 322 7565 5743 66454343 |
| CHENO | ALB | ---2131 ---- 11-143 -1--1 -1 -1-221123 232232 224 334 334 4344 4444 15121221 |
| POLYG | PER | 12---34 --1-2-2124 11--2 -1 12-21-----1-122 121 234 212 3244 33-3 -223133- |
| GALEO | TET | --1---1 ----------11---------- |
| VICIA | S-A | ----------2---1---------- |
| LAMIU | AMP | ----------1----------1----------1---------- |
| VICIA | HIR | ----------1---------- |
| GALIN | PAR | ----------1-2---------- |
| SOLAN | NIG | ----------11--------- |
| POLYG | L-P | ----------1113--------- |
| STELL | MED | ----------1----------1--1---------- |

Figuur 1.10. Tabel met vegetatie-opnamen (kiemplantentellingen) door multivariate analyse (TWINSPAN) gegroepeerd. Proefvariabelen zijn tijdstip van grondbewerking en wel/niet toepassen van granulaire bemesting. Tijdstip 4 betreft bewerking op 23.10.85, tijdstip 1, 2, 3 resp. 09.04.86, 01.05.86, 22.05.86. Transformatie van de aantallen: klasse 1 = 30, klasse 7 = 2000 planten per $m^2$ (niet gepubliceerde gegevens Post).

met behoeften aan specifieke groeiomstandigheden is daardoor opvallend verminderd. Geringe verschillen in zuurtegraad, bodemvochtigheid en temperatuursgesteldheid van landbouwgronden konden bij een lagere bodemvruchtbaarheid opvallende floristische verschillen tot gevolg hebben.

De effectiviteit van onkruidbestrijdingsmaatregelen is vergroot. Uit de voortdurende noodzaak van onkruidbestrijding valt af te leiden dat de zaadvoorraad steeds wordt aangevuld. Individuele planten overleven kennelijk teeltmaatregelen, waaronder bestrijdingsmaatregelen, en krijgen gelegenheid op te groeien en zaad te produceren. De zaadproduktie verschilt per soort. Salisbury (1942) toont getallen voor akkeronkruiden die afhankelijk van de soort variëren van 40 – 3500 zaden per plant. Maar ook meer dan 6000 zaden per plant bij andere soorten zijn geen uitzondering (Datta & Banerjee, 1976). Gewaskeuze, vruchtwisselingssysteem en bijbehorende teeltmaatregelen bepalen niet alleen welke zaden zullen kiemen, ze beïnvloeden ook in sterke mate de zaadproduktie en -kwaliteit van onkruidsoorten die het beste aan het bestaande beheer zijn aangepast (figuur 1.11). De zaadproduktie van bijvoorbeeld zwarte

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Herhaling: | 34411223 | 3341122 | 443344 | 1111112222331 | 11224 | 13123444243333 | 33441 124422 |
| Tijdstip: | 44444444 | 4444444 | 211121 | 3112222211223 | 11124 | 31221221112233 | 33333 333333 |
| Bemesting: | 00000000 | 1111111 | 000000 | 0000000000000 | 11111 | 11111111111111 | 00000 111110 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| APER SP14 | -1-----2 | ------- | ------ | ------------ | ----- | ------------ | ----- ------ |
| APER SP15 | 42-43--- | ---21-- | ------ | --------3---- | ----- | ------------ | ----- ------ |
| APER SP16 | 5--88777 | 98-9998 | ------ | ------------ | ----- | ------------ | ----- ------ |
| JUNC BUF2 | 54542234 | --2---- | 1--1-- | ----------1- | ----- | ------------ | ----- ------ |
| JUNC BUF3 | 66544345 | 25422-2 | 1--2-1 | ------------ | ----- | ------------ | ----- ------ |
| JUNC BUF4 | ---2--21 | 2464323 | ------ | ------------ | ----5 | ------------ | ----- ------ |
| GNAP ULI1 | -22----- | ------- | ------ | ------------ | ----- | ------------ | ----- ------ |
| GNAP ULI2 | 233--22- | ------- | 12-111 | ------------ | ----- | ------------ | ----- ------ |
| GNAP ULI3 | -33----- | ------- | 22-2-2 | ------------ | ----- | -------1------ | ----- ------ |
| VERO ARV2 | -------- | ------- | ----1- | ------------ | ----- | ------------ | ----- ------ |
| MATR REC2 | 1-12---- | ------- | --1-2- | ------------ | ----- | ------------ | ----- ------ |
| MATR REC3 | 3333332- | -2-2--2 | 2-3332 | -32--222-133- | 1---1 | ---------2---- | ----- ------ |
| MATR REC4 | 56643466 | 3323333 | 666656 | 556-57574577- | 331-2 | -22-1322-2---- | 2--22 3--1-- |
| MATR REC5 | 25-3-354 | 8877765 | 6648-5 | -86685-6-864- | 99958 | -96485598888-- | ---3- --2--- |
| MATR REC6 | -------- | 75-65-- | ------ | ------------ | 4-5-- | -5--5--498---- | ----- ------ |
| POLY PER2 | -12--1-1 | ------- | ---21- | -------2----- | ----- | ------------ | ----- -----1 |
| POLY PER3 | 323-1--3 | ------- | 232322 | 223-22----1-3 | -1--- | ---------1---- | -13-- ----11 |
| POLY PER4 | 323--1-3 | -21-2-- | 454664 | 623333-423-35 | -2-32 | 121-2232-1---2 | 23654 434-33 |
| POLY PER6 | -------- | 34----- | ------ | ------------ | ----- | 75-------77-88 | ---- -5---- |
| POLY PER5 | -------- | 254---- | 533463 | 55-5-----433 | 23--6 | 866-6767-45465 | 87784 65764- |
| VIOL ARV2 | ---111-1 | ------- | ---1-- | -11---1--1--- | -11-- | 2------------ | ----- ----1- |
| VIOL ARV3 | 2---3333 | ------1 | --2221 | 223--2--22-22 | 211-- | 22------1----- | --111 ----1- |
| VIOL ARV4 | -----21- | 2---322 | 233334 | 335-----2332- | 352-- | 22--2----1---- | ----- ----2- |
| POLY AV12 | 3131---- | ------- | --22-- | ------------ | ----- | ------------ | ---2- ------ |
| POLY AV13 | 644-3--3 | ------- | 233323 | --32------21- | ----- | ------11------ | -212- -1---- |
| POLY AV14 | 67667-24 | 23-11-- | 353434 | -24-35-33---1 | ----3 | -33-1-22-2- | -2- -3-24 ------ |
| POLY AV15 | -6453-43 | -5465-- | ------ | -453-5------- | -33-8 | 33--23-3-4---- | ----5 ------ |
| CAPS BUR3 | -------- | ------- | --1--1 | ------2122-1- | ----- | ------------ | -2--1 --1--- |
| CAPS BUR5 | -------- | 23-2--- | 2--2-- | 3223-5-2--53- | -2--3 | 423-2--2---5-- | ----- ------ |
| SPER ARV2 | -----33- | ------- | --22-- | 332--222----4 | -2--- | 14-----31----- | 1---2 3----4 |
| SPER ARV3 | 32454654 | ---4-55 | 4-5354 | 7552578543558 | -334- | 5434523434---- | 45346 56-267 |
| SPER ARV4 | -2544766 | -344677 | 887588 | 3578346584764 | 33586 | 46665--43444-3 | 37335 2---63 |
| SPER ARV5 | -------- | 233-355 | 33---- | -3------3---- | --234 | -3-4-----443-- | ----- ----- |
| CHEN ALB1 | -------- | ------- | -1--11 | ---------1--2 | ----- | ------------ | --1-- -----2 |
| CHEN ALB2 | -------- | ------- | 1-1132 | -21------2--2 | 111-- | 11-----1-----1 | -1311 -22222 |
| CHEN ALB3 | -------- | -1----2 | 2-2243 | 22112122-2123 | 221-1 | ----231312--21 | 22433 233333 |
| CHEN ALB4 | -------- | 222---2 | 323333 | 331--2-3-322- | 21322 | 23-33423-3--93 | 54553 654473 |
| CHEN ALB5 | -------- | -23---- | ------ | -2------73--- | 23373 | 46776785353-63 | 53645 89887- |
| CHEN ALB6 | -------- | ------- | ------ | ------------ | 3---- | --78698358-898 | ----- 6788-- |

Figuur 1.11. Tabel met biomassa-metingen door multivariate analyse (TWINSPAN) gegroepeerd. Proefvariabelen als bij Figuur 1.10. Bij de soorten is een beperkt aantal speudospecies (= hoogteklassen van soorten) geselecteerd. Transformatie van de biomassa: klasse 1 = 0, 4 – 1,6 gram D.S. per ¼ $m^2$, klasse 9 = 81 en meer gram D.S. per ¼ $m^2$ (→ klasse 9 = 3,2 ton per ha) (niet gepubliceerde gegevens Post).

nachtschade (*Solanum nigrum*) blijkt afhankelijk van het tijdstip van kieming en het beconcurrerende gewas te kunnen variëren van 0 – 6080 bessen per plant (Aarts, 1982).

De uitvoering van een bepaald landbouwsysteem vormt dus een selectieve druk op de ontwikkeling van de samenstelling van de zaadvoorraad in de bouwvoor en daarmee op de potentiële onkruidproblematiek casu quo economische schade.

## Samenvatting

Samenvattend kan gesteld worden dat de zaadvoorraad in de bouwvoor bestaat uit zaden waarvan de kiemingseigenschappen verschillen onder invloed van produktie-omstandigheden, leeftijd, seizoen en actuele condities in situ.

Doordat de kans van een plant om zaad te produceren nogal verschilt binnen een akker en omdat de hoeveelheid zaad die een plant kan produceren sterk afhangt van groeiomstandigheden, kan de zaadvoorraad binnen een perceel sterk variëren. Ook de fysische omstandigheden in het zaaibed kunnen variëren afhankelijk van structuurverschillen, grondwaterstand, bodemvochtigheid, beschaduwing enz. De bodemvruchtbaarheid kan ook niet overal gelijk zijn.

Al deze factoren leiden tot een heterogeniteit in samenstelling van de onkruidvegetatie. De te verwachten schade hangt met name af van de aard van de soorten die in de vegetatie overleven. Een deel van het onkruidkundig onderzoek richt zich op het bestuderen van de mogelijkheden om de schade, die door een onkruidvegetatie aan een gewas zal kunnen worden toegebracht, te voorspellen.

Ondanks de heterogeniteit is het nuttig kennis te verzamelen over de samenstelling van de zaadvoorraad in de bouwvoor, de kiemingsbiologische eigenschappen van de zaadpopulaties daarin, de diagnose en prognose van de fysische omstandigheden in het zaaibed in afhankelijkheid van weersomstandigheden en op grond daarvan een voorspelling te maken over de te verwachten onkruidvegetatie. Met behulp daarvan kan dan uiteindelijk wellicht de concurrentieschade voorspeld worden in samenwerking met het te selecteren gewas en de bijbehorende teeltmaatregelen. De resultaten van dit onderzoek, aangevuld met populatie- en vegetatiedynamische informatie van de bij het systeem dominante soorten moeten bijdragen aan het ontwikkelen van teeltsysteemmodellen waarbij kennis uit de onkruidkunde samen met die uit andere gewasbeschermingsspecialismen moet worden geïntegreerd met plantenteeltkundige kennis. Bij deze geïntegreerde vormen van landbouw kan zoveel mogelijk gestreefd worden naar een gewasbescherming met zo weinig mogelijk inzet van chemische middelen. Ook worden mogelijkheden verondersteld betreffende vermindering van algehele bemestingsintensiteit. Niet-chemische en preventieve maatregelen zullen daarbij in belang toenemen.

## Literatuur

Aarts, H.F.M., 1982. Onkruidonderzoek. Jaarrapport PAGV, 1982: 44–50.

Datta, S.C. & A.K. Banerjee, 1976. The weight and number of seeds produced by rice-field weeds. Pans 22: 257–260.

Karssen, C.M., 1982. Seasonal patterns of dormancy in weed seeds. In: Khan, A.A.: The physiology and

biochemistry of seed development, dormancy and germination. Elsevier Biomedical Press, Amsterdam.
Post, B.J., 1984. Physical and chemical treatments for assessing the seed bank in soil samples. 7th Intern. Symp. Weed biology, ecology and systematics. Columa-EWRS, Paris: 71–79.
Post, B.J., 1986. Factors of influence on the development of an arable weed vegetation. Proc. EWRS Symp. Stuttgart 1986. Economic Weed Control: 317–325.
Roberts, H.A. & P.M. Feast, 1971. Emergence and longevity of seeds of annual weeds in cultivated and undisturbed soil. J. Appl. Ecol. 10: 133–143.
Roberts, H.A. & P.M. Feast, 1972. Fate of seeds of some annual weeds in different depths of cultivated and undisturbed soil. Weed Res. 12: 316–324.
Salisbury, E.J., 1942. The reproductive capacity of plants. G. Bell & Sons, Londen.

## Aanbevolen literatuur

Aarts, H.F.M., C. van Ouwerkerk & J.K. Kouwenhoven, 1981. Invloed tijdstip en wijze van hoofdgrondbewerking op de structuur van de grond en de onkruidontwikkeling in suikerbieten. (Verslag van het eerste proefjaar, 1980/1981). Rapport 1981–5/PAGV, IB, Grondbew.-L.H.
Aarts, H.F.M., C. van Ouwerkerk & J.K. Kouwenhoven, 1982. Invloed tijdstip en wijze van hoofdgrondbewerking op de structuur van de grond en de onkruidontwikkeling in suikerbieten. (Verslag van het tweede proefjaar, 1981/1982). Rapport 1982–2/PAGV, IB, Grondbew.-L.H.
Aarts, H.F.M. & W.A. Dekkers, 1985. De bestrijding van onkruiden in suikerbieten; Teelthandleiding nr. 15. PAGV, Lelystad.
Andersen, R.N., 1968. Germination and establishment of weeds for experimental purposes. Weed Science Soc. America, Urbana.
Beuret, E., 1982. Auswirkung der Bodenbearbeitung auf den Unkrautsamenvorrat im Boden. Mitt. f.d. Schweiz. Landw. Gesellschaft 1, 2: 5–11.
Bewley, J.D. & M. Black, 1977, 1982. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. Vol. 1, 2. Springer-Verlag, Berlijn.
Brady, J., 1979. Biological clocks. Edward Arnold Publ., Londen.
Brenchley, W.E. & K. Warington, 1933. The weed seed population of arable soil. J. Ecol. 21: 103–127.
Cavers, P.B., 1983. Seed demography. Can. J. Bot. 61: 3578–3589.
Cherrett, J.M. & G.R. Sagar, 1977. Origins of pest, parasite, disease and weed problems. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
Cussans, G.W., R.D. Coussans & B.J. Wilson, 1986. Thresholds for weed control – the concept and their interpretation. Proc. EWRS Symp. Stuttgart 1986. Economic Weed Control: 253–261.
Ellenberg, H. 1950. Unkraut-Gemeinschaften als Zeiger für Klima und Boden. Eugen Ulmer, Ludwigsburg.
Ellenberg, H. sen., 1979. Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas, 2. Aufl. Verlag E. Golze, Göttingen.
Ellenberg, H. sen., 1985. Veränderungen der Flora Mitteleuropas unter den Einfluss von Düngung und Immissionen. Schweiz. Z. Forstwes. 136: 19–39.
France, J. & J.H.M. Thornley, 1984. Mathematical models in agriculture. A Quantitative approach to problems in agriculture and related sciences. Butterworth, Londen.
Gaugh, H.G., 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge Univ. Press, Londen.
Gordon, A.D., 1981. Classification methods for the exploratory analysis of multivariate data. Chapman and Hall, Londen.
Hagemeister, H. & R. Heitefuss, 1986. Einfluss einer unterschiedlich intensiven Unkrautbekämpfung in Getreide auf den Samenvorrat im Boden und die Verunkrautung in Folgekulturen. Proc. EWRS Symp. Stuttgart 1986. Economic Weed Control: 393–399.
Hakansson, S., 1983. Competition and production in short-lived crop-weed stands. Report 127. Swedish Univ. Agric. Sci, Uppsala.
Harper, J.L., 1960. The biology of weeds. British Ecol. Soc. Symp. no. 1. Blackwell, Oxford.

Hatfield, J.L. & I.J. Thomason, 1982. Biometeorology in integrated pest management. Academic Press, New York.

Hill, T.A., 1977. The biology of weeds. Edward Arnold Publ., Londen.

Holzner, W. & M. Numata, 1982. Biology and ecology of weeds. Dr. W. Junk Publ., 's-Gravenhage.

Knab, W. & K. Hurle, 1986. Einfluss der Grundbodenbearbeitung auf die Verunkrautung – ein Beitrag zur Prognose der Verunkrautung. Proc. EWRS Symp. Stuttgart 1986. Economic Weed Control: 309–317.

Mortimer, A.M., 1983. On weed demography. Recent Advances in Weed Research, 1983: 3–40.

Müller-Dombois, D. & H. Ellenberg, 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, New York.

Niemann, P., 1986. Mehrjährige Anwendung des Schadensschwellenprinzips bei der Unkrautbekämpfung auf einem landwirtschaftlichen Betrieb. Proc. EWRS Symp. Stuttgart 1986. Economic Weed Control: 385–393.

Numata, M., 1982. A methodology for the study of weed vegetation. In: Holzner, W. & M. Numata (Eds): Biology and ecology of weeds. Dr. W. Junk Publ., 's-Gravenhage.

Patil, G.P., E.C. Pielou & W.E. Waters, 1981. Statistical ecology. Vol. I. Spatial patterns and statistical ditributions. The Pennsylvania State Univ. Press, Londen.

Price Jones, D. & M.E. Solomon, 1974. Biology in pest and disease control. Blackwell Scientific Publ., Oxford.

Roberts, H.A., 1981. Seed banks in soils. Adv. Appl. Biol. 6: 1–55.

Roberts, H.A., 1984. Crop and weed emergence patterns in relation to time of cultivation and rainfall. Ann. Appl. Biol. 105: 263–275.

Sagar, G.R., 1974. On the ecology of weed control. In: Price Jones, D. & M.E. Solomon: Biology in pest and disease control: 42–59.

Thompson, K. & J.P. Grime, 1979. Seasonal variation in the seedbanks of herbaceous species in ten contrasting habitats. J. Ecol. 67: 893–923.

Villiers, T.A., 1975. Dormancy and the survival of plants. Edward Arnold Publ., Londen.

Zonderwijk, P., 1982. Thoughts on the ecological principles of weed sciences. Med. Fac. Landw. R.U. Gent 47, 1982.

# 2 Concurrentie

W. Joenje en M.J. Kropff

Na het definiëren en toelichten van de reikwijdte van het begrip concurrentie, wordt ingegaan op de in de praktijk belangrijke effecten. Onderzoek naar de verantwoordelijke processen, met name de concurrentie om licht, nutriënten en water, leidt tot begrip van de effecten van concurrentie en tot modelmatige en soms ook in de praktijk gebruikte begrippen als schadedrempel en kritieke periode.

## 2.1 Inleiding

Onkruid, kortweg lastige of schadelijke plantengroei, kan op verschillende wijzen deze last of schade veroorzaken. In landbouwgewassen is de schade echter allereerst het gevolg van concurrentie tussen onkruid en gewas om de groeibepalende of -beperkende factoren licht, water en nutriënten. Daarnaast kan de financiële opbrengst worden verlaagd door verontreiniging van het produkt, bijvoorbeeld teveel onkruidzaden in een partij graszaad of teveel van de voor koeien giftige zwarte nachtschade (*Solanum nigrum*) in kuilmaïs. Ook kunnen onkruiden belemmeringen vormen bij de oogst (kleefkruid – *Galium aparine* – in tarwe) of bij de verwerking (hogere tarra bij bieten).

In dit hoofdstuk ligt de nadruk op het eerstgenoemde aspect: de opbrengstverlaging van landbouwgewassen door concurrentie tussen gewas en onkruiden.

In de huidige landbouw is een aanzienlijke inspanning gericht op het vermijden van onkruidconcurrentie door een arsenaal van preventieve en curatieve ingrepen. Toepassing van herbiciden heeft de vanouds mechanische bestrijdingsmethoden in hoge mate vervangen. Nog steeds echter kan onkruidbestrijding afhankelijk van de teelt en omstandigheden wel 10 – 20 % van de baten in beslag nemen. Zo bedragen de kosten voor onkruidbeheersing in Nederland voor tarwe 5 – 10 % en voor suikerbieten 15 – 25 % van de financiële opbrengst. De toenemende kosten, mede veroorzaakt door de ontwikkeling van resistentie bij onkruiden, bijvoorbeeld tegen atrazin, en de sterker aan de dag tredende milieubezwaren dwingen tot het ontwikkelen van alternatieven. Daarbij is de verwachting dat beter inzicht in de concurrentie tussen gewas en onkruid de mogelijkheid verschaft om nauwkeuriger de noodzaak tot bestrijden in een specifieke situatie en de aard van de maatregel(en) vast te stellen. In de derde wereld is het te bebouwen areaal veelal zelfs beperkt door de daar beschikbare en gangbare arbeidsinspanning voor onkruidbestrijding; grote opbrengstverliezen treden op, omdat men vaak te laat begint met bestrijdingsmaatregelen. Ook hier kan met een beter uitgekiende bestrijding, gebaseerd op inzicht in concurrentie tussen gewas en onkruid, nog veel gewonnen worden.

## 2.2 Concurrentie tussen planten

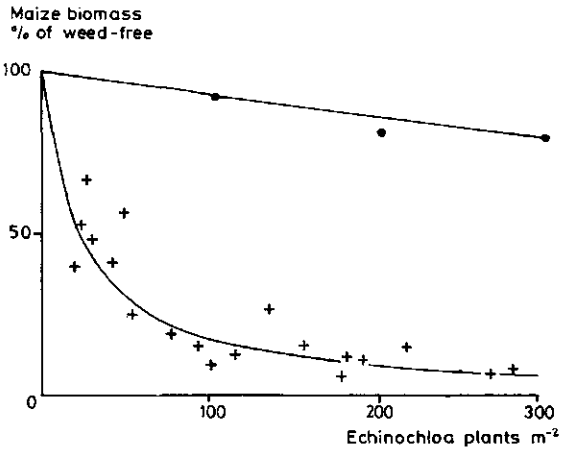
Concurrentie is een zeer algemeen begrip, waarbij het steeds gaat om in ruimte en tijd samenvallende gelijke aanspraken. Planten benutten zonlicht, nutriënten en water in een bepaald temperatuurtraject voor de vorming van biomassa. Bij concurrentie gaat het om een proces, waarbij een bepaalde hoeveelheid licht, water en nutriënten of door het ene of door het andere individu wordt opgenomen. Wat we in de praktijk zien is echter het uiteindelijk resultaat van concurrentie: op akkers en in produktiegraslanden, maar ook in aangrenzende vegetaties zoals bermen. In éénjarige teelten gaat het vooral om oogstderving door concurrentie, in grasland veelal ook om al of niet gewenste verschuivingen in soortensamenstelling door concurrentie. In permanente, meer gesloten vegetaties acht men concurrentie (om licht) zelfs de belangrijkste doodsoorzaak voor kiemplanten; eenjarigen, zoals vele akkeronkruiden, gaan hier ten onder. Het dicht opeen groeien vereist aanpassingen aan concurrentiedruk. Dit leidt tot het samen voorkomen van soorten met verschillende behoeften, levensvormen en fenologische 'timing'. Onkruiden zijn hier de ongewenste soorten, die bij bepaalde beheersvormen over de jaren dominant worden en tot soortenarme vegetaties leiden (grote brandnetel (*Urtica dioica*), akkerdistel (*Cirsium arvense*), sommige grassen (Gramineae), soms fluitekruid (*Anthriscus sylvestris*)). Toepassing van andere beheersvormen kan dominantie verminderen en de verscheidenheid aan soorten verhogen.

In het volgende zullen we ingaan op in de praktijk optredende effecten van concurrentie tussen gewas en onkruid, waarna onderliggende mechanismen worden besproken. Aansluitend wordt ingegaan op de begrippen 'kritieke periode' en 'schadedrempel', en op de behoefte aan betere methoden om effecten te kunnen voorspellen en de onderzoeksperspectieven daarbij. Steeds terugkerende vragen betreffen de mate waarin het oogstverlies wordt bepaald door dichtheid, biomassa, opkomstdata van onkruid en gewas en de wijze waarop het effect wordt beïnvloed door de weersgesteldheid en bestrijdingsmaatregelen.

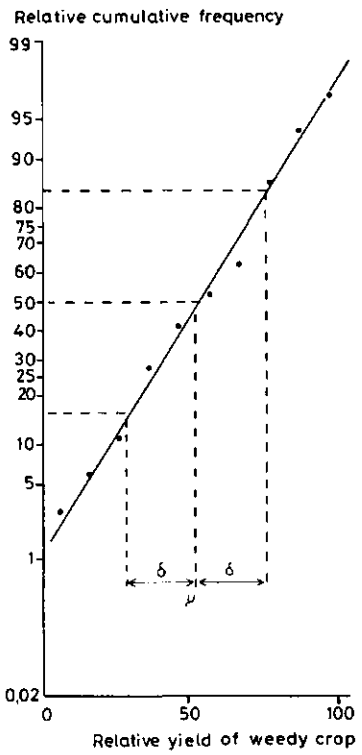
### *2.2.1 Opbrengstreductie door onkruiden*

Onkruiden kunnen de opbrengst van een gewas aanzienlijk reduceren (Zimdahl, 1980). Zo had bijvoorbeeld een dichtheid van 18 planten van hanepoot per $m^2$ (*Echinochloa crus galli*) in een maïsgewas in 1983 een oogstreductie van 50 % tot gevolg (figuur 2.1). Dit effect is echter sterk afhankelijk van allerlei omstandigheden: het jaar ervoor werd bij 300 hanepootplanten per $m^2$ slechts een geringe opbrengstreductie gevonden. Een ander voorbeeld is afkomstig uit de natte teelt van rijst, waar de inundatie soms een behoorlijke bestrijding levert. Het achterwege laten van verdere onkruidbestrijdingsmaatregelen kan echter tot aanzienlijke oogstdepressies leiden (figuur 2.2).

In de graanteelt van de gematigde streken is door de hoge concurrentiekracht van het gewas (het gewas sluit zich al snel in het voorjaar) een enkele bestrijdingsmaatregel



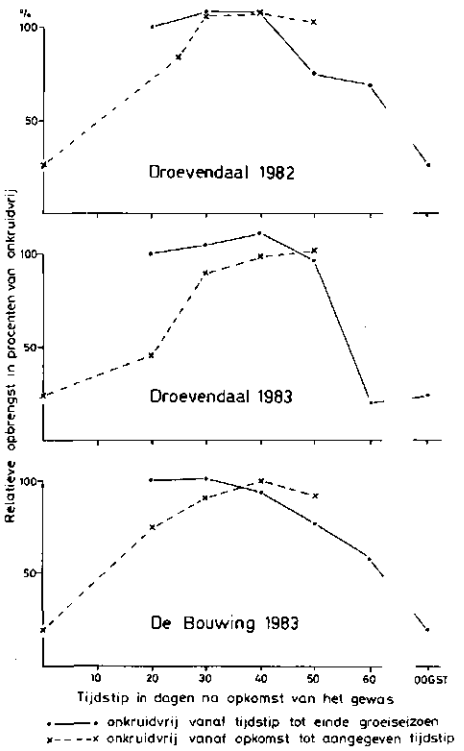

Figuur 2.1. Eindopbrengst van maïs, uitgedrukt als percentage van de onkruidvrije controle in 1982 (●) en 1983 (+), in relatie met begindichtheden van *Echinochloa crus-galli* (hanepoot) (uit Kropff et al., 1984).




Figuur 2.2. De cumulatieve frequentie van de relatieve opbrengst van niet-gewiede natte rijst, uitgezet op normaal waarschijnlijkheidspapier. Gemiddelde relatieve opbrengst ($\mu$) en standaarddeviatie ($\delta$) geven een maat voor het concurrentievermogen van een gewas (uit Van Heemst, 1985).

vaak al effectief. Uit de resultaten van een groot aantal veldexperimenten in Nederland bleek dat het achterwege laten van onkruidbestrijdingsmaatregelen in wintertarwe in veel gevallen geen opbrengstreductie oplevert (De Groot, Van Gerwen & Spitters, persoonlijke mededeling). Dit geeft aan dat gebruik van vuistregels als 'economische schadedrempel' (de onkruiddichtheid van een soort, waarbij de kosten van bestrijding gelijk zijn aan de ervan verwachte financiële meeropbrengst) voor de teelt van wintertarwe perspectieven biedt. Zo'n regel gaat uit van een kwantitatieve relatie tussen onkruiddichtheid en de schadeomvang. De relatie tussen onkruiddichtheid en opbrengstverlies is echter geen algemeen geldende relatie zoals blijkt uit figuur 2.1. Het is daarom van groot belang voor praktische toepassing van dergelijke regels, dat er schaderelaties worden ontwikkeld, waarmee het opbrengstverlies nauwkeuriger kan worden voorspeld dan met de tot nu toe gehanteerde relatie tussen onkruiddichtheid en opbrengstverlies. Een ander belangrijk aspect is de produktie van onkruidzaden die toe zal nemen bij het toepassen van dergelijke regels. Vaak vormen de problemen die deze onkruiden in volgteelten kunnen veroorzaken de motivatie om onkruiden in gewassen zoals wintertarwe te bestrijden. Het is dus belangrijk om niet alleen de opbrengstverliezen door onkruiden te kunnen voorspellen, maar ook de problemen in volggewassen te kunnen aangeven.

De kritieke periode voor onkruidbestrijding betreft een andere empirische regel. In



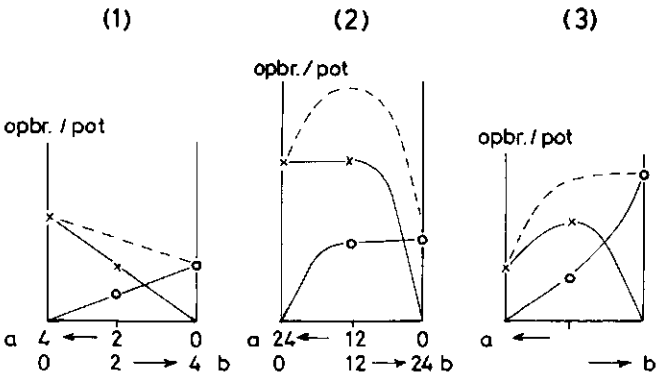

Figuur 2.3. De kritieke periode voor onkruidbestrijding in suikerbieten (De Groot & Groeneveld, 1986).

veel teelten is met veldexperimenten aangetoond dat onkruiden kunnen worden toegelaten tot een bepaald tijdstip; in de erop volgende periode dient het gewas onkruidvrij te blijven, waarna tenslotte vanaf een zeker tijdstip nieuw optredende onkruiden geen schade meer kunnen aanrichten (figuur 2.3). De kritieke periode varieert uiteraard per gewas, per klimaatsgebied, per jaar, per voedingstoestand, enz. (De Groot & Groeneveld, 1986). Soms is er geen kritieke periode aan te geven en kan er met één bestrijding worden volstaan.

### *2.2.2 Kwantificering van concurrentie-effecten*

Onderzoek naar de interacties tussen individuen van verschillende soorten kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. Twee veel gebruikte benaderingen zijn: vervangings- en additiereeksen. Door wiskundige analyse van vervangingsreeksen (De Wit, 1960), waarbij twee soorten in mono- en mengcultures bij eenzelfde totale plantdichtheid worden gekweekt, kan de concurrentiekracht van de soorten ten opzichte van elkaar (in die experimentele situatie) worden gekwantificeerd; ook verdringing kan daarmee worden voorspeld bij overblijvende soorten en bij eenjarige soorten na herhaalde uitzaai, maar dit alles onder een gegeven set van proefomstandigheden (figuur 2.4). De uitkomst kan onder andere – wisselende – veldomstandigheden (droogte, strenge winter, enz.) sterk verschillen; een gedoodverfde verliezer kan zich dan bijvoorbeeld toch handhaven.

Het probleem blijft dat bij eenzelfde einddichtheid de effecten van intra- en interspecifieke concurrentie niet te scheiden zijn. Additieve experimenten, waarvan in het voorgaande al voorbeelden zijn genoemd, komen aan dit bezwaar tegemoet en benaderen beter de realiteit van onkruiden op een akker. Hier wordt bij een vaste dichtheid van de ene soort (het gewas) de dichtheid van de ander (het onkruid) gevarieerd. De wiskundige analyse van dergelijke additieve experimenten met regressiemodellen wordt in de Appendix uiteengezet (Spitters, 1983; Firbank & Watkinson, 1985). In de




Figuur 2.4. Vervangingsdiagrammen en relatieve opbrengsttotalen: 1. soorten even sterk; 2. geen concurrentie; 3. soort a gestimuleerd door soort b.

afgelopen jaren is deze benadering verder uitgewerkt door Cousens (in voorbereiding) die de relatieve opkomstdatum van het onkruid (dat is de periode tussen gewas- en onkruidopkomst) in de modellen voor de analyse van additieve reeksen heeft verwerkt, waardoor deze regressiemodellen voor meer uiteenlopende situaties gebruikt kunnen worden. De genoemde kwantitatieve benaderingen zijn echter descriptief, waardoor er veel gegevens van veldexperimenten nodig zijn om de waarden van de parameters af te leiden. Een geheel nieuwe benadering voor het kwantificeren van gewas-onkruid-interacties is beschreven in hoofdstuk 3. Het gaat hierbij om modellen die de concurrentie tussen gewas en onkruid simuleren op grond van zeer gedetailleerd inzicht in de achterliggende mechanismen op procesniveau.

## 2.3 Concurrentiemechanismen

De vraag naar de oorzaken van concurrentie-effecten leidt tot oecofysiologisch onderzoek. Hoe komt de verdeling van beperkt aanwezige nutriënten, van licht en water tot stand? Dit leidt tot experimenten met mono- en mengcultures op proefvelden, in potten of in watercultures waarin de milieufactoren worden gevarieerd. Aansluitend komen er vragen over de snelheid en de efficiëntie van opname, over de retentie, het gebruik en de redistributie van nutriënten en fotosyntheseprodukten in de plant, reserve-organen, morfologische ontwikkeling van spruit of wortel, eindhoogte, bladoppervlak en reproduktie. Soorten verschillen in vele van de genoemde eigenschappen en processen. Op een Nederlandse akker is aan water en nutriënten veelal geen gebrek, zodat groei vooral wordt bepaald door de invloed van heersende licht- en temperatuurregimes.

### *2.3.1 Licht*

Concurrentie tussen onkruid en gewas spitst zich dan toe op de interceptie van licht. De resterende lichthoeveelheid bedraagt onderin een gesloten gewas bij normale $CO_2$-concentratie nog slechts 1–4 % van het volle zonlicht. Lichtcompensatie (assimilatie = dissimilatie) treedt meestal op bij circa 2 % van het volle zonlicht (Radosevich & Holt, 1984). Onkruid onderin een gewas is veelal niet meer schadelijk, omdat het nauwelijks kan groeien. Bij de concurrentie om licht zijn de snelheid van bladgroei en de hoogtegroei dan ook zeer belangrijke soorteigenschappen. Daarnaast is de relatieve startpositie van de soorten van belang. De relatieve verschillen in biomassa tussen exponentieel groeiende (vrijstaande) planten van soorten met dezelfde relatieve groeisnelheid (rgr) blijven constant. Als een uit meer soorten bestaand gewas zich sluit zullen relatieve verschillen ook constant blijven, omdat de relatieve lichtinterceptie in het gesloten gewas gelijk zal zijn aan de biomassaverhoudingen. Een verschil in rgr kan er echter toe leiden dat een soort wordt 'ingehaald' of steeds meer voorsprong krijgt. Snelle bladontplooiing leidt tot snellere groei en, bij investering van nieuwe biomassa in nieuw blad, ook tot meer interceptie van licht.

Gezien het grote belang van de lichtinterceptie wekt het geen verbazing dat niet

alleen de snelheid van de groei van het bladoppervlak, maar vooral ook de hoogtegroei van de soorten de concurrentieverhoudingen bepalen (Grime, 1979; Spitters & Aerts, 1983). Zo bleek uit proeven dat melganzevoet (*Chenopodium album*) met minder bladoppervlak dan muur (*Stellaria media*), maar met een sterkere hoogtegroei, de opbrengst van suikerbieten sterker reduceert.

### *2.3.2 C3- en C4-planten*

Een bijzonder verschil in de benutting van licht, koolzuur en water bestaat tussen twee groepen plantesoorten met respectievelijk een C3- en een C4-assimilatiesysteem. Planten uit de C4-groep hebben een veel efficiënter mechanisme voor de omzetting van $CO_2$ tot glucose. Met name door de werking van het enzym PEP-carboxylase met hoge affiniteit voor $CO_2$ wordt een opslag van C4-carbonzuren gevormd, die in de bundelschedecellen hun $CO_2$ weer afgeven. Daarnaast hebben C4-soorten een grotere efficiëntie in watergebruik (stomata kunnen verder gesloten zijn zonder dat $CO_2$-tekorten optreden).

Het C4-voordeel van hogere groeisnelheid bij lage transpiratie bestaat vooral bij hogere temperaturen. Onkruiden in de tropen zijn dan ook meestal C4-planten; in de gematigde streken vinden we vooral C3-soorten. Zo zijn bieten (C3) in warmere streken slecht bestand tegen concurrentie met amarant (*Amaranthus*) (C4) terwijl maïs (C4) in koudere streken zwakker is dan melganzevoet (*Chenopodium album*) (C3), (Pearcy et al., 1981).

### *2.3.3 Nutriënten en water*

Bij minder optimale omstandigheden, zoals bij droogte en nutriëntentekort, komen bepaalde soorten onkruiden door efficiënter gebruik van water en nutriënten meer naar voren. In een minder goed groeiend gewas leveren deze onkruiden dan schade.

Concurrentie om nutriënten en water begint al voordat concurrentie om licht optreedt: de wortelstelsels van de onkruiden dringen al snel door in de wortelzone van een gewasplant en omgekeerd (Pavlichenko, 1940). Van de aanvankelijk nog ruime hoeveelheid nutriënten en water wordt een zeker deel in onkruidbiomassa vastgelegd respectievelijk verdampt. De hoeveelheid water en/of nutriënten raakt sneller uitgeput en de concurrentieschade wordt zichtbaar. Zo vormde eertijds in Nederland spurrie (*Spergula arvensis*), met zijn uitzonderlijk hoge transpiratiecoëfficiënt een bedreiging op de arme, droge zandgronden. In de tropen is deze waterverspilling door onkruiden vaak een belangrijke oorzaak van oogstdepressies.

## 2.4 Onderzoekperspectieven

In het lopend onderzoek van concurrentiemechanismen tussen onkruiden en gewas richt de aandacht zich met name op de ontwikkeling van onkruidplanten (morfogenese).

Evenals voor de belangrijkste gewassen een ontwikkelingsschaal is opgesteld, waarbij stadia zijn gecorreleerd met temperatuursom, daglengte enz., is nu een begin gemaakt met een dergelijke analyse van enkele onkruidsoorten. Daarbij is behalve de kiemingsbiologie (en de uiteenlopende invloeden van verschillende grondbewerkingsmethoden) de vorming van afzonderlijke bladeren, de vertakkingsgraad en de hoogte van belang. Doel is enerzijds het verkrijgen van beter inzicht in de wijze waarop een in de plant erfelijk aangelegd bouwplan bij gegeven milieu-omstandigheden tot ontwikkeling komt en anderzijds het vaststellen van de betekenis van de relatieve opkomstdatum en van de dichtheden van onkruidsoort en gewasplanten, in samenhang met soorteigenschappen en milieufactoren.

Dat deze aspecten in de concurrentie een belangrijke rol spelen, is hierboven toegelicht. De simulatie van elk ervan is reeds met redelijke resultaten ter hand genomen (hoofdstuk 3).

## Samenvatting

De samenvattende conclusie uit het voorgaande met betrekking tot de praktijk is, dat het mogelijk moet zijn om op grond van meer inzicht in de concurrentie tussen gewas en onkruid, een efficiëntere en goedkopere onkruidbeheersing te realiseren, waarbij het gebruik van herbiciden gereduceerd kan worden. Daarbij zijn de volgende vragen van belang: Kan het effect van onkruiden op een gewas voldoende nauwkeurig worden voorspeld op grond van eenvoudig uit te voeren waarnemingen vroeg in het groeiseizoen? Kunnen eventuele problemen in volggewassen worden voorspeld in situaties waarbij de onkruiden niet volledig worden bestreden? Is het mogelijk met een beperkter inzet van chemische middelen de onkruiden afdoende te bestrijden na opkomst van het gewas?

## Literatuur

Firbank, L.G. & A.R. Watkinson, 1985. On the analysis of competition within two-species mixtures of plants. J. Appl. Ecol. 22: 503–517.

Grime, J.P., 1979. Plant strategies and vegetation processes. John Wiley & Sons, New York.

Groot, W. de & R.M.W. Groeneveld, 1986. Onkruidbestrijding in suikerbieten in relatie tot het begin van de kritieke periode voor onkruidconcurrentie. Gewasbescherming 17: 171–178.

Heemst, H.D.J. van, 1985. The influence of weed competition on crop yield. Agricultural Systems 18: 81–93.

Kropff, M.J., F.J.H. Vossen, C.J.T. Spitters & W. de Groot, 1984. Competition between a maize crop and a natural population of *Echinochloa crus-galli* (L.) P.B. Neth. J. Agric. Sci. 32: 324–327.

Pavlichenko, T.K., 1940. Investigations relating to weed control in Western Canada. Herbage Publ. Serv. Bull. 27. Aberystwyth, Wales.

Pearcy, R.W., N. Tumosa & K. Williams, 1981. Relationship between growth, photosynthesis and competitive interactions for C3 and a C4 plant. Oecologia 48: 371–376.

Radosevich, S.R. & J.S. Holt, 1984. Weed ecology. John Wiley & Sons, New York.

Spitters, C.J.T., 1983. An alternative approach to the analysis of mixed cropping experiments. I. Estimation of competition effects. Neth. J. Agric. Sci. 31: 1–11.

Spitters, C.J.T., M.J. Kropff & W. de Groot, 1989. Use of the hyperbolic yield density equation. Ann. Appl. Biol. 115: 541-551.

Spitters, C.J.T. & R. Aerts, 1983. Simulation of competition for light and water in crop-weed associations. Asp. Appl. Biol. 4: 467 – 483.

Wit, C.T. de, 1960. On competition. Versl. Landb. Onderz. 66: 1 – 82.

Zimdahl, R.L., 1980. Weed crop competition: a Review. International Plant Protection Centre, Corvallis, Oregon.

## Appendix

*Additieve experimenten*

De wiskundige analyse van additieve experimenten is in principe analoog aan de analyse van vervangingsreeksen (De Wit, 1960; Spitters, 1983; Spitters et al., 1989).

De eenvoudigste vorm van concurrentie is die tussen planten van dezelfde soort. Deze intraspecifieke concurrentie kan worden gekarakteriseerd met een rechthoekige hyperbool (figuur A)

$$Y = \frac{N}{b_0 + b_1 N} \tag{1}$$

$$\text{of } \frac{1}{W} = \frac{N}{Y} = - = b_0 + b_1 N \tag{2}$$

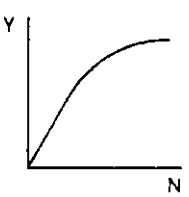



Fig. A

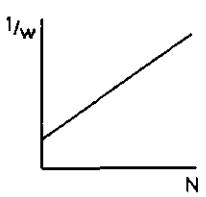



Fig. B

Hierin is Y de biomassa ($gm^{-2}$), N de plantdichtheid ($m^2$), W is het gemiddelde per-plantgewicht (g $plant^{-1}$), en zijn $b_0$ en $b_1$ regressiecoëfficiënten. De relatie tussen het inverse per-plantgewicht en de plantdichtheid is lineair (1/W) en dus eenvoudig vast te stellen. Als N nadert tot oneindig, nadert Y tot $1/b_1$; deze hoeveelheid geeft de biomassaproduktie per eenheid grondoppervlak. De waarde $1/b_0$ ($N \rightarrow 0$) is het gewicht van een vrijstaande plant (figuur B). Door planten van dezelfde soort toe te voegen wordt 1/W additief beïnvloed. Dit suggereert dat 1/W ook additief beïnvloed wordt door het toevoegen van planten van een andere soort. Voor een gewas met onkruiden betekent dat:

$$\frac{1}{W_g} = b_0 + b_{gg}N_g + b_{go}N_o$$

waarin $W_g$ het per-plantgewicht is van het gewas, $N_g$ het aantal gewasplanten, $N_o$ het aantal onkruidplanten. Een dergelijke vergelijking kan ook worden afgeleid voor het per-plantgewicht van een onkruid. De verhouding $b_{gg}/b_{go}$ is een maat voor de concurrentiekracht van het gewas ten opzichte van het onkruid. Het geeft aan hoeveel onkruidplanten moeten worden toegevoegd om hetzelfde effect op 1/W te hebben als wanneer 1 gewasplant wordt toegevoegd. Deze relatie kan worden uitgebreid voor meer soorten.

# 3 Simulatiemodellen in de onkruidkunde

M.J. Kropff en C.J.T. Spitters †

## 3.1 Inleiding

In het landbouwkundig onderzoek wordt veel gebruik gemaakt van modellen. De meeste modellen die worden toegepast, hebben een beschrijvend karakter: de experimentele waarnemingen worden beschreven met een empirische regressievergelijking. Een goed voorbeeld van zo'n beschrijvend model is de hyperbolische vergelijking voor de relatie tussen gewasopbrengst en onkruiddichtheid, waarmee het concurrentie-effect van onkruiden op gewassen kan worden gekwantificeerd (Spitters, 1983; Spitters et al., 1989). Deze vergelijking is zeer geschikt om resultaten van additieve experimenten, waarbij alleen de onkruiddichtheid wordt gevarieerd, te beschrijven. Het voorspellend vermogen van deze regressiemodellen is matig, omdat de concurrentie-invloed van onkruiden op de gewasproduktie van jaar tot jaar sterk kan verschillen, met name door verschillen in relatieve startpositie van het onkruid ten opzichte van het gewas en door verschillen in weersomstandigheden (Kropff et al., 1984; Spitters, 1984). Ook geven dergelijke modellen geen inzicht in de achterliggende mechanismen van de concurrentie-effecten, dat wil zeggen, zij zijn niet verklarend.

In de afgelopen decennia is in het landbouwkundig onderzoek een tweede type modellen ontwikkeld (simulatiemodellen), die een verklarend karakter hebben. In deze modellen vormen de processen die zich in het systeem (bijvoorbeeld een gewas) afspelen, de basis van het model. Zo wordt de groei van een gewas gesimuleerd door de snelheden van fotosynthese, transpiratie en respiratie te berekenen op grond van de weersomstandigheden en gewaseigenschappen. De groei van het gewas wordt op deze wijze verklaard vanuit de kennis van de fysiologische processen die aan de gewasgroei ten grondslag liggen en vanuit de invloed van milieufactoren op deze processen (De Wit et al., 1978). Het voordeel van verklarende modellen in vergelijking met beschrijvende modellen is dat ze inzicht geven in de achtergronden van de processen en geldig zijn voor een brede range van milieufactoren.

Op het gebied van de onkruidkunde zijn in de afgelopen jaren simulatiemodellen ontwikkeld voor verschillende aspecten van de onkruidproblematiek. Modellen voor de concurrentie tussen gewas en onkruid om de essentiële groeifactoren licht, water en nutriënten zijn het verst ontwikkeld en getoetst met de resultaten van diverse veldexperimenten (Spitters & Aerts, 1983; Kropff et al., 1984; Spitters, 1984; Kropff, 1988a; Spitters, 1989). Modellen voor het effect van parasitaire onkruiden, zoals de bremraap (*Orobanche crenata*), op gewassen (Kropff & Schippers, 1986) en de populatiedynamiek en kieming van onkruiden (Spitters, 1989) verkeren nog in een voorlopig stadium. In dit hoofdstuk worden slechts de modellen voor gewas-onkruidconcur-

rentie besproken. De gedetailleerde modellen zijn in eerste instantie gericht op het verkrijgen van inzicht in de onderliggende mechanismen en op verklaring van in het veld waargenomen verschijnselen. Zo kunnen deze modellen worden gebruikt om de oorzaken van verschillen in concurrentie-effecten tussen veldexperimenten te analyseren.

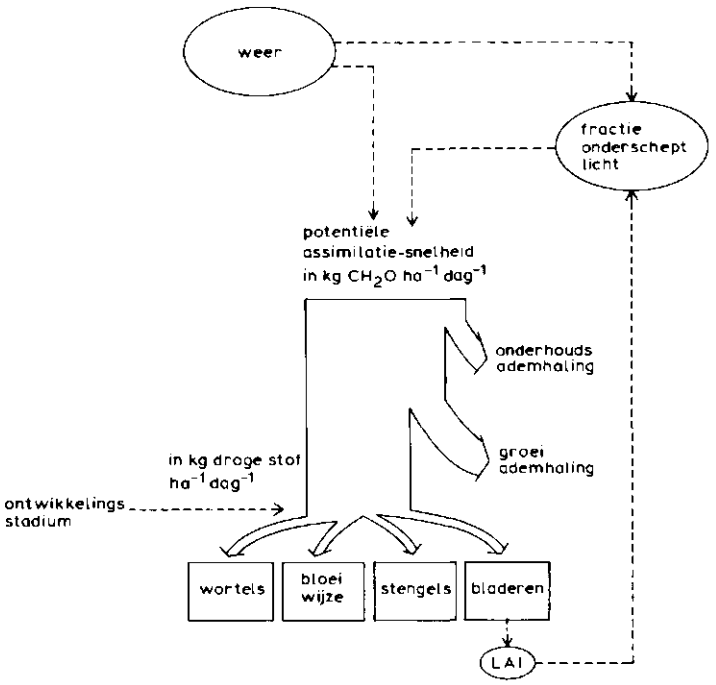
De structuur van deze ingewikkelde modellen zal kort worden besproken en de toepassingsmogelijkheden zullen worden geïllustreerd aan de hand van een concreet geval waarin de concurrentie tussen suikerbiet en melganzevoet (*Chenopodium album*) wordt geanalyseerd. Vervolgens wordt een eenvoudig simulatiemodel besproken, dat is afgeleid van de gedetailleerde modellen. Dergelijke 'samenvattende' modellen zijn zeer instructief en kunnen worden gebruikt voor de ontwikkeling van effectievere adviessystemen voor onkruidbeheersing.

## 3.2 Simulatie van gewas-onkruidconcurrentie

De modellen voor gewas-onkruidconcurrentie zijn gebaseerd op de eerder ontwikkelde modellen voor gewasgroei (De Wit et al., 1978; Penning de Vries & Van Laar, 1982). Concurrentie tussen verschillende soorten wordt gemodelleerd door de groeibeperkende factoren licht, water en nutriënten over de soorten te verdelen. De bereikte groeisnelheid van de soorten wordt met de procedures van gewasgroeimodellen berekend op basis van de hoeveelheid geabsorbeerde straling en/of de opgenomen hoeveelheid water en nutriënten. Voor een volledige beschrijving van dit type modellen verwijzen we naar Spitters & Aerts (1983) en Spitters (1989). In dit hoofdstuk zal slechts de situatie in beschouwing worden genomen waarbij water en nutriënten optimaal aanwezig zijn.

### *3.2.1 Simulatie van gewasgroei in monocultuur: algemene structuur*

Het gewasgroeimodel simuleert de potentiële groei van gewassen als een functie van inkomende dagelijkse straling, temperatuur en gewaseigenschappen (figuur 3.1). In deze situatie zijn water en nutriënten in voldoende mate aanwezig en wordt het gewas verondersteld vrij te zijn van ziekten en plagen. De berekeningen uit figuur 3.1 worden voor elke dag in het groeiseizoen herhaald. De potentiële $CO_2$-assimilatiesnelheid van een gewasdek wordt berekend op grond van de inkomende fotosynthetisch actieve straling, de 'Leaf Area Index' (LAI in $m^2$ blad per $m^2$ grond), de temperatuur en de soortspecifieke $CO_2$-assimilatie-lichtresponscurve van individuele bladeren. De dagelijks inkomende straling, gemeten op een nabij gelegen weerstation, wordt ingevoerd als het model gebruikt wordt voor de analyse van een experimentele dataset. Het gewas wordt in verschillende lagen verdeeld en per gewaslaag wordt de geabsorbeerde straling berekend. Op grond van de geabsorbeerde straling kan dan per gewaslaag de $CO_2$-assimilatie worden berekend. Door de $CO_2$-assimilatie te integreren over de gewaslagen wordt de dagelijkse $CO_2$-assimilatie van het gewas verkregen (voor een gedetailleerde beschrijving verwijzen wij naar Spitters et al., 1989). De berekende $CO_2$-assimilatie van het gewas wordt uitgedrukt in koolhydraten door de




Figuur 3.1. Schematische voorstelling van een simulatiemodel voor gewasgroei.

$CO_2$-assimilatie te vermenigvuldigen met 30/44 (de verhouding van de molecuulmassa's van $CH_2O$ en $CO_2$). De groeisnelheid van het gewas wordt gesimuleerd door de verliezen als gevolg van onderhouds- en groeiademhaling in rekening te brengen. De verliezen die samenhangen met herstelprocessen (membranen, eiwitten) en het handhaven van ion-gradiënten over membranen worden aangeduid met de term onderhoudsademhaling. Deze wordt evenredig verondersteld met de biomassa. De verliezen die samenhangen met de omzetting van koolhydraten in andere verbindingen (conversie tot structurele drogestof) worden aangeduid met de term groeiademhaling. Voor vegetatief plantmateriaal is de conversiefactor ongeveer 0,7 g drogestof per g gevormde koolhydraten. Samenvattend kan de volgende vergelijking worden opgesteld voor de groeisnelheid ($\Delta W$) van gewassen:

$$\Delta W = 0{,}7\ (A - 0{,}015\ W) \qquad (1)$$

waarin A de $CO_2$-assimilatie voorstelt (kg $CO_2$ per ha per dag) en W de biomassa (kg per ha).

De gevormde drogestof op een bepaalde dag van het groeiseizoen wordt, afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van het gewas, verdeeld over de diverse organen van het gewas. Deze hoeveelheden worden opgeteld bij de reeds gevormde biomassa. De 'Leaf Area Index' wordt berekend door het berekende bladdrooggewicht te verme-

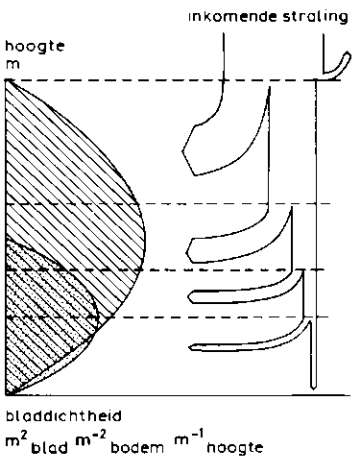
nigvuldigen met een empirisch bepaalde factor: de 'Specific Leaf Area' ($m^2$ blad per g blad). In het begin van het groeiseizoen wordt de bladoppervlakte-ontwikkeling echter niet bepaald door de biomassatoename, maar door de temperatuur, omdat de bladeren elkaar niet beschaduwen en dus voldoende assimilaten kunnen produceren.

Door de gewasparameters te vervangen door soortspecifieke onkruidparameters kan de groei van onkruiden worden gesimuleerd. Het probleem hierbij is dat niet veel relevante gegevens van onkruiden beschikbaar zijn.

### *3.2.2 Simulatie van gewas-onkruidmengculturen*

Bij een goede voorziening met water en nutriënten concurreren het gewas en de onkruiden slechts om de factor licht. Er moet dan rekening worden gehouden met de ruimtelijke positie van de soorten. Naast het bladoppervlak (LAI) moet ook de hoogteontwikkeling en de verdeling van het bladoppervlak over de hoogte worden gesimuleerd. In het model wordt het gewasdek in verschillende bladlagen onderverdeeld. Op grond van het totale bladoppervlak in een bepaalde laag wordt de geabsorbeerde straling berekend. De hoeveelheid geabsorbeerde straling in een bladlaag wordt verdeeld over de concurrerende soorten op grond van het aandeel van de soorten in het effectief bladoppervlak in die bladlaag (het bladoppervlak vermenigvuldigd met een factor die aangeeft hoe efficiënt de bladeren licht absorberen, de extinctiecoëfficiënt). Vervolgens wordt per soort en per bladlaag de $CO_2$-assimilatie berekend. Integratie over de gewaslagen geeft de dagelijkse $CO_2$-assimilatie per soort. Deze rekenprocedure is grafisch weergegeven in figuur 3.2.

Modellen die concurrentie om water en/of nutriënten simuleren, bevatten een submodel waarin een water- en/of nutriëntenbalans in bodem en gewas wordt bijgehouden. Op een vergelijkbare manier als voor licht kan de hoeveelheid opgenomen water



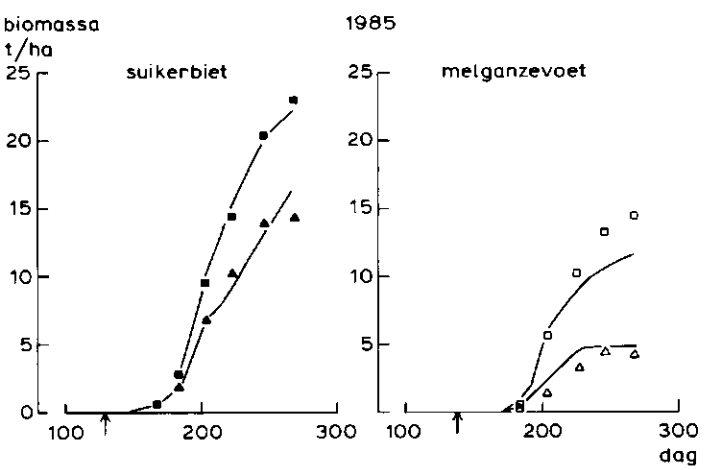

| geabsorbeerde straling $J m^{-2} s^{-1}$ | | $CO_2$ assimilatie $kg\ CO_2\ ha^{-1}\ h^{-1}$ | |
|---|---|---|---|
| sp. 1 | 2 | 1 | 2 |
| 100 | 0 | 17 | 0 |
| 45 | 5 | 11 | 2 |
| 15 | 10 | 5 | 3 |
| 6 | 6 | 2 | 2 |
| 167 | 21 | 35 | 7 |

Figuur 3.2. Schematische weergave van de berekeningswijze van concurrentie om licht in een simulatiemodel op grond van de geabsorbeerde straling per soort per bladlaag.

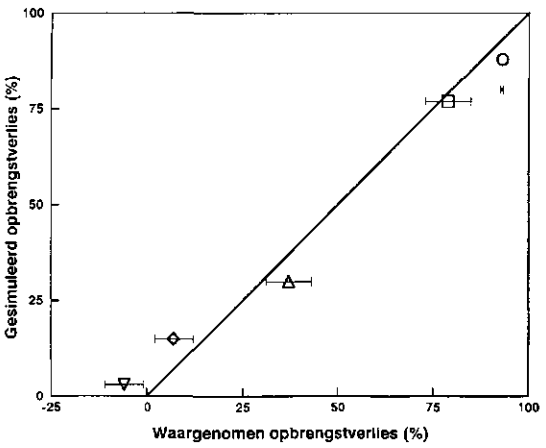
en/of nutriënten over de soorten worden verdeeld. Op grond van de hoeveelheid opgenomen water en/of nutriënten kan dan de actuele groeisnelheid van de soorten worden berekend.

### *3.2.3 Simulatieresultaten*

De gewasgroeimodellen die ten grondslag liggen aan deze concurrentiemodellen, zijn uitgebreid getoetst aan de resultaten van veldexperimenten met diverse gewassen (De Wit et al., 1978; Penning de Vries & Van Laar, 1982). De modellen voor gewas-onkruidconcurrentie zijn getoetst aan gegevens van veldexperimenten met maïs en gele mosterd (*Synapis alba*), maïs met hanepoot (*Echinochloa crus-galli*) (Spitters & Aerts, 1983; Spitters, 1984; Kropff et al., 1984) en suikerbiet en melganzevoet (*Chenopodium album*) (Kropff, 1988a,b). Uit deze studies is gebleken dat de concurrentie tussen de soorten onder goede groeiomstandigheden goed gesimuleerd wordt met de modellen, maar dat de simulatieresultaten voor situaties waarin extreme droogte voorkomt (zoals in een van de maïs-hanepootexperimenten) minder bevredigend zijn. Het effect van extreme droogte (en nutriëntentekort?) op de fysiologische processen van gewassen kan nog niet goed worden gekwantificeerd. Omdat het model voor de concurrentie tussen suikerbiet en melganzevoet het uitgebreidst is geëvalueerd, zullen we in het vervolg van dit hoofdstuk slechts de concurrentie tussen deze twee soorten bespreken. Ter illustratie wordt het gesimuleerde en het waargenomen groeiverloop van suikerbieten en melganzevoet in monocultures van elk en mengcultures van beide onder goede groeiomstandigheden weergegeven (figuur 3.3). De gebruikte soortspecifieke parame-




Figuur 3.3. Gesimuleerd en waargenomen groeiverloop van suikerbieten en melganzevoet in monocultures (vierkante symbolen) en mengcultures (driehoekige symbolen) (Wageningen, 1985). De dichtheid van suikerbieten was 11 planten per $m^2$ en van melganzevoet 11 per $m^2$ in monocultuur en 5,5 in mengcultuur met suikerbieten. De opkomst van melganzevoet vond 10 dagen na de opkomst van suikerbieten plaats (uit Kropff, 1988a).




Figuur 3.4. Gesimuleerde en waargenomen opbrengstverliezen van suikerbiet door concurrentie met melganzevoet voor 5 verschillende veldexperimenten (uit Kropff, 1988b).

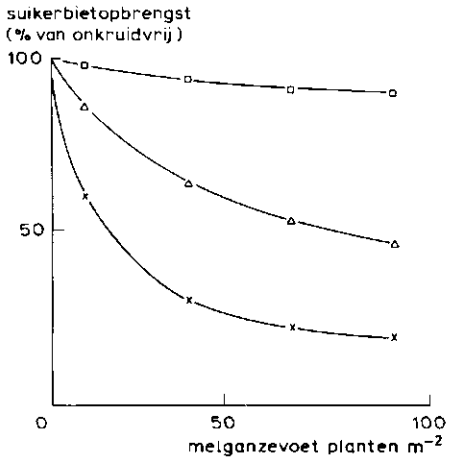
ters zijn afkomstig uit de literatuur en uit niet gepubliceerde eigen experimenten. Het groeiverloop van de suikerbieten werd nauwkeurig gesimuleerd met het model voor zowel de monocultuur als het mengsel. De groei van melganzevoet werd in monocultuur wat onderschat en in de mengcultuur wat overschat. Dit kan een gevolg zijn van de grote variabiliteit binnen de onkruidsoort waardoor de parameterschatting en biomassabepalingen onnauwkeurig zijn.

In totaal is het model geëvalueerd met de resultaten van 5 veldexperimenten waarin de concurrentie tussen suikerbiet en melganzevoet werd bestudeerd. Bij het vergelijken van modeluitkomsten met de veldwaarnemingen werd telkens met dezelfde set parameters voor soortkarakteristieken gewerkt. Slechts de weersgegevens, de opkomstdata en de plantdichtheden werden apart per experiment ingevoerd. Uit figuur 3.4 blijkt, dat de zeer sterk uiteenlopende reducties in de gewasopbrengst zeer goed met het model kunnen worden gesimuleerd. Dit geeft aan dat een dergelijk model geldig is voor zeer uiteenlopende omstandigheden.

### *3.2.4 Toepassingsmogelijkheden van het model*

Met een model dat geëvalueerd is voor sterk verschillende omstandigheden, is het mogelijk om denkbeeldige experimenten uit te voeren met het model om schaderelaties af te leiden, die experimenteel moeilijk zijn vast te stellen.

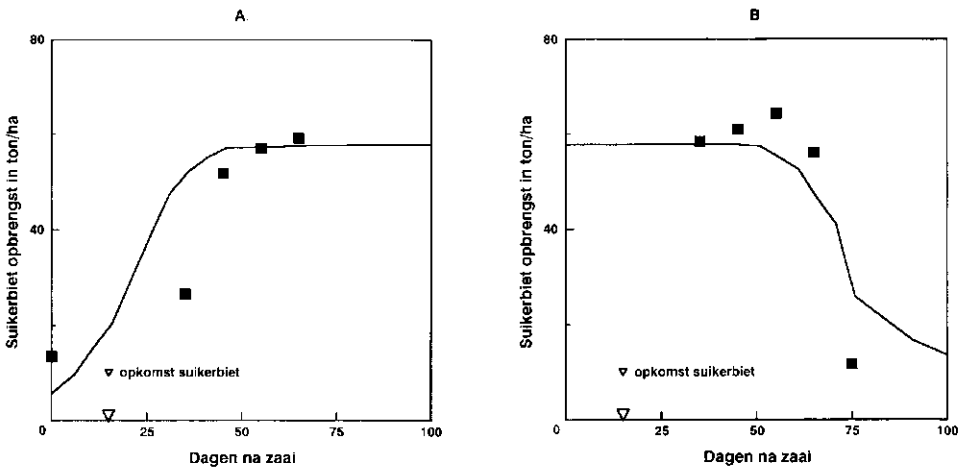
Ter illustratie zijn dergelijke theoretische experimenten uitgevoerd met het model voor suikerbiet-melganzevoetconcurrentie. In eerste instantie is de relatie tussen relatieve gewasopbrengst bij verschillende onkruiddichtheden en opkomsttijdstippen gesimuleerd voor gemiddelde weersomstandigheden, waarbij aangenomen wordt dat water in voldoende mate aanwezig is (figuur 3.5). De vorm van de gesimuleerde relatie tussen relatieve gewasopbrengst en onkruiddichtheid blijkt zeer realistisch en kan wor-




Figuur 3.5. Gesimuleerde relatie tussen suikerbieten-opbrengst en melganzevoetdichtheid op 3 tijdstippen van onkruid-opkomst. (x: 10 dagen, △: 20 dagen en □: 30 dagen na het gewas) (uit Kropff, 1988a).

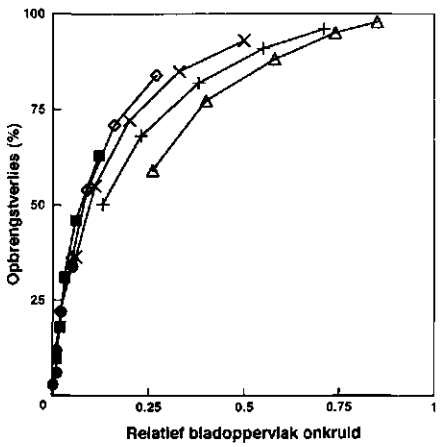
den beschreven met de hyperbolische gewasopbrengst-onkruiddichtheidsrelatie. Deze resultaten laten daarnaast duidelijk het belang van de opkomstdatum van het onkruid ten opzichte van het gewas zien. Als het onkruid 30 dagen na het gewas opkomt is er, ook bij hoge onkruiddichtheden, nauwelijks een opbrengstreductie. Bij lage dichtheden hebben de onkruiden een sterk effect op de gewasopbrengst, als het onkruid 10 dagen na de suikerbieten opkomt.

In een tweede theoretisch experiment is de zogenaamde kritische periode voor onkruidbestrijding gesimuleerd voor twee onkruiddichtheden. Figuur 3.6 laat de typi-




Figuur 3.6. Gesimuleerde en waargenomen relatieve suikerbietenopbrengst voor verschillende perioden vanaf zaai (A) zonder onkruiden en (B) met onkruiden. Veldgegevens zijn ontleend aan De Groot & Groeneveld (1986); de onkruidpopulatie bestond voornamelijk uit melganzevoet.

sche curves zien voor de relatieve gewasopbrengst bij verschillende perioden na opkomst met onkruiden en zonder onkruiden. Deze resultaten komen goed overeen met experimenteel bepaalde relaties (De Groot & Groeneveld, 1986). Voor advisering in de praktijk is het echter van belang modellen te ontwikkelen, die op grond van eenvoudig uit te voeren waarnemingen vroeg in het seizoen kunnen worden gebruikt om de schade te voorspellen. Uit voorgaande resultaten blijkt, dat voorspelling van gewasopbrengstreductie op grond van onkruiddichtheden alleen niet zinvol is, omdat de datum van opkomst een zeer belangrijke rol speelt bij het tot stand komen van de schade. Het vaststellen van de onkruiddichtheid en de datum van opkomst van de onkruiden is in de praktijk niet haalbaar, mede omdat de opkomst van onkruiden geen discrete gebeurtenis is. Met het simulatiemodel is nagegaan of het mogelijk is de schade te voorspellen op grond van de relatieve bedekking van het onkruid kort na opkomst van de suikerbieten. Hiertoe is een groot aantal simulatie-experimenten uitgevoerd waarin de onkruiddichtheden en opkomstdata over een grote range zijn gevarieerd. De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 3.7, waarin de gesimuleerde relatieve bedekking van het onkruid 30 dagen na de gewasopkomst, is uitgezet tegen de gesimuleerde opbrengstreductie. Hoewel de onkruiddichtheden en opkomstdata zeer sterk werden gevarieerd, is er toch een verband tussen de relatieve bedekking van het onkruid in het begin van het groeiseizoen en de opbrengstreductie aan het eind van het groeiseizoen. Deze manier om schade te voorspellen lijkt dus veel perspectief te bieden voor de praktijk. In deze simulatie-experimenten zijn we uitgegaan van situaties waarin melganzevoet het enige onkruid is. De relatie in figuur 3.7 laat duidelijk zien dat melganzevoet zeer veel schade kan aanrichten, zelfs in situaties waarbij de relatieve bedekking van melganzevoet 30 dagen na de gewasopkomst zeer klein is. Voor minder hoog opgroeiende onkruiden zijn de effecten veel kleiner.




Figuur 3.7. De relatie tussen de relatieve bladbedekking van melganzevoet 30 dagen na de opkomst van suikerbieten en het uiteindelijke opbrengstverlies, gebaseerd op simulatieruns waarbij de onkruiddichtheid werd gevarieerd van 5,5 tot 88 planten per $m^2$ en de periode tussen gewas- en onkruidopkomst werd gevarieerd van 0 dagen tot 35 dagen. Punten met een gelijke opkomstdatum zijn verbonden (uit Kropff, 1988b).

## 3.3 Eenvoudig model voor gewas-onkruidconcurrentie

Om meer inzicht te krijgen in de mogelijkheden voor simulatie van gewas-onkruidconcurrentie wordt in dit onderdeel een sterk vereenvoudigd model in detail besproken, dat werd afgeleid van het hierboven beschreven model door Spitters (1989). Hierbij wordt de geabsorbeerde straling van het gehele plantendek berekend en vervolgens verdeeld over de soorten waaruit het plantendek bestaat. Deze verdeling van de geabsorbeerde straling over de soorten vindt plaats op grond van het aandeel in 'effectief' bladoppervlak van een soort. De berekening van de groeisnelheid van de soorten is in dit model zeer eenvoudig uitgevoerd.

### *3.3.1 Groei van een gewas in monocultuur*

Bij een goede voorziening met water en nutriënten is de groeisnelheid van een gesloten gewas evenredig met de lichtenergie die het absorbeert:

$$\Delta W = E \times I \times (1 - e^{-k.LAI}) \tag{2}$$

Hierin is $\Delta W$ de groeisnelheid (g drogestof per $m^2$ per dag), E de efficiëntie van lichtbenutting (g drogestof per MJ), I de inkomende straling (MJ per $m^2$ per dag) en LAI is de 'Leaf Area Index'. De expressie tussen haakjes geeft de fractie van de inkomende lichtenergie weer die door het gewas wordt geabsorbeerd. Deze fractie is afgeleid van het exponentiële lichtuitdovingsprofiel in gewassen:

$$I_h = I \times e^{-k\,LAI} \tag{3}$$

Hierin is $I_h$ de lichtintensiteit op hoogte h, gerekend vanaf de top van het gewas; LAI is de 'Leaf Area Index' in $m^2$ blad per $m^2$ grond boven hoogte h en k de extinctiecoëfficiënt (−) die een maat is voor de efficiëntie waarmee het gewas licht absorbeert. De straling I is de helft van de inkomende straling zoals gemeten op weerstations (R in MJ per $m^2$ per dag), omdat slechts de helft van de straling fotosynthetisch actief is (zichtbare straling in het traject van 400−700 nm). Daarnaast moet worden gecorrigeerd voor 8 % reflectie door het gewas:

$$I = (1 - 0{,}08) \times 0{,}5\ R \tag{4}$$

De lichtbenuttingsefficiëntie (E) is voor C3-gewassen ongeveer 3 g drogestof per MJ geabsorbeerd en voor C4-gewassen (zoals maïs) 4,5 g drogestof per MJ. Deze laatste waarde is echter alleen juist bij voldoende hoge temperaturen.

Het bladoppervlak (LAI) op een bepaald tijdstip wordt berekend door de biomassa (W in g drogestof per $m^2$) te vermenigvuldigen met de LAR (de 'Leaf Area Ratio' in $m^2$ blad per g biomassa):

$$LAI = LAR \times W \tag{5}$$

De LAR wordt gegeven als functie van het ontwikkelingsstadium van de plant. Met behulp van de vergelijkingen 2, 4 en 5 wordt de groeisnelheid van het gewas per dag berekend en door integratie van deze groeisnelheid in de tijd wordt het verloop van de biomassa verkregen. Deze integratie vindt in simulatiemodellen numeriek plaats met behulp van een computer.

*3.3.2 Groei van een soort in mengcultuur*

In een mengsel van soorten, die gelijke planthoogte en geometrie (dat wil zeggen gelijke k) hebben, is de lichtabsorptie (L) van elke soort evenredig met zijn aandeel in het bladoppervlak (L1/Σ L) en zo ook zijn groeisnelheid (ΔW). De groeisnelheid van soort 1 wordt dan:

$$\Delta W_1 = E_1 \times (L_1/\Sigma L) \times I \times (1 - e^{-k\Sigma L}) \tag{6}$$

waarin L de totale LAI van de vegetatie voorstelt en $(1-e^{-k\Sigma L})$ de fractie geabsorbeerde straling. De LAI van de soort wordt berekend met vergelijking (5).

Als de soorten in een mengsel verschillen in lichtextinctiecoëfficiënt en dus per eenheid bladoppervlak meer of minder licht absorberen moet het bladoppervlak worden gewogen met de extinctiecoëfficiënt:

$$\Delta W_1 = E_1 \times (k_1 L_1/\Sigma(kL)) \times I \times (1 - e^{-\Sigma kL}) \tag{7}$$

Omdat de extinctiecoëfficiënten verschillen, is de fractie geabsorbeerde straling hier gelijk aan $(1-e^{-\Sigma kL})$.

Het is daarnaast duidelijk dat een hoger opgroeiende soort meer licht opvangt dan zijn lager blijvende buur. Een goede benadering van dit effect wordt verkregen door de relatieve lichtabsorptie van de soorten evenredig te veronderstellen met de relatieve lichtintensiteit op de helft van de hoogte der soorten (l):

$$\Delta W_1 = E_1 \times (l_1 k_1 L_1/\Sigma(lkL)) \times I \times (1 - e^{-\Sigma kL}) \tag{8}$$

De relatieve lichtintensiteit op halve hoogte van een soort kan worden berekend met behulp van vergelijking (3), onder de aanname dat het bladoppervlak homogeen is verdeeld over de hoogte (H):

$$l_1 = \exp\left(-\sum_{j=1}^{n} k_j \frac{H_j - \tfrac{1}{2}.H_1}{H_j} L_j\right) \text{ met } H_j \geqq \tfrac{1}{2} H_1 \tag{9}$$

Met bovenstaande vergelijkingen kan de dagelijkse groeisnelheid van soorten in een

Tabel 3.1. Het gesimuleerde effect van enkele soortkarakteristieken op de biomassaverhoudingen van twee soorten (Y2/Y1) aan het eind van het groeiseizoen in monocultures (mono) en mengsels (mix). De soorten zijn identiek, steeds met uitzondering van één soortkarakteristiek. Telkens is de aangegeven parameterwaarde voor soort 2 met 20% verminderd. De opbrengst in monoculture is 18,1 ton per ha.

| *Soortkarakteristiek* | *Y2, mono/Y1, mono* | *Y2, mix/Y1, mix* |
|---|---|---|
| Initiële biomassa | 0,98 | 0,80 |
| Planthoogte | 1,00 | 0,42 |
| Leaf Area Ratio | 0,88 | 0,30 |
| Lichtextinctiecoëfficiënt | 0,88 | 0,30 |
| Lichtbenuttingsefficiëntie | 0,72 | 0,30 |

mengcultuur worden berekend. Voor een wat uitgebreidere beschrijving van dit model zie Spitters (1989).

Met het hier beschreven model is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om na te gaan in welke mate de verschillende parameters de concurrentiekracht van de soorten bepalen (tabel 3.1). Uit deze tabel blijkt, dat het effect van de verschillende planteigenschappen veel sterker is voor planten in mengcultures dan in monocultures. Het effect van verschillende initiële biomassa geeft het belang aan van de relatieve startpositie van het onkruid. Het effect van morfologische en fysiologische eigenschappen blijkt uit de gevoeligheid van het model voor planthoogte, 'Leaf Area Ratio', lichtextinctiecoëfficiënt en lichtbenuttingsefficiëntie.

Het effect van herbiciden op planteigenschappen van gewas en onkruiden kan in een dergelijk model worden ingebouwd via de invloed van herbiciden op deze parameters. Ten aanzien van de modellering van het effect van herbiciden is echter nog weinig wetenschappelijke kennis verzameld.

**Samenvatting**

Naast de reeds lang toegepaste, beschrijvende modellen voor gewas-onkruidconcurrentie, zoals de hyperbolische gewasopbrengst-onkruiddichtheidrelatie, zijn er in het afgelopen decennium ecofysiologische simulatiemodellen voor de interactie tussen gewas en onkruiden ontwikkeld. Deze modellen geven inzicht in de processen die concurrentieëffecten bepalen en kunnen na uitgebreide toetsing gebruikt worden om schaderelaties af te leiden. Een eenvoudig simulatiemodel voor gewas-onkruidconcurrentie wordt gepresenteerd.

## Literatuur

Groot, W. de & R.M.W. Groeneveld, 1986. Onkruidbestrijding in suikerbieten in relatie tot het begin van de kritieke periode voor onkruidconcurrentie. Gewasbescherming 17: 171–178.

Kropff, M.J., 1988a. Simulation of crop weed competition. In: Cavelloro, R. & A. El Titi (Eds): Weed control in vegetable production. Proceedings of a meeting of the EC expert group. Balkema, Rotterdam.

Kropff, M.J., 1988b. Modelling the effects of weeds on crop production. Weed Research 28: 465–471.

Kropff, M.J., F.J.H. Vossen, C.J.T. Spitters & W. de Groot, 1984. Competition between a maize crop and a natural population of *Echinochloa crus-galli* (L.). Neth. J. Agric. Sci. 32: 324–327.

Kropff, M.J. & P. Schippers, 1986. Simulation of the growth of faba beans (*Vicia faba* L.) infested with broomrapes (*Orobanche crenata* Forstk.). In: Ter Borg, S.J. (Ed.): Proceedings of a workshop on biology and control of *Orobanche*. LH/VPO, Wageningen: 70–78.

Penning de Vries, F.W.T. & H.H. van Laar (Eds), 1982. Simulation of plant growth and crop production. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen.

Spitters, C.J.T., 1983. An alternative approach to the analysis of mixed cropping experiments. I. Estimation of competition effects. Neth. J. Agric. Sci. 31:1–11.

Spitters, C.J.T., 1984. A simple simulation model for crop weed competition. 7th Int. Symp. Weed Biol. Ecol. and Systematics. COLUMA-EWRS, Paris: 355–366.

Spitters, C.J.T., 1989. Weeds: population dynamics, germination and competition. In: Rabbinge, R., S.A. Ward & H.H. van Laar (Eds): Simulation and systems management in crop protection. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen. p. 182–216.

Spitters, C.J.T. & R. Aerts, 1983. Simulation of competition for light and water in crop weed association. App. Biol. 4: 467–484.

Spitters, C.J.T., H. van Keulen & D.W.G. van Kraalingen, 1989. A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In: Rabbinge, R., S.A. Ward & H.H. van Laar (Eds): Simulation and systems management in crop protection. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen. p. 147–181.

Spitters, C.J.T., M.J. Kropff & W. de Groot, 1989. Use of the hyperbolic yield density equation. Ann. Appl. Biol., 115: 541–551.

Wit, C.T. de et al., 1978. Simulation of assimilation, transpiration and respiration of crops. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen. 141 pp.

# 4 Oecologie en populatiedynamica

J.M. van Groenendael, S.J. ter Borg en H.F.M. Aarts

## 4.1 Inleiding

Plantenoecologie en onkruidkunde hebben met elkaar te maken, zozeer zelfs dat op wetenschapstheoretische gronden nauwelijks verschil is aan te geven tussen beide disciplines wat betreft methode en object. Onkruiden immers worden als onderzoekscategorie afgegrensd door de mens in de definitie centraal te stellen, hetgeen op filosofische gronden een kunstgreep genoemd moet worden. Dit wordt onder andere gedemonstreerd door de synoniemen die bijvoorbeeld in het Engels voor 'weed science' bestaan, zoals 'agronomic botany' en 'weed ecology' (Radosevich & Holt, 1986).

Wat beide disciplines werkelijk scheidt, zijn hun onderscheiden onderzoekstradities en onderzoeksmentaliteit. Dit verschil is wellicht het beste te illustreren met een voorbeeld ontleend aan Baker (1974). Hij stelde een lijst samen van kenmerken die in zijn ogen het 'ideale onkruid' moesten vormen (tabel 4.1). Deze oecologendroom is een nachtmerrie voor onkruidkundigen.

Ondanks deze tegenstelling, is er de laatste tijd duidelijk sprake van een toenemende integratie tussen beide vakgebieden. Ten dele is dit het gevolg van het feit dat het steeds duidelijker wordt dat de chemische methoden van onkruidbestrijding nadelige aspecten hebben, zodat men op zoek gaat naar alternatieven. Daarnaast brengt ook de sterke ontwikkeling die de plantenoecologie en in het bijzonder de populatiebiologie van planten (Harper, 1977) de laatste decennia heeft doorgemaakt, een andere aanpak binnen de mogelijkheden.

Tabel 4.1. Kenmerken van het ideale onkruid.

| |
|---|
| – Condities gunstig voor kieming in vele milieus aanwezig |
| – Intern gecontroleerde, discontinue kieming en grote overlevingsduur van het zaad |
| – Snelle groei in de vegetatieve fase en snel tot bloei komen |
| – Continue zaadproduktie zolang de groeicondities dit toelaten |
| – Zelfcompatibel maar niet compleet autogaam of apomictisch |
| – Kruisbestuiving als deze optreedt, door wind en niet gespecialiseerde bezoekers |
| – Zeer grote zaadproduktie onder gunstige condities |
| – Enige zaadproduktie onder een grote verscheidenheid van milieu-omstandigheden; plasticiteit en tolerantie |
| – Aanpassingen gericht op zaadverspreiding over korte en lange afstand |
| – Indien overjarig, sterke vegetatieve vermeerdering of herstel uit plantfragmenten |
| – Indien overjarig, dan bros, zodat de plant niet makkelijk ontworteld wordt |
| – Capaciteit om met speciale middelen interspecifieke concurrentie uit te oefenen |

Een goede operationele definitie van wat oecologie beoogt, is de volgende formulering van Krebs (1972): Oecologie is de wetenschappelijke studie van processen die de distributie (waar kan ik een soort vinden?) en abundantie (hoeveel zijn er?) van organismen bepalen. In wezen zijn distributie en abundantie gebaseerd op aantallen (0 en niet 0, respectievelijk 1 of meer) en is aantalsverandering ofwel populatiedynamica een kernbegrip in de oecologie, zoals in onderstaand schema is weergegeven:

processen → aantalsverandering → gevolgen

- abiotische standplaatsfactoren (oecofysiologie)
- biotische standplaatsfactoren (onder meer concurrentie en predatie)

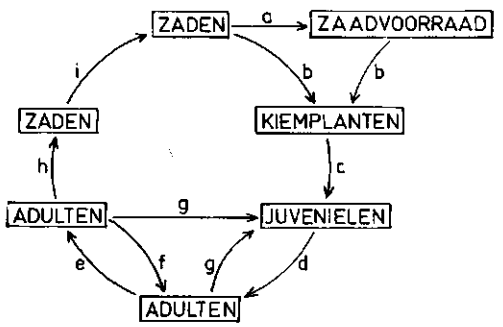
- selectie en evolutie
- patroon in de ruimte (vegetaties)
- patroon in de tijd (successie)

Om aantalsveranderingen bij een plantesoort goed te kunnen beschrijven, is het nodig om alle aspecten van de levenscyclus van de plant erin te betrekken, zoals ook al bleek uit tabel 4.1. Kwalitatief ziet zo'n levenscyclus eruit als in figuur 4.1.

Een dergelijke kwalitatieve beschrijving kan worden gekwantificeerd in een rekenkundig model, waarvoor een aantal methoden in gebruik zijn. Zo'n model kan dan gebruikt worden bij het nemen van beslissingen bij het bestrijden van onkruiden of beter bij het beheersen van onkruidpopulaties. Mutatis mutandis kan een dergelijk model ook dienen bij het beheer, casu quo het bevorderen van plantenpopulaties.

Wat zijn nu zoal de voor- en nadelen van deze oecologische benadering en welke algemene problemen dienen zich aan bij pogingen om levenscycli van planten te modelleren.

Allereerst is het misschien goed om te weten dat een populatiedynamische benadering niets nieuws is. Mortimer (1983) haalt een zekere Walter van Henley aan die rond 1300 beweerde dat '...in juli het koren gewied en distels worden uitgestoken omdat




Figuur 4.1. Schematische weergave van een levenscyclus van een plant. De pijlen zijn processen, de blokken levensstadia. a = zaadvoorraadvorming; b = kieming; c = vestiging; d = groei en concurrentie; e = bloeiinductie, bloeivorming; f = overleving bij polycarpe soorten; g = vegetatieve vermeerdering; h = bestuiving en zaadzetting; i = zaadverspreiding.

de traditie (!) wil dat als distels worden gestoken voor St. Jan (24 juni) er voor iedere uitgestoken distel 2 of 3 nieuwe distels in de plaats zouden komen', een vroeg staaltje populatiedynamisch gefundeerde onkruidbestrijding, dat wordt bevestigd door modern onderzoek (Otzen & Koridon, 1970).

Een probleem van heel andere orde is het feit dat veel onkruidkundig onderzoek wordt uitgedrukt in termen van biomassa in plaats van aantallen. Dit geldt voor onderzoek waar groei en concurrentie centraal staan (De Wit, 1960; Hunt, 1978) en gesproken wordt over opbrengstderving. Het geldt ook voor veel onderzoek naar het effect van herbiciden. Daar staat tegenover dat veel processen in en op de bodem, die te maken hebben met besmetting en zaadvoorraad, juist wel in aantallen of dichtheden worden uitgedrukt (zie onder andere Roberts & Chancellor, 1986). Dit leidt in de onkruidkunde tot een tweedeling grofweg in onderzoek naar boven- en ondergrondse processen, die vanuit een populatiedynamisch standpunt moeilijk zijn te verenigen (Mortimer, 1983), zodat veel aanvullend onderzoek nodig is.

Een volgend probleem is, wat je moet tellen. Planten zijn in de regel niet 'unitair', dat wil zeggen dat uit een zaad een plant ontstaat die nieuw zaad produceert. Veelal zijn planten 'modulair', dat wil zeggen dat ze uitstoelen en/of rizomen maken en zich zo vegetatief uitbreiden, waarbij het verband tussen zaad en de plant, die eruit is voortgekomen, verloren gaat. De hieraan verbonden problemen van individualiteit en telbaarheid van planten hebben tot voor kort de ontwikkeling van een echte populatiedynamica van planten geblokkeerd, maar dat probleem is in principe nu oplosbaar (Harper, 1977; White, 1979; Caswell, 1982).

Behalve het probleem van de telbaarheid van planten, is er ook het probleem van de ongedetermineerde groei, zoals die bij planten algemeen is. Dit leidt ertoe dat er meestal slechts een zwak verband is tussen grootte en leeftijd van een plant. Juist bij het modelleren, waar een keuze gemaakt moet worden welke categorieën onderscheiden zullen worden, speelt dit een rol (De Wit & Goudriaan, 1978). Als de keuze valt op grootte of ontwikkelingsstadium als categorie, zoals in figuur 4.1, dan is het probleem dat de tijd nodig om van de ene in de andere categorie te komen, zeer verschillend zijn kan. Is de keuze gebaseerd op leeftijd dan is de tijd geen probleem, maar wordt de inhoud van een leeftijdscategorie zeer heterogeen qua ontwikkelingsstadium. De keuze moet afhangen van het antwoord op de vraag of leeftijd of grootte het belangrijkst zijn voor overleving en voortplanting (Werner & Caswell, 1977). Soms ook kunnen beide indelingscriteria tegelijk worden gebruikt (Law, 1983).

Na al deze problemen, wat zijn de voordelen van populatiedynamische modellen? Op de eerste plaats kan de hele levenscyclus consistent worden beschreven in termen van aantallen en deze beschrijving kan gemakkelijk in de tijd worden gesimuleerd. Zo kan men diverse 'teeltscenario's' doorrekenen op de gevolgen voor de besmetting met een bepaald onkruid. Als de relatie tussen besmetting en opbrengstderving bekend is, kan men een economische optimalisatie maken. Bij onkruiden waar zeer lage aantallen al een probleem zijn, ligt dit gebruik van populatiedynamische modellen, die immers aantallen uitrekenen, het meest voor de hand. Een voorbeeld hiervan is kleefkruid (*Galium aparine*), met een schadedrempel van 1–3 planten per $m^2$ (Aarts &

Dekkers, 1985). Een ander voorbeeld is zwarte nachtschade (*Solanum nigrum*), waarvan het voorkomen ook bij zeer lage dichtheden al ongewenst is in de teelt van erwten voor de conservenindustrie. Ook onkruiden waarvan de bestrijding zeer duur is, zoals bij duist (*Alopecurus myosuroides*), zijn in principe goed met populatiedynamische modellen te benaderen. Dit geldt ook voor een onkruid als knolcyperus (*Cyperus esculentus*), waarbij uitroeiing het doel van de bestrijding is (Naber & Rotteveel, 1986). Zelfs als de rekenscenario's onvoldoende nauwkeurig weten te voorspellen, dan nog zijn deze modellen goed te gebruiken. Meestal kunnen gevoeligheidsanalyses worden uitgevoerd die juist die fasen in de levenscyclus aanduiden die de grootste invloed hebben op de aantalsveranderingen (De Kroon et al., 1986, 1987). Controlemaatregelen kunnen dan juist op die fasen worden geconcentreerd en eventueel onderzoek in die richting gestimuleerd.

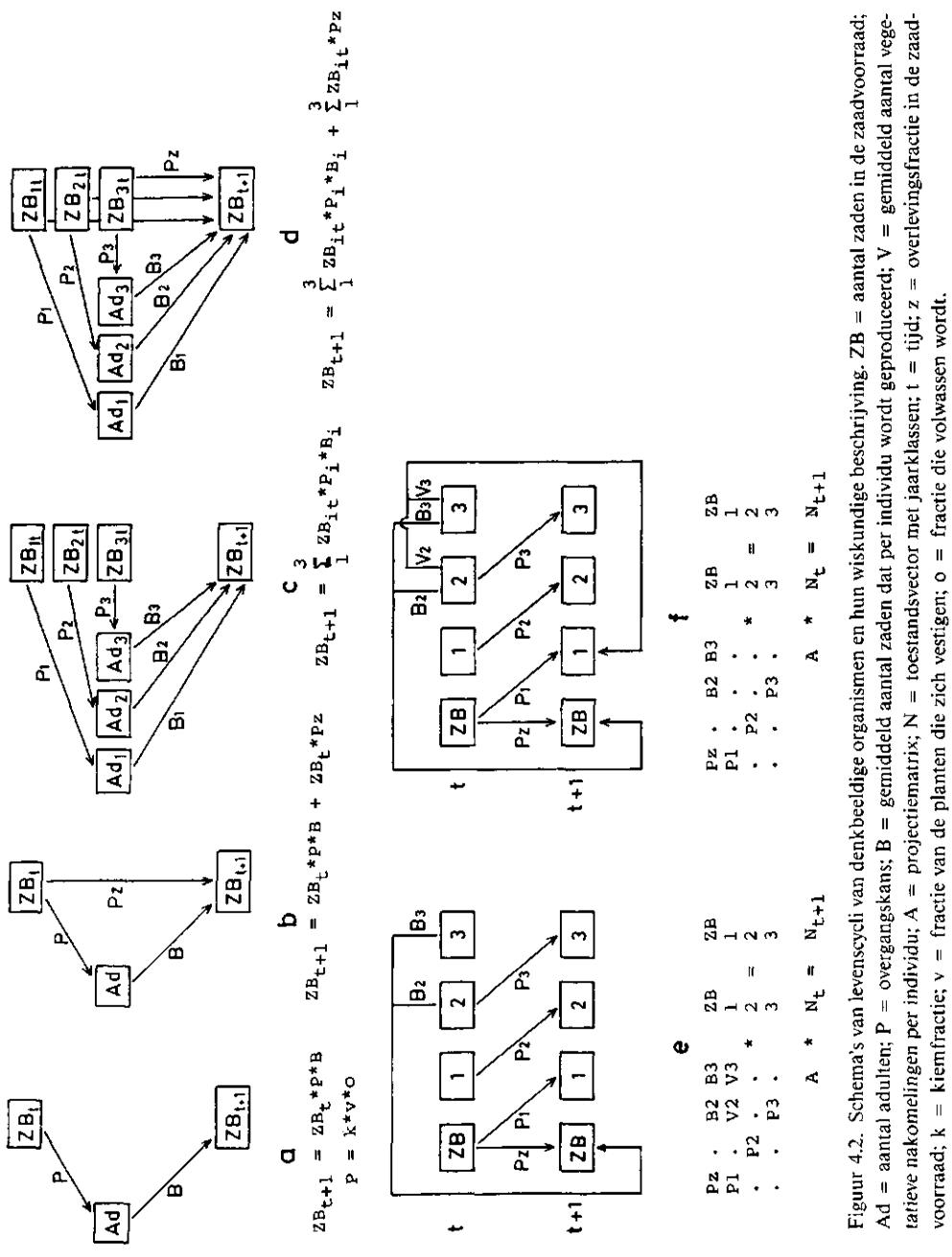
## 4.2 Kern van de populatiedynamische modellen

Alvorens na deze inleiding een aantal praktijkvoorbeelden uit te werken, zal eerst in schema een aantal levenscycli gepresenteerd worden, die in toenemende mate complex worden en kort aangeven hoe wiskundig de kern van de erbij behorende populatiedynamische modellen eruit ziet (figuur 4.2).

De eenvoudigste levenscyclus is die van een eenjarige plant met een kiemgolf, simultane bloei en geen overblijvende zaadvoorraad (figuur 4.2a). Als er een overblijvende zaadvoorraad is, ontstaat een generatie-overlap maar de populatie convergeert jaarlijks in een stadium, te weten die zaadvoorraad (figuur 4.2b). De parallelle situatie met diverse kiemgolven, die resulteren in onderscheiden categorieën adulten met eigen reproduktie, is weergegeven in figuur 4.2c + d. Al deze gevallen kunnen nog betrekkelijk eenvoudig weergegeven worden met stelsels lineaire vergelijkingen. Ingewikkelder wordt het als er overlappende generaties zijn die niet meer per jaar in een stadium convergeren. Dit is bij nagenoeg alle overblijvende planten het geval. Het stelsel lineaire vergelijkingen, dat voor iedere categorie de overgangen beschrijft, kan nu het beste worden weergegeven met een overgangs- of projectiematrix. Rekenkundig voert een dergelijke matrix alle categorieën tegelijkertijd over van het ene tijdstip in het volgende conform de voor iedere categorie opgegeven overgangsvergelijking. Iedere overgang heeft zijn eigen specifieke plek in de overgangsmatrix en bestaat in het eenvoudigste geval uit een enkel vast getal. Weergegeven is een overblijvende plant met zaadvoorraad, die drie jaar oud kan worden, ingedeeld in jaarcategorieën (figuur 4.2e). Indien ook nog sprake is van vegetatieve vermeerdering, ontstaat het beeld van figuur 4.2f. Een soortgelijke matrix kan eveneens geconstrueerd worden als de indeling is gebaseerd op ontwikkelingsstadia.

## 4.3 Voorbeelden

De voorbeelden van populatiedynamische modellen die nu volgen, zijn zo gekozen dat ze een breed terrein van onkruidkundige situaties beslaan en een breed scala van




Figuur 4.2. Schema's van levenscycli van denkbeeldige organismen en hun wiskundige beschrijving. ZB = aantal zaden in de zaadvoorraad; Ad = aantal adulten; P = overgangskans; B = gemiddeld aantal zaden dat per individu wordt geproduceerd; V = gemiddeld aantal vegetatieve nakomelingen per individu; A = projectiematrix; N = toestandsvector met jaarklassen; t = tijd; z = overlevingsfractie in de zaadvoorraad; k = kiemfractie; v = fractie van de planten die zich vestigen; o = fractie die volwassen wordt.

levenscycli met de erbij horende verschillen in modelstructuur en modelanalyse. De vier uitgekozen voorbeelden zijn:

1. Wilde haver (*Avena fatua*) in wintergraan (Cousens, 1986). Eenjarig zaadonkruid met zaadvoorraad. Het eenvoudige populatiedynamische model is basis voor een economisch model.
2. Kleefkruid (*Galium aparine*) in wintergraan (Aarts, 1986). Eenjarig zaadonkruid met zaadvoorraad. Schadedrempel is zeer laag. Er zijn diverse kiemgolven. Gemodelleerd volgens het 'boxcartrain' principe (De Wit & Goudriaan, 1978).
3. Kweek (*Elymus repens*) in wintergraan (Mortimer, 1983). Overblijvend onkruid met sterke vegetatieve vermeerdering. Gemodelleerd met een projectiematrix op basis van ontwikkelingsstadia.
4. Biggekruid (*Hypochaeris radicata*) in wegbermen (De Kroon et al., 1987). Gewenste overblijvende rozetplant, die zich zowel vegetatief als generatief vermeerdert. Gemodelleerd met een projectiematrix gebaseerd op ontwikkelingsstadia. Modelanalyse berust op gevoeligheidsanalyses.

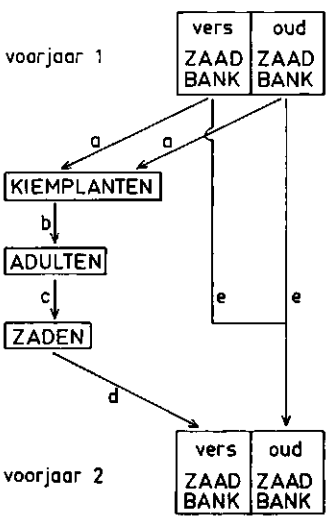
### *4.3.1 Wilde haver (Avena fatua)*

Het eerste voorbeeld is een praktijkvoorbeeld uit de teelt van wintertarwe, besmet met wilde haver. Het populatieverloop is betrekkelijk eenvoudig zonder overlappende generaties (figuur 4.3).

In dit model is een aantal processen rekenkundig als volgt verwerkt:

– Kieming: hierbij maakt het verschil of het zaad vers in de grond zit (eerste winter) of al langer. Dit resulteert per oppervlakte-eenheid in:

$$nk_{pl} = k_v * n_{vzv} + k_o * n_{ozv} \qquad (1)$$




Figuur 4.3. Doorstroomschema voor een generatie van wilde haver met zaadvoorraad in twee leeftijdscategorieën. a = kieming; b = groei; c = zaadproduktie; d = zaadverspreiding; e = zaadvoorraad.

waarin n het aantal en k de kiemkans is voor vers (v) respectievelijk oud (o) zaad, gerelateerd aan het aantal verse (vzv) en oude zaden in de zaadvoorraad (ozv) per oppervlakte-eenheid.

– Groei: in deze fase is een dichtheidsafhankelijke tegenkoppeling ingebouwd, waarbij een steeds kleiner deel van de kiemplanten volwassen (ad) wordt bij toenemende dichtheid der kiemplanten (kpl) en wel volgens een hyperbolisch verband:

$$n_{ad} = \frac{n_{kpl}}{(1 + an_{kpl})} \tag{2}$$

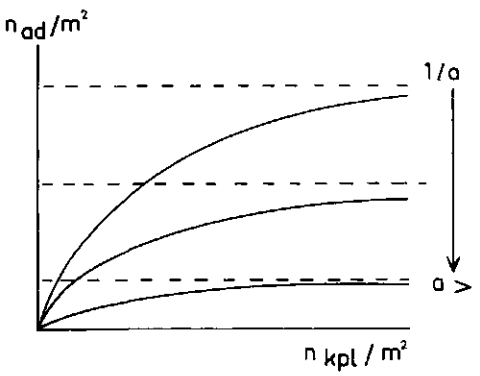
a is een coëfficiënt voor de dichtheidsgevoeligheid van een soort (figuur 4.4). De keuze van een hyperbool als beschrijver voor het effect van de standdichtheid is gebaseerd op biologische argumenten en afgeleid door De Wit (1960).

– Zaadproduktie: de zaadproduktie per oppervlakte-eenheid heeft op een vergelijkbare manier te lijden van dichtheidseffecten. Hoe meer adulten per oppervlak hoe kleiner het aantal te produceren zaden (za) per individu. De wiskundige beschrijving is:

$$n_{za} = (1 - h) * \{n_m * \frac{n_{ad}}{1 + bn_{ad}}\} \tag{3}$$

Hierin is $n_m$ het gemiddelde aantal zaden per vrijstaand individu en b is weer een dichtheidsgevoeligheidscoëfficiënt. De asymptoot ligt in dit geval bij $n_m/b$. Het effect van herbiciden (h) wordt samengevat in dit deel van het model als een proportionele reductie van de zaadproduktie (1−h).

– Zaadverspreiding: van de geproduceerde zaden zal een deel worden afgevoerd met de oogst (p) en eventueel in de stoppel verbrand (q). De rest treedt toe tot de zaadvoorraad.




Figuur 4.4. Verband tussen de dichtheid van kiemplanten en de eruit resulterende dichtheid van volgroeide planten als functie van de dichtheidsgevoeligheidscoëfficiënt a. De maximale standdichtheid van adulten is soortafhankelijk en gegeven als 1/a.

$$n_{vzv} = (1-p) * (1-q) * n_{za} \quad (4)$$

– Zaadvoorraad: kieming (k) en sterfte (s) zullen de oude zaadvoorraad (ozv) verder hebben uitgeput tot:

$$n_{ozv2} = (1-k_o-s_o) * n_{ozv1} + (1-k_v-s_v) * n_{vzv1} \quad (5)$$

Hierin zijn 1 en 2 de jaren en zijn kieming en sterfte voor oude (o) en verse (v) zaden apart ingebracht.

De onkruidplanten, waarvan het aantal met de vergelijkingen (1) tot en met (5) kan worden gesimuleerd, beperken de opbrengst ten opzichte van de onkruidvrije opbrengst ($Y_{ov}$). Deze opbrengstderving is afhankelijk van het aantal onkruidplanten en van de agressiviteit van het onkruid ten aanzien van het gewas (g = agressiviteitsfactor). Ook deze opbrengstderving is dichtheidsafhankelijk gemaakt via een hyperbolische reductiefactor rm in de formule:

$$Y = Y_{ov}\{1 - r_m * \frac{n_{ad}}{(1 + g * n_{ad})}\} \quad (6)$$

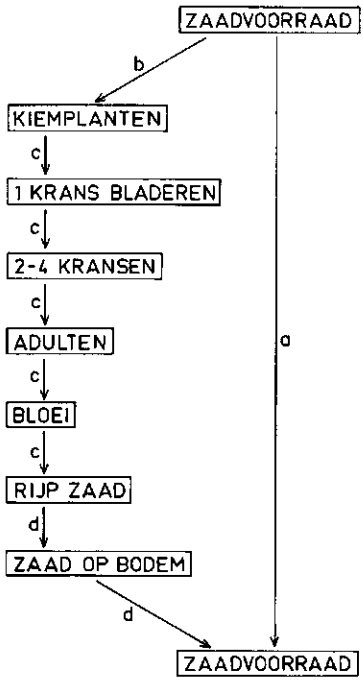
Deze formule beschrijft een serie dalende hyperbolen met asymptoot $1 - r_m/g$.

Deze opbrengstderving is met de geëigende marktgegevens om te zetten in een geldelijk verlies dat kan worden verrekend met de kosten van bestrijding. Om seizoenswisselingen uit te vlakken en rekening te houden met de na-effecten van verhoogde onkruidbesmetting in latere jaren, is deze berekening gemaakt over 10 jaar voor een bepaalde instelling van de parameters a, b in de formules (2) en (3) (afhankelijk van het soort onkruid), g in de formule (6) (afhankelijk van de gewaskeuze) en h in de formule (3) (afhankelijk van het soort herbicide). Na keuze van a, b, g en h kan als volgt gesimuleerd worden:

Varieer de drempel (= onkruiddichtheid $n_{ad}$ in het model) waarbij bestreden wordt met een bepaald middel van 0 (= altijd bestrijden) naar bijvoorbeeld 1000 (= niet bestrijden) en bereken de economische opbrengst over 10 jaar voor iedere instelling van $n_{ad}$. In deze 10-jaarsom ontstaat een optimum. Voor wilde haver was dit 2–3 planten per $m^2$. Deze drempel ligt veel lager dan de 'officiële' economische drempel van 10–12 planten per $m^2$ (Tottman et al., 1982) gebaseerd op de resultaten van één seizoen. Het verschil is het gevolg van een nawerkende besmetting, die in een eenjaarsstudie niet naar voren komt. Hieruit is duidelijk dat een eenvoudig populatiedynamisch model al opvallende adviezen kan genereren in de onkruidbestrijding op basis van een aantal simulaties.

### *4.3.2 Kleefkruid (Galium aparine)*

Het tweede voorbeeld is in Nederland ontwikkeld door Aarts en medewerkers, die de populatiedynamica van kleefkruid onderzochten. De structuur van deze populatie




Figuur 4.5. Doorstroomschema voor de populatiedynamica van kleefkruid. a = sterfte in de zaadvoorraad; b = kieming; c = groei; d = zaadverspreiding.

lijkt sterk op die van wilde haver (figuur 4.5).

Ten opzichte van het vorige model, dat werkte met één golf van kiemplanten (cohort) dat synchroon met een zekere uitval zich ontwikkelde van kieming tot nieuw zaad, is in dit model rekening gehouden met diverse kiemcohorten, ieder met een eigen ontwikkeling in de tijd en bovendien met een zaadvoorraad waarin de kans op kieming en wegrotten per laag zijn gedefinieerd. Een dergelijk model staat bekend als een 'box-cartrain' model met dispersie (De Wit & Goudriaan, 1978). Als startpunt wordt gegeven het aantal zaden in de bodem in het voorjaar, verdeeld over lagen van 5 cm, tot 25 cm diep, een verdeling die desgewenst nog afhankelijk gemaakt kan worden van grondbewerkingen als ploegen, frezen en stoppelbewerkingen. Deze zaadvoorraad wordt aangetast door sterfte (a in figuur 4.5) en door kieming (b in figuur 4.5), dit laatste volgens patronen zoals weergegeven in de figuren 4.6 en 4.7.

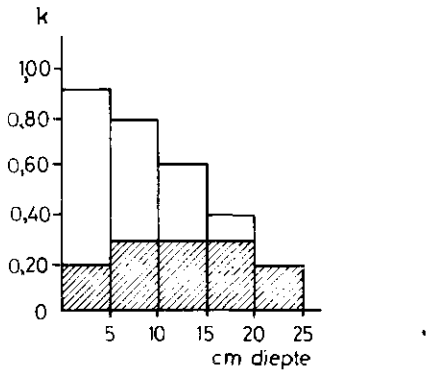
De volgende formule geeft nu het aantal zaden (N) in de zaadvoorraad per laag voor iedere twee-weeksperiode:

$$N_{tx} = N_{(t-1)x} - N_o * (e_t * k_{kx} + 1/24 * k_{rx}) \quad (7)$$

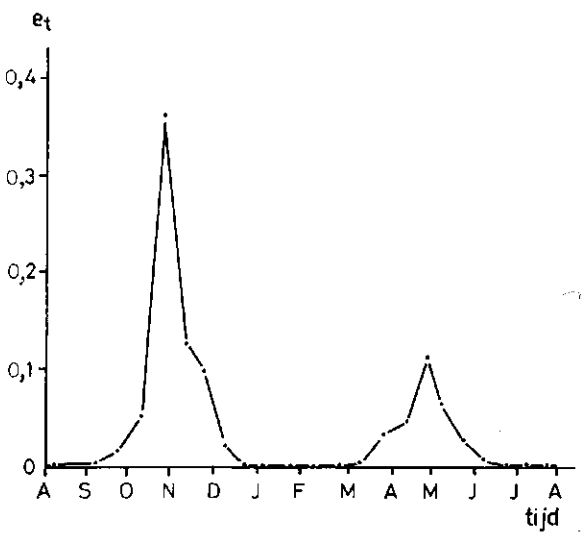
t = twee-weeks periode van 1–24, te beginnen op 1 augustus.
x = bodemlaag van 5 cm van 1–5.

N = aantal zaden. $N_o$ oorspronkelijke aantal zaden.
$k_{kx}$, $k_{rz}$ en $e_t$ zie figs. 4.6 en 4.7

De totale hoeveelheid kiemplanten wordt dan $\sum_{1}^{5} \sum_{1}^{24} N_{tx}$ en de onderscheiden kiemcohorten zijn dan $\sum_{1}^{5} N_{tx}$. De ontwikkelingssnelheid van kiemplant tot plant met rijp zaad ergens tussen half juli en half september, is sterk afhankelijk van moment van ontstaan van het cohort. Daaroverheen komt nog het sterfterisico dat afhankelijk is van ontwikkelingsstadium en van externe factoren als tijdstip van grondbewerking en oogsten, en van behandelingen met herbiciden.




Figuur 4.6. Jaarlijkse mortaliteit van zaden in de bodem als functie van de diepte, uitgedrukt als mortaliteitsfractie k. De mortaliteit is onderverdeeld in mortaliteit als gevolg van de kieming ($k_k$, blank in diagram) en in mortaliteit als gevolg van rot ($k_r$, gearceerd).



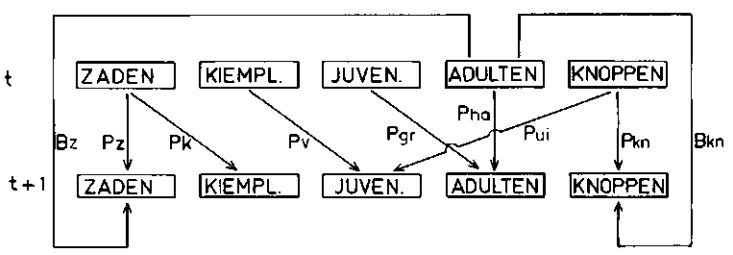

Figuur 4.7. Tweewekelijkse kiemfractie $e_t$ van de totale hoeveelheid zaad dat kiemt als functie van de tijd in perioden van 2 weken.

Voor ieder kiemcohort wordt apart opgegeven hoe snel het door de 6 stadia van kiemplant tot plant met rijp zaad (zie figuur 4.5) heenloopt uitgedrukt in twee-weeksperioden per stadium. Zo zal een kiemplant uit de eerste periode van oktober 2 weken nodig hebben tot het 1-kransstadium, ook 2 weken tot het 2–4 kransstadium, 6 weken tot het >4-kransstadium. Dan is het inmiddels eind december. Tot de bloei duurt het dan nog 20 weken, tot zaadzetting nog 6 weken en vervolgens nog 2 weken tot het zaad uitvalt. Onderweg loopt de plant sterfterisico's. Ook deze zijn per stadium gedefinieerd. Kleine planten lopen immers meer risico dan grote. Bovendien is bekend of een risico permanent, dat wil zeggen in iedere twee-weeksperiode optreedt, zoals ziekte of slecht weer, dan wel eenmalig zoals grondbewerking, oogst of herbicidebehandeling. Deze risico's worden ingebouwd als vaste reductiefactoren op aantallen per stadium in de periode dat ze optreden. Tot slot produceren de overgebleven adulten hun zaad als functie van het startmoment – najaarskiemers worden groter dan voorjaarskiemers met de erbij behorende grotere zaadproduktie – en als functie van het gewas.

De sturing van de populatiegroei – en daarmee de simulatiemogelijkheden – is vervat in twee stadia. Allereerst kan door grondbewerking een zekere verdeling van zaden over het profiel worden bereikt en vervolgens kan gevarieerd worden met de mortaliteit door te variëren met de toepassingstijdstippen van grondbewerking, oogst en toepassing van herbicide. Zo bleek bijvoorbeeld dat in wintertarwe, gezaaid in september, een herfstbespuiting met een dinitrofenolherbicide onvoldoende bestrijding gaf, zodat de behandeling in de lente herhaald moest worden. Als alternatieven kwamen in het model naar voren een lentebespuiting, maar dan met een kostbaar herbicide dat ook jonge planten kan doden en latere zaai van de wintertarwe in november samen met een voorjaarsbespuiting met het goedkopere dinitrofenolherbicide.

### *4.3.3 Kweek (Elymus repens)*

Het derde voorbeeld betreft de groei en ontwikkeling van kweek (*Elymus repens*) in wintertarwe, een overjarige soort die zich voornamelijk via rizomen vermeerdert. Bij deze soort is duidelijk sprake van overlappende generaties (figuur 4.8).




Figuur 4.8. Doorstroomschema voor de populatiedynamica van kweek. Bz = aantal geproduceerde zaden; Bkn = aantal geproduceerde knoppen; Pz = kans op overleving van zaad; Pk = kiemplantoverleving; Pv = kans op vestiging; Pgr = kans op groei; Pha = kans op handhaving; Pui = kans op uitlopen; Pkn = kans op overleving van knoppen.

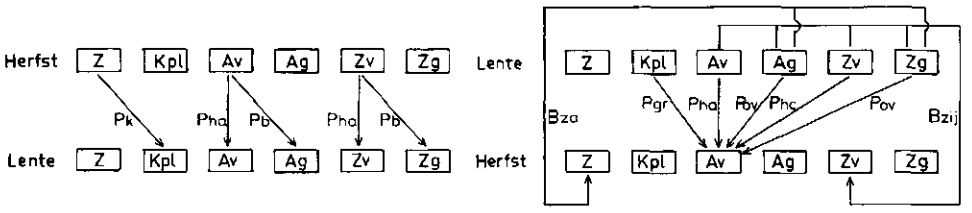
Dit schema is gebaseerd op een indeling in duidelijke ontwikkelingsstadia, niet op leeftijden. Door de overlap in generaties doorlopen cohorten van planten per tijdstip telkens maar een deel van dit schema, zodat tegelijkertijd per tijdstap meerdere cohorten in diverse stadia van ontwikkeling moeten worden gemodelleerd. Naast de al genoemde 'boxcartrain' methode is hiervoor ook zeer geschikt een methode met behulp van projectiematrices. Voor de hierboven weergegeven figuur ziet zo'n matrix er als volgt uit:

| | Za | Kp | Ju | Ad | Kn | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Za | Pz | . | . | Bz | . | | Nza | | Nza |
| Kp | Pk | . | . | . | . | | NkP | | Nkp |
| Ju | . | Pv | . | . | Pui | * | Nju | = | Nju |
| Ad | . | . | Pgr | Pha | . | | Nad | | Nad |
| Kn | . | . | . | Bkn | Pkn | | Nkn | | Nkn |
| | | | A | | | * | Nt | = | Nt+1 |

De symbolen in deze matrix zijn dezelfde als in figuur 4.8. De vermenigvuldiging van de projectiematrix A met de toestandsvector N op tijdstip t levert een nieuwe toestandsvector N op op tijdstip t+1. Voor kweek zijn de parameters in deze projectiematrix gemeten over tijdsintervallen van twee maanden. Dit heeft geresulteerd in 6 deelmatrices die na elkaar worden toegepast en zo een heel jaar beschrijven. Simulaties kunnen nu worden uitgevoerd door een of meer parameterwaarden te wijzigen en dan te berekenen wat de infectiekracht (populatiegroeisnelheid) wordt ten opzichte van de onbehandelde situatie. Op deze wijze kan een aantal scenario's worden doorgerekend en gekeken waar, wanneer en met welk middel de populatie het beste gereguleerd kan worden (tabel 4.2).

Tabel 4.2. Simulaties van kweekbesmettingen bij verschillende beheerssystemen (Mortimer et al., 1980).

| *Scenario* | | *Populatiegroeisnelheid* |
|---|---|---|
| A | Een monocultuur van kweek | 15,95 |
| B | Kweek in wintertarwe met ploegen | 6,69 |
| C | Kweek in wintertarwe met ploegen en toepassing van een niet-systemisch herbicide in de herfst | 4,37 |
| D | Kweek in wintertarwe met ploegen en toepassing van een systemisch herbicide in de herfst | 0,37 |




Figuur 4.9. Doorstroomschema voor een populatie van biggekruid, waarin zomer- en winterprocessen afzonderlijk zijn weergegeven. Z = zaden; Kp = kiemplanten; Av = vegetatieve adulten; Ag = generatieve adulten; Zv = vegetatieve zijrozetten; Zg = generatieve zijrozetten; Pk = kans op kieming; Pha = kans op handhaving; Pb = kans op bloei; Pgr = kans op groei; Pov = kans op overleving na bloei; Bza = aantal geproduceerde zaden; Bzij = aantal geproduceerde zijrozetten.

### *4.3.4 Biggekruid (Hypochaeris radicata)*

Het laatste voorbeeld benadert het probleem van aantalsveranderingen bij een plantesoort van de andere kant. Hier staat de vraag centraal hoe een soort juist gestimuleerd kan worden ten dienste van de beheersdoelstellingen in een bepaalde vegetatie. De soort is biggekruid (*Hypochaeris radicata*), een geelbloeiende rozetvormende composiet. De vegetatie waarin deze soort wordt gewenst, is die van matig schrale wegbermen, waar biggekruid het aanzien verbetert en de beheerskosten, voornamelijk die van het maaien en afvoeren, verlaagt door zijn platte grasonderdrukkende groeivorm. De soort bleek echter na een behoorlijke explosie in de beginfase kort na aanleg van de berm, zeer snel achteruit te gaan: een reden om een onderzoek in te stellen.

Net als bij kweek is er sprake van een overjarige plant met overlappende generaties, die kiemt in het voorjaar, geen zaadvoorraad aanlegt en die vlak voor het najaar zijrozetten vormt. Weer is gebruik gemaakt van een projectiematrix op basis van ontwikkelingsstadia, gesplitst in twee compartimenten, een winter- en een zomerdeel om zo goed mogelijk de zeer verschillende gebeurtenissen in beide seizoenen te kunnen modelleren en daarna te kunnen manipuleren. De structuur van de populatie en de optredende overgangen zijn voor beide seizoenen weergegeven in figuur 4.9.

De bij het doorstroomschema behorende matrices zien er als volgt uit:

zomermatrix

| | Za | Kp | Av | Ag | Zv | Zg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Za | . | . | . | . | . | . |
| Kp | Pk | . | . | . | . | . |
| Av | . | . | Pha | . | . | . |
| Ag | . | . | Pb | . | . | . |
| Zv | . | . | . | . | Pha | . |
| Zg | . | . | . | . | Pb | . |

wintermatrix

| | Za | Kp | Av | Ag | Zv | Zg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Za | . | . | . | Bza | . | Bza |
| Kp | . | . | . | . | . | . |
| Av | . | Pgr | Pha | Pov | Pha | Pov |
| Ag | . | . | . | . | . | . |
| Zv | . | . | Bzij | Bzij | Bzij | Bzij |
| Zg | . | . | . | . | . | . |

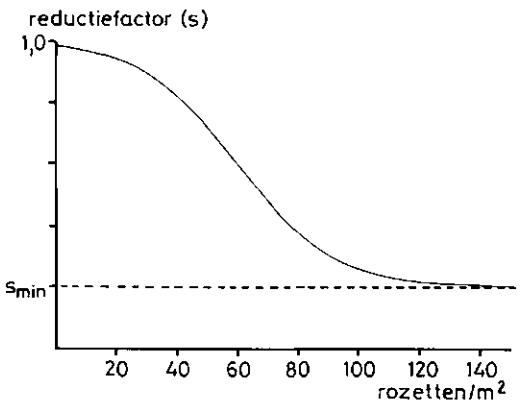
De beide bovenstaande matrices vormen samen de jaartransitiematrix. Door net als in het vorige voorbeeld de matrices met een toestandsvector te vermenigvuldigen, ontstaat het verloop van aantallen van deze soort in de tijd. Na een aantal vermenigvuldigingen stabiliseert de uitkomst en wordt een constante toe- of afname bereikt met een vaste populatieopbouw. De algebraïsche limieteigenschappen van een dergelijke matrix (de eigenwaarden en eigenvectoren) hebben een duidelijke populatiedynamische betekenis. Zo is de constante groeifactor ($N_{t+1}/N_t$) identiek aan de dominante eigenwaarde en is de vaste populatie-opbouw identiek aan de rechter eigenvector. Ook de linker eigenvector is biologisch interessant en geeft de uiteindelijke reproduktieve waarde van iedere categorie weer.

Een belangrijk nadeel van de projectiematrixtechniek is juist die constante populatiegroei. Geen enkele populatie kan ongeremd groeien. Daarom is in dit geval van biggekruid een tegenkoppeling op de parameterwaarden ingebouwd, die des te sterker wordt naarmate de dichtheid toeneemt, een zogenaamde dichtheidsafhankelijke tegenkoppeling. Deze tegenkoppeling heeft de vorm van een omgekeerde sigmoïde en wordt beschreven door:

$$S = S_{min} + \frac{1 - S_{min}}{\{1 + e^{(Nt/a)-b}\}} \qquad (8)$$

Hierin is S de reductiefactor (figuur 4.10). De kromming van de curve wordt bepaald door de constanten a en b; de afstand waarover de kromming loopt door $S_{min}$.

De waarde van a en b wordt empirisch bepaald, zodat de curve naar zijn minimumwaarde loopt op het moment van een biologisch bepaalde $N_{max}$. Het niveau van $S_{min}$ kan gevarieerd worden en is een belangrijke stuurfactor in de simulaties. $S_{min}$ kan per parameter ingesteld worden, maar hier is gekozen voor drie $S_{min}$-waarden voor drie groepen van gebeurtenissen: kieming en vestiging (Pk en Pgr) met de laagste $S_{min}$ en




Figuur 4.10. Het verloop van de reductiefactor S als functie van de dichtheid, bij een vaste instelling van de parameters a, b en $S_{min}$.

dus het sterkste dichtheidsafhankelijk, overleven van juveniele en vegetatieve rozetten (Pha) met een tussenliggende $S_{min}$-waarde en tot slot uitstoeling (Bzij) met slechts een geringe dichtheidsafhankelijkheid. De bloei wordt gezien als een omzetting van vegetatieve in generatieve massa, een proces dat zelf niet meer dichtheidsafhankelijk is.

Behalve met dichtheidsafhankelijkheid is in het model ook rekening gehouden met maairegime. De veldwaarnemingen ten aanzien van maaieffecten zijn weergegeven in drie versies van de zomermatrix: een matrix voor niet maaien, een voor eenmaal maaien (in juni) en een voor tweemaal maaien (in juni en september). Maaien (eenmaal en tweemaal) bevordert de zaadproduktie, doordat meer bloeistengels uitlopen. Hierdoor loopt wel het aantal zijrozetten dat gevormd wordt, terug. Immers waar een bloeistengel is gevormd, kan geen zijrozet meer ontstaan. De overlevingskansen van jonge rozetten worden ook iets beter, omdat de concurrentie van de omringende vegetatie wordt teruggebracht. Laat maaien in september na een maaibeurt in juni, bevordert kieming en het uitlopen aan niet-bloeiende rozetten, doordat er een open zode wordt gemaakt. De relatieve effecten van maaien op de diverse parameters uit de zomermatrix staan samengevat in tabel 4.3.

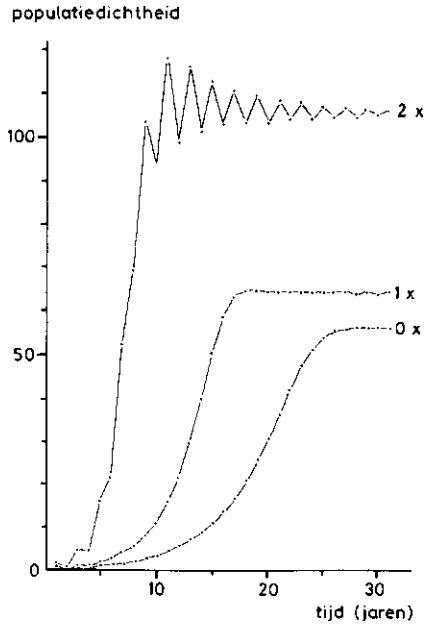
Het resultaat van het gecombineerde effect van dichtheidsafhankelijkheid en maairegime staat te zien in figuur 4.11. Het tweemaal maaien is duidelijk het beste beheer, zowel qua snelheid van uitbreiding als qua uiteindelijke rozetdichtheid, een gegeven dat wordt bevestigd door maaiproeven waarbij een beheer van tweemaal maaien werd omgezet in eenmaal respectievelijk niet maaien. Vooral in dit laatste geval liep de dichtheid van biggekruid in enkele jaren zeer sterk terug.

Om nu te achterhalen in welke fasen van de levenscyclus biggekruid het sterkst reageert op de veranderingen in het maaibeheer, is een speciale versie van een zogenaamde gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, de elasticiteitsanalyse (De Kroon et al., 1986). Hierbij wordt achtereenvolgens de waarde van ieder matrixelement apart met een zekere procentuele factor veranderd, waarna wordt nagegaan wat het effect daarvan is op de populatiegroeisnelheid, de dominante eigenwaarde). Is er een groot effect, dan is die betreffende parameter belangrijk voor veranderingen in aantallen van de populatie en dus van belang vanuit beheer- of beheersoogpunt.

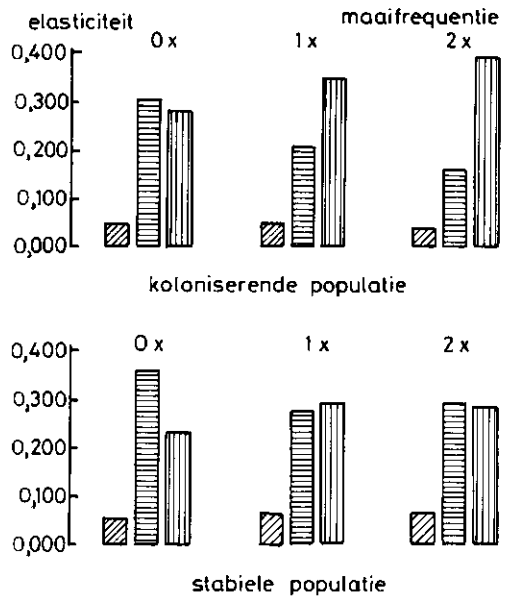
De elasticiteiten voor drie belangrijke groepen parameters – overleving, uitstoeling

Tabel 4.3. Relatieve waarden van parameters als gevolg van het maaien.

| | *Maaifrequentie* | | |
|---|---|---|---|
| | *0* | *1* | *2* |
| Zaaproduktie (Bza) | 1 | 3/2 | 3/2 |
| Kieming en vestiging (Pk en Pgr) | 1 | 1 | 2 |
| Overleving van juvenielen (Pha) | 1 | 9/8 | 9/8 |
| Uitlopen van vegetatieve rozetten (Bzij) | 1 | 1 | 9/8 |
| Uitlopen van generatieve rozetten (Bzij) | 1 | 3/4 | 27/32 |




Figuur 4.11. Gesimuleerd verloop van de populatiedichtheid van biggekruid in de tijd bij verschillende maairegimes.




Figuur 4.12. Elasticiteiten voor drie groepen parameters uit de projectiematrix van biggekruid, bij drie maairegimes en bij twee stadia van populatie-ontwikkeling. Schuine arcering = overleving van bestaande rozetten; horizontale arcering = uitstoeling; vertikale arcering = zaadproduktie.

en zaadproduktie – bij drie maairegimes staan weergegeven in figuur 4.12, zowel voordat als nadat dichtheidsafhankelijke effecten een rol zijn gaan spelen.

Hieruit blijkt duidelijk dat overleven van bestaande rozetten niet zoveel effect heeft. Van belang is de balans tussen bloeistengels maken en zijrozetten vormen, een balans die gestuurd wordt vanuit de okselmeristemen van het hoofdrozet, die immers of een bloeistengel of een zijrozet kunnen maken. Zoals te verwachten, neemt het belang van zaadproduktie toe, naarmate er meer gemaaid wordt (meer open zode) en wel vooral voordat dichtheid een rol speelt. Omgekeerd is uitstoeling – het bezet houden van de eigen plek – belangrijker bij niet maaien, vooral als ook dichtheidseffecten een rol spelen. Op deze manier kan met een populatiedynamisch model niet alleen gezocht worden naar de 'beste behandeling', maar ook naar de onderliggende kenmerken van de plant die verantwoordelijk zijn voor de regulatie. Een dergelijk inzicht maakt het mogelijk ook voorzichtige voorspellingen te doen die vallen buiten de enge grenzen van het gemodelleerde systeem.

## Samenvatting

Na een serie voorbeelden, waarin is getracht een zo goed mogelijk beeld te schetsen van de aard en bruikbaarheid van populatiedynamische modellen in de onkruidkunde in brede zin, kunnen wellicht de volgende conclusies worden getrokken:

– Aantalsmodellen kunnen een belangrijke rol spelen bij het simuleren van de populatiedynamica van onkruiden. De hele levenscyclus van deze soorten kan op een samenhangende manier beschreven worden.

– Voor het beschrijven van aantalsveranderingen is een heel wiskundig instrumentarium voorhanden, dat gebruikt kan worden in afhankelijkheid van de aard van de plant: eenjarig of overblijvend met of zonder vegetatieve vermeerdering.

– De simulaties met deze modellen leiden tot uitspraken over het gewenste beheer of de beste beheerstechnieken, inclusief eventueel de effecten van het bouwplan, omdat over meer jaren wordt gesimuleerd (middellange termijnplanning).

– Behalve voor nabootsing, dienen de modellen ook voor het verkrijgen van inzicht in de fasen waarin een bepaalde soort het meest gevoelig is voor controlemaatregelen. Dit kan sturend werken bij de bestrijding en bij het zoeken naar andere bestrijdingsmethoden.

– Tot slot geldt, dat nauwkeurigheid en generaliseerbaarheid omgekeerd evenredig zijn, of anders gezegd, dat de bruikbaarheid voor de individuele boer of beheerder omgekeerd evenredig is met de bruikbaarheid voor de onderzoeker of beleidsmaker.

## Literatuur

Aarts, H.F.M., 1986. A computerized model for predicting changes in a population of *Galium aparine*. Proceedings EWRS symposium on economic weed control, 1986: 269–276.

Aarts, H.F.M. & W.A. Dekkers, 1985. De bestrijding van onkruiden in suikerbieten. Teelthandleidingen PAGV 15: 1–24.

Baker, H.G., 1974. The evolution of weeds. Annual Review of Ecology and Systematics 5: 1–24.
Caswell, H., 1982. Stable population structure and reproductive value for populations with complex life cycles. Ecology 63: 1223–1231.
Cousens, R.D., 1986. The use of population models in the study of the economics of weed control. Proceedings EWRS symposium on economic weed control, 1986: 269–276.
Harper, J.L., 1977. Population Biology of Plants. Academic Press, Londen.
Harper, J.L., 1981. The concept of population. In: May, R.M. (Ed.): Theoretical ecology: principles and applications, 2nd ed. Blackwell, Oxford: 57–77.
Hunt, R., 1987. Plant growth analysis. Arnold, Londen.
Krebs, C.J., 1972. Ecology, the experimental analysis of distribution and abundance. Harper, New York.
Kroon, H. de, A. Plaisier, J. van Groenendael & H. Caswell, 1986. Elasticity: the relative contribution of demographic parameters to population growth rate. Ecology 67: 1427–1431.
Kroon, H. de, A. Plaisier & J. van Groenendael, 1987. Density- dependent simulation of the population dynamics of a perennial grassland species (*Hypochaeris radicata* L.). Oikos 50: 3–12.
Law, R., 1983. A model for the dynamics of a plant population containing individuals classified by age and size. Ecology 64: 224–230.
Mortimer, A.M., 1983. On weed demography. In: Fletcher W.W. (Ed.): Recent advances in weed research. Commonwealth Agricultural Bureau, Slough: 3–40.
Mortimer, A.M., D.J. McMahon, R.J. Manlove & P.D. Putwain, 1980. The prediction of weed infestations and cost of differing control strategies. Proceedings 15th British Weed Control Conference 2: 467–474.
Naber, H. & A.J.W. Rotteveel, 1986. Legal measures concerning *Cyperus esculentus* L. in the Netherlands. Mededelingen van de Faculteit van Landbouwwetenschappen RU Gent 51: 355–357.
Otzen, D. & A.H. Koridon, 1970. Seasonal fluctuations of organic food reserves in underground parts of *Cirsium arvense* (L.) Scop. and *Tussilago farfara* L. Acta Botanica Neerlandica 19: 495–502.
Radosevich, S.R. & J.S. Holt, 1984. Weed ecology. Implications for vegetation management. John Wiley & Sons, New York.
Roberts, H.A. & R.J. Chancellor, 1986. Seed banks of some arable soils in the English Midlands. Weed Research 26: 251–259.
Tottman, D.R., G.H. Ingram, A.A. Lock, R.J. Makepeace, R.H. Orson, J. Smith & B.J. Wilson, 1982. Weed control in cereals. In: Roberts H.A. (Ed.): Weed control in cereals, 7th ed. Blackwell, Oxford: 268–291.
Werner, P.A. & H. Caswell, 1977. Population growth rates and age versus stage-distribution models for Teasel (*Dipsacus sylvestris* Huds.). Ecology 58: 1103–1111.
White, J., 1979. The plant as a metapopulation. Annual Review of Ecology and Systematics 10: 109–145.
Wit, C.T. de, 1960. On competition. Verslagen Landbouwkundig Onderzoek 66: 1–82.
Wit, C.T. de & J. Goudriaan, 1978. Simulation of ecological processes. Pudoc, Wageningen.

# 5 Floraverschuivingen

R. Bulcke en A.J.W. Rotteveel

Hoewel floraverschuivingen niet nieuw zijn, komen ze steeds nadrukkelijker op de voorgrond in land- en tuinbouw. In deze bijdrage wordt een overzicht gegeven van floraverschuivingen en hun oorzaken. Hierbij wordt vooral aandacht besteed aan de invloed van teeltsystemen en -technieken. Verder worden de biologische achtergronden van de bij deze verschuivingen betrokken soorten belicht.

## 5.1 Inleiding

Plantensoorten, bijvoorbeeld onkruiden, die in een gemeenschappelijke omgeving voorkomen, worden vaak gegroepeerd in plantengemeenschappen. Tussen gewassen, onkruiden en hun omgeving bestaan talrijke complexe interacties, zodat ze in feite (agro-)ecosystemen vormen; dit geldt uiteraard ook voor vegetaties op plaatsen buiten de landbouw, zoals op wegbermen en in watergangen.

Daar de flora zeer diverse invloeden ondergaat, vormt ze een bijzonder dynamisch geheel. Vooral onder invloed van menselijke of antropogene activiteiten wordt de samenstelling zowel kwantitatief als kwalitatief gewijzigd. Hierna wordt vooral aandacht besteed aan verschuivingen in de (on)kruidflora in land- en tuinbouw. In de bijdragen over het beheer respectievelijk van watergangen, bermen en openbaar groen komen ongetwijfeld aspecten over floraverschuivingen in deze domeinen ter sprake.

## 5.2 Biologische achtergronden van floraverschuivingen

Onkruiden stellen meestal specifieke eisen aan het milieu voor hun kieming, groei en vermeerdering. Onkruidgemeenschappen zijn dan ook goede indicatoren voor klimaat en bodem. Daar de gewassen eveneens hun eigen ecologische vereisten hebben, zullen zij in ruime mate de (on)kruidflora mee helpen bepalen. De omgeving, bepaald door bodem- en klimaatfactoren alsmede door de teelt van gewassen, maakt uit of (on)kruidsoorten zich al dan niet kunnen vestigen, handhaven of uitbreiden. Talrijke belangrijke onkruiden zijn zeer variabel wat betreft ecologisch en landbouwkundig belangrijke kenmerken zoals de fenologie, de graad van kiemrust, de mogelijkheid tot vegetatieve vermeerdering, de gevoeligheid voor ziekten en plagen en de reactie op herbiciden. Uit biochemische studies, uitgevoerd bij belangrijke onkruiden als hanepoot (*Echinochloa crus-galli*) en melganzevoet (*Chenopodium album*), blijkt hoe complex de genetische structuur en hoe groot de variatie binnen soorten en populaties zijn.

## 5.3 Historische ontwikkeling

Na de laatste ijstijd raakte geheel Nederland bedekt met bos, uitgezonderd de gebieden waar het te zout of te nat was. Gebieden die erg arm aan nutriënten en bovendien nat waren, raakten na een bosfase veelal bedekt met veen. Dit oerwoud had ongetwijfeld een dynamisch karaktef door zowel abiotische (windworp, brand) als biotische factoren (onder andere wisent en eland).

Plaatselijk kwamen daardoor open plaatsen voor, met een kortere of langere levensduur. Deze storingsplaatsen met hun grotere rijkdom aan zowel licht als nutriënten weken af wat betreft hun vegetatie van de verdere bosondergroei. Hier groeiden soorten die, onder de gegeven omstandigheden, concurrentiekrachtig waren en, door het veelal tijdelijke karakter van hun groeiplaatsen, in staat waren tot een effectieve migratie. Een voorbeeld is kleefkruid (*Galium aparine*) dat vruchten met haakjes heeft, waardoor gemakkelijk verspreiding optreedt via dieren. Ook de voorkeur van kleefkruid ten aanzien van een goede nutriëntenvoorziening wijst op dit soort niche: open plekken worden in situaties met veel groot wild intensief benut en daardoor vaak plaatselijk verrijkt.

Brandnetels (*Urtica*) zullen oorspronkelijk ook afhankelijk zijn geweest van groot wild; dit is in elk geval zo voor de sterk gelijkende soort *Urtica masaica* die ook nu nog een typische schaduwtolerante begeleider is van (mestrijke) grofwildwissels in Oost-Afrika. Niet beboste plaatsen, zoals droogvallende rivieroevers, duinen en dergelijke, zullen net als tegenwoordig rijk zijn geweest aan eenjarige 'gelegenheidsprofiteurs'. Een voorbeeld hiervan is waterpeper (*Polygonum hydropiper*) die op 's zomers droogvallende modderbanken groeit.

Zolang de toen aanwezige mens zich slechts bij jagen en verzamelen hield, zal de invloed op de vegetatie waarschijnlijk beperkt zijn geweest, met uitzondering van het gebruik van bosbrand bij de jacht. Veel intensiever werd de menselijke invloed toen circa 6000 jaar geleden de akkerbouw en veehouderij naar onze streken kwamen. Hiervoor werd immers het bos gekapt en gebrand, en daarmee werden op grote schaal situaties geschapen die in het oerbos alleen incidenteel voorkwamen. Dit betekende uiteraard kansen voor de al aanwezige storingsflora: milieus die tot dusverre tijdelijk waren (naar plaats), werden permanent van karakter, terwijl de al spoedig optredende grondbewerking eenjarige soorten bevoordeelde.

Met de landbouw werden ook de landbouwgewasen geïntroduceerd. Omdat vele gewassen uit het Midden-Oosten kwamen, zal het duidelijk zijn dat vele onkruiden met het gewas mee migreerden. Deze onkruiden zijn oorspronkelijk uit dezelfde soorten wilde vegetaties afkomstig als de gewassen en hadden bij hun introductie hier te lande in veel gevallen al een periode van enkele duizenden jaren co-evolutie met gewassen doorgemaakt. De vestiging in een geheel ander klimaatgebied heeft ongetwijfeld verdere aanpassingen aan de nieuwe omstandigheden binnen de met succes gevestigde soorten veroorzaakt. Het altijd doorlopende proces van co-evolutie leverde zeer soortenrijke en gespecialiseerde onkruidgezelschappen op, die aangepast waren aan specifieke milieus. Op deze wijze bereikten onder andere korenbloem (*Centaurea cyanus*)

en de klaprozen (*Papaver rhoeas*, *Papaver dubium* en *Papaver argemone*) onze streken. Deze oudste groep immigranten worden archeofyten genoemd. Vele daarvan zijn aangepast aan de oudste cultuurgewassen, dus vooral aan de graangewassen.

Vóór de ontdekking van Amerika aan het einde van de 15e eeuw bleef de situatie vrij constant. Er traden geen grote veranderingen op, noch in de teeltsystemen, die kleinschalig en extensief bleven, noch in de gewassen (graan bleef het belangrijkste gewas). Vanaf de eerste reis van Columbus treden zeer veel veranderingen op.

Samen met nieuwe gewassen, zoals tabak, aardappel, maïs en tomaat, kwamen ook nieuwe onkruiden, zoals vrijwel alle *Amaranthus*-soorten en de beide *Galinsoga*-soorten naar Europa.

Plantesoorten die zich na 1500 vestigden, worden neofyten genoemd. De hierboven genoemde nieuwe gewassen hebben ongetwijfeld verschuivingen in zowel de kwalitatieve als kwantitatieve samenstelling van de akkerflora's veroorzaakt. Over deze verschuiving is echter slechts weinig bekend.

Aan het begin van deze eeuw worden vele gewassen geteeld en begeleid door onkruidvegetaties die soortenrijk zijn en gespecialiseerd naar bodemvruchtbaarheid en teeltsystemen. Rond deze tijd beginnen twee processen die de onkruidflora's sterk zouden beïnvloeden: zaadschoning en bemesting. Enkele decennia later wordt hieraan de chemische onkruidbestrijding toegevoegd, terwijl de cultuurtechniek door de steeds toenemende technische mogelijkheden ook een toenemende invloed gaat uitoefenen. Deze ontwikkelingen na 1900, hebben vele onkruiden op de akker doen uitsterven; er zijn echter ook enkele nieuwe soorten die een kans kregen.

### 5.4 Cultuurtechniek

Cultuurtechniek is erop gericht de fysische groeiomstandigheden voor de gewilde soort(en) optimaal te maken. Hiertoe worden storende lagen gebroken, het land vlak gemaakt, de afwatering verbeterd en eventueel het profiel geheel veranderd. In dit verband speelt de ruilverkaveling sedert geruime tijd een belangrijke rol. Zoals gezegd worden de omstandigheden voor het gewas geoptimaliseerd, terwijl deze voor bepaalde onkruiden nu niet langer zo gunstig zijn. Met name droogtespecialisten zoals reigersbek (*Erodium cicutarium*), ruige klaproos (*Papaver argemone*) en kleine klaproos (*Papaver dubium*) zijn grotendeels van het akkerland verdwenen.

Dit proces gaat nog steeds door en waar slechts 40 jaar geleden het schrijven van een dissertatie over het gebruik van akkeronkruiden als indicatoren van de bodemgesteldheid mogelijk was, zou dit nu niet meer mogelijk zijn.

### 5.5 Bodembewerkingen

De invloed van bodembewerkingen op onkruidpopulaties is enorm. Het type van bodembewerking (bijvoorbeeld kerend versus niet kerend) kan de onkruidflora sterk beïnvloeden. Ook de intensiteit van de bodembewerking speelt een bijzonder belangrijke rol. Worden de bodembewerkingen gereduceerd of vallen ze weg, hetgeen slechts

mogelijk is door de beschikbaarheid van herbiciden, dan resulteert dit in een sterke beïnvloeding van de bodemfysische eigenschappen (meer compactie), van overblijvende onkruiden (geen of minder fragmentering van vegetatieve vermeerderingsorganen) en van eenjarige soorten (zaden blijven meer in de oppervlakkige lagen). Een reductie van de bodembewerking laat over het algemeen een sterke uitbreiding toe van overblijvende soorten en vooral van eenjarige onkruidgrassen zoals duist (*Alopecurus myosuroides*) en oot (*Avena fatua*), terwijl de invloed op eenjarige dicotylen veel minder duidelijk is.

Monocultuur van bepaalde gewassen, zoals maïs, leidt vaak tot het reduceren van de bodembewerkingen. Diverse overblijvende onkruiden, die bovendien niet of weinig gevoelig zijn voor in maïs toegepaste herbiciden, kunnen zich zo ongestoord uitbreiden.

### 5.6 Zaaizaad en plantgoed

Zaaizaad van gewassen is al sinds de eerste landbouw verontreinigd met onkruidzaad. Vroeger waren de technieken om zaaizaad te reinigen zeer gebrekkig, zodat elk onkruidzaad dat maar enigszins vorm en/of grootte van het gewaszaad benaderde, in het zaaizaad achterbleef en ermee werd verspreid.

De ontwikkeling van efficiënte zaadschoningstechnieken en het invoeren van wetgevingen inzake keuring van en handel in zaaizaden en plantgoed, hebben enorm bijgedragen tot de indirecte bestrijding van diverse onkruidsoorten zoals bijvoorbeeld oot en bolderik (*Agrostemma githago*). Soorten met kortlevende zaden zoals bolderik liepen vooral door efficiënte zaadschoning zeer snel terug om tenslotte te verdwijnen. De evolutie op het gebied van plantenveredeling en -vermeerdering en de intensivering van handel en transport kunnen echter ook bijdragen tot de introductie en verspreiding van onkruiden. De vermeerdering van diverse gewassen, zoals suikerbiet en maïs, gebeurt geheel of gedeeltelijk in het buitenland, wat kan leiden tot soms zeer specifieke problemen met nieuwe onkruiden zoals knolcyperus (*Cyperus esculentus*) en eenjarige onkruidbieten (*Beta vulgaris*) waaronder strandbiet (*Beta vulgaris* ssp. *maritima*).

### 5.7 Bemesting

Gewassen worden bemest. Hoewel dit tegenwoordig een vanzelfsprekenheid is, kan dit niet zo algemeen voor het verleden worden gesteld. De beperkte beschikbaarheid van organische mest en de onbekendheid van kunstmest, dicteerden een uiterst zuinig en gericht gebruik. Sommige gewassen werden niet bemest. Akkerbouwgronden zijn in ons humide klimaat onderhevig aan een niet geringe uitspoeling van nutriënten, omdat er in een deel van het jaar geen vegetatie is om de nutriënten vast te houden. Van nature trad dus langzaam maar zeker een verarming op. Deze verarming kwam, afhankelijk van de uitgangssituatie en het beheer, tot uitdrukking in algemene zin of, gespecialiseerd in één of enkele elementen. Omdat deze armoede een permanente eigenschap was van bepaalde akkers en/of teelten, konden vele onkruiden die gespe-

cialiseerd zijn in 'zuinig omgaan met nutriënten' een relatief voordeel behalen in deze situaties. Een niet gering deel van de eertijds zo rijke akkerflora's bestond juist uit deze armoedesoorten.

De moderne plantenteelt wordt gekenmerkt door een hoge voedingstoestand terwijl ook extreme toestanden op het gebied van zuurtegraad grotendeels verdwenen zijn. Een optimale bemesting, vaak zelfs overbemesting, heeft armoedesoorten als valse kamille (*Anthemis arvensis*) en eenjarige hardbloem (*Scleranthus annuus*) doen ondergaan in de concurrentieslag met het gewas en de stikstofminnende onkruidsoorten. Ook diverse kalkminnende soorten zoals bijvoorbeeld wilde ridderspoor (*Consolida regalis*) en akkerboterbloem (*Ranunculus arvensis*) zijn zeldzame akkeronkruiden geworden of zelfs uitgestorven.

De huidige flora in land- en tuinbouw is over het algemeen aangepast aan voedselrijke toestanden. Diverse 'nieuwe' akkeronkruiden, zoals bijvoorbeeld hondspeterselie (*Aethusa cynapium*) en amaranten (*Amaranthus* spp.) zijn typische nitrofielen.

De intensivering in de akkerbouw enerzijds en in de veehouderij anderzijds heeft de organische bemesting beïnvloed. De sterk verminderde aanvoer van stalmest op akkerland heeft ten dele bijgedragen tot een verslechtering van de bodemstructuur waardoor onkruiden als duist en varkensgras (*Polygonum aviculare*) worden bevorderd.

De invloed van de (stikstof)bemesting op de botanische samenstelling van grasland is zeer belangrijk en de vestigings- en ontwikkelingskansen van belangrijke graslandonkruiden zoals kweek (*Elymus repens*), straatgras (*Poa annua*) en vogelmuur (*Stellaria media*) hangen er nauw mee samen.

### 5.8 Vruchtwisseling

De vruchtwisseling is ongetwijfeld een bijzonder belangrijke factor die onkruidpopulaties grondig beïnvloedt. Sedert de tweede wereldoorlog zijn wijzigingen in de vruchtwisseling over het algemeen gepaard gegaan met een intensivering van de teelt van diverse gewassen. Sommige van de opvallende floraverschuivingen hebben zich voorgedaan waar het, onder economische druk, wegens verlaagde beschikbaarheid van arbeidskrachten, door mechanisatie en de beschikbaarheid van herbiciden, mogelijk werd om de beoefende ruime vruchtwisseling te verlaten voor continuteelt of enge rotatie. De gevolgen hiervan zijn enorm en divers. Bepaalde gewassen zijn zeer sterk in areaal teruggelopen. Dit is het geval voor vezelvlas waardoor ook typische 'gespecialiseerde' vlasonkruiden zoals vlaswarkruid (*Cuscuta epilinum*) en vlasdolik (*Lolium remotum*) vrijwel verdwenen zijn uit onze flora.

Door de toenemende specialisatie is in sommige akkerbouwgebieden het aandeel van de wintergraangewassen sterk toegenomen ten koste van de zomergraangewassen; gewassen als rogge en voederbieten zijn vrijwel verdwenen ten voordele van een explosieve toename van het maïsareaal. In bepaalde gebieden (bijvoorbeeld West-Vlaanderen) was en is op veel bedrijven omschakeling van akkerbouwgewassen naar volleveldsgroenten. Enkele typische floraverschuivingen die deels door deze veranderingen

in de vruchtwisseling zijn opgetreden: lokaal sterke uitbreiding van kleefkruid op akkerbouwbedrijven met vruchtwisseling van bijvoorbeeld wintergraangewassen, suikerbieten, aardappelen; sterk teruglopen van oot in grote gebieden van de Benelux; zeer sterke uitbreiding van bepaalde thermofiele onkruiden, bijvoorbeeld hanepoot en zwarte nachtschade (*Solanum nigrum*); uitbreiding van typische 'tuinbouwonkruiden' bij omschakeling naar de intensivering van groenteteelt, bijvoorbeeld vogelmuur, klein kruiskruid (*Senecio vulgaris*) en straatgras.

Een van de meest opvallende gevolgen van de intensivering in de land- en tuinbouw is het optreden van opslagplanten van diverse gewassen (bijvoorbeeld aardappelen) als onkruid.

Ook binnen individuele gewassen of groepen van gewassen hebben zich belangrijke veranderingen voorgedaan. De zomergranen (tarwe, gerst en haver) zijn zeer sterk teruggedrongen ten voordele van de wintergranen. Een gevolg hiervan is dat voorjaarskiemers (bijvoorbeeld knopherik (*Raphanus raphanistrum*) en herik (*Sinapis arvensis*) in belang afnemen terwijl herfst- en winterkiemers (bijvoorbeeld klimop-ereprijs (*Veronica hederifolia*), dovenetels (*Lamium* spp.) en kleefkruid kunnen uitbreiden.

Door de veredeling is de halmlengte van granen sterk afgenomen en bij sommige cultivars is het blad meer opgericht; in de moderne graanteelt worden halmverkorters vrijwel algemeen ingezet. De standdichtheid is echter hoger dan vroeger zodat de totale invloed op de lichtpenetratie vrij complex is.

### 5.9 Zaai- en oogsttechnieken

De vervroeging van het zaaitijdstip van gewassen als granen en suikerbieten kan tot wijziging (kwantitatief en/of kwalitatief) in de onkruidflora leiden.

De introductie van de maaidorser heeft het oogsttijdstip van de graangewassen verlaat, waardoor sommige soorten zoals de onkruidgrassen oot en duist hun zaad grotendeels laten vallen voor de oogst en daardoor uitbreiden. Het algemeen machinaal oogsten van aardappelen leidt tot een hoog percentage verliesknollen, waardoor aardappelopslag een onkruidprobleem is geworden.

### 5.10 Chemische onkruidbestrijding

De inzet van selectieve herbiciden heeft tot doel onkruiden te bestrijden zonder de gewassen te beschadigen. Om diverse redenen reageren echter niet alle onkruidsoorten analoog op een herbicide en zelfs binnen soorten zijn soms min of meer sterk uitgesproken reactieverschillen. In feite kan worden gesteld dat de interspecifieke en intraspecifieke selectie door jaarlijks herhaalde toepassing van een herbicide of groep van herbiciden vooral onder omstandigheden van continuteelt of enge vruchtwisseling, de belangrijkste oorzaak van diverse, opvallende floraverschuivingen zijn. Zo is de geschiedenis van de herbicidenontwikkeling in graangewassen in West-Europa sedert 1950 een geweest van een voortdurende aanpassing aan een zich voortdurend wijzigende onkruidflora.

Een van de spectaculaire gevolgen van het herbicidengebruik is een verarming van de flora. In de eerste plaats is er een vermindering van het aantal soorten, hoewel het aantal volledig verdwenen soorten en het aantal werkelijk schadelijke onkruidsoorten meestal niet beduidend daalt. Wel opvallend is de invloed van de chemische onkruidbestrijding op de bezetting van een aantal soorten. Typische soorten die zeer sterk terugliepen zijn: korenbloem (*Centaurea cyanus*), herik en knopherik. De kwalitatieve en kwantitatieve veranderingen van de aanwezige onkruidflora gaan, zij het traag tot zeer traag, ook gepaard met veranderingen in de zaadvoorraad in de bodem; deze verbanden zijn echter zeer complex.

Selectieve herbiciden scheppen door het elimineren van gevoelige onkruiden ruimte; deze vrijgekomen 'ruimte' kan onmiddellijk worden ingenomen door reeds aanwezige ongevoelige soorten of biotypen of later, bijvoorbeeld door late kiemers van gevoelige of ongevoelige soorten.

Het werkingsspectrum en de werkingsduur van de ingezette onkruidbestrijdingsmiddelen zijn in dit verband zeer belangrijk. Onkruiden kunnen op diverse manieren ontsnappen aan herbiciden. In de eerste plaats zijn er voor vrijwel alle selectieve herbiciden tolerante onkruidsoorten die weinig of niet getroffen worden door het inzetten van normale doses. Verschillen in opname, transport en afbraak in een plant liggen aan de basis van deze tolerantie.

Overblijvende onkruiden zijn over het algemeen niet of weinig gevoelig voor de meeste bodemherbiciden en contactherbiciden (bijvoorbeeld kweek en heermoes (*Equisetum arvense*).

Zeer talrijk zijn de eenjarige onkruiden die in hoge mate tolerant zijn voor bepaalde herbiciden of groepen van herbiciden (bijvoorbeeld: varkensgras, voor bentazon en diverse ureumverbindingen; dovenetels, kleefkruid en akkervioltje, voor diverse ureumverbindingen; de onkruidgiersten zoals hanepoot, voor de 2-chloortriazinen). Sterke uitbreiding van hanepoot in maïs door de 2-chloortriazinen heeft ook verspreiding naar en uitbreiding in diverse andere gewassen zoals volleveldsgroenten en bieten vergemakkelijkt.

Typisch zijn die gevallen waar zogenaamde probleemonkruiden en gewassen tot dezelfde familie behoren. Dit is het geval voor diverse samengesteldbloemige onkruiden, klein kruiskruid, kamille en knopkruid in diverse gewassen behorend tot de Asteraceae (witloof, cichorei, schorseneer en sla).

De reeds vermelde intraspecifieke genetische variatie speelt ook een zeer grote rol bij talrijke floraverschuivingen. Herhaalde toedieningen van eenzelfde herbicide of van verwante herbiciden op hetzelfde perceel leiden bij steeds meer soorten tot selectie van tolerante of resistente biotypen binnen oorspronkelijk gevoelige soorten. De snelheid waarmee dit gebeurt, hangt vooral af van de soort en haar genetische variatie, de vruchtwisseling en de selectiedruk (frequentie, dosis, werkingsduur) uitgeoefend door de herbicidebehandeling. De betrokken onkruidsoorten (bijvoorbeeld melganzevoet, zwarte nachtschade, straatgras) zijn alle gekenmerkt door een sterk uitgesproken variabiliteit. Zowel onder praktijk- als onder proefomstandigheden zijn gevallen van selectie naar tolerante biotypen binnen intrinsiek gevoelige soorten gesig-

naleerd: duist voor chloortoluron en methabenzthiazuron; straatgras voor paraquat en amitrol. Intraspecifieke selectie naar tolerantie treedt in de praktijk wellicht vaker op dan thans bekend is. Het langdurig, herhaald gebruik van 2-chloortriazinen in systemen van continuteelt of enge vruchtwisseling heeft bij een toenemend aantal intrinsiek gevoelige onkruidsoorten geleid tot selectie en sterke uitbreiding van triazineresistente biotypen. Enkele van de belangrijkste van de in de Benelux bij de resistentie betrokken onkruiden en gewassen zijn maïs (melganzevoet, zwarte nachtschade); fruitaanplantingen en boomkwekerij (straatgras, klein kruiskruid, beklierd wilgenroosje (*Epilobium ciliatum*).

Bij beklierd wilgenroosje hebben zelfs alleen de triazineresistente biotypen betekenis als onkruid, bijvoorbeeld in boomkwekerij, fruitaanplantingen en op terreinen met totale onkruidbestrijding. Voor de evolutie van het resistentieprobleem in de toekomst zijn diverse elementen belangrijk.

Daar de triazineresistente biotypen duidelijk minder gevoelig zijn voor diverse andere herbiciden (triazinonen, uracils, bepaalde ureumverbindingen) is instandhouding of uitbreiding van de resistente populaties ook bij andere gewas-herbicidecombinaties mogelijk.

Het doelbewust inbouwen van resistentie of tolerantie ten aanzien van herbiciden in gewassen houdt grote gevaren in, onder meer door het teniet doen van het resistentievertragend effect van de rotatie van gewassen en van herbiciden. Daar diverse nieuwe herbiciden waarmee gewerkt wordt een erg specifieke werkingswijze hebben (bijvoorbeeld glufosinaat, sulfonylureumverbindingen), biedt hun frequent gebruik op ruime schaal niet geringe kansen op selectie van resistente of tolerante biotypen bij onkruiden. Resistente biotypen hebben over het algemeen een geringere 'fitheid' dan de gevoelige, wat in principe inhoudt dat deze biotypen slechts bevoordeeld zijn bij verdere toediening van de betrokken herbiciden (bijvoorbeeld triazinen). Daar de resistente biotypen vanuit het oogpunt van de evolutie 'jong' zijn, wordt de vraag opgeroepen of zij door verdere selectie niet kunnen evolueren tot efficiëntere organismen.

**Samenvatting**

Floraverschuivingen worden veroorzaakt door een groot aantal factoren waartussen complexe interacties bestaan. In land- en tuinbouw zijn de vruchtwisselingen, teelttechniek en chemische onkruidbestrijding veruit de belangrijkste factoren. Daar op dit gebied ook in de toekomst nog belangrijke veranderingen te verwachten zijn, zal dit samengaan met voortdurende floraverschuivingen.

Het vermijden van ongewenste floraverschuivingen zou, ook in de toekomst, hoofdzakelijk moeten steunen op afwisseling van gewassen en onkruidbestrijdingsmaatregelen, evenals op betrouwbare voorspelling van de evolutie van de flora. Economische aspecten kunnen hierbij zowel stimulerend als remmend werken.

## Literatuur

Bulcke, R., L. de Vleeschauwer, J. Vercruysse & J. Stryckers, 1985. Comparison between triazine-resistant and -susceptible biotypes of *Chenopodium album* L. and *Solanum nigrum* L. Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv. Gent 50.

Bulcke, R., F. Verstraete, M. van Himme & J. Stryckers, 1986. Variability of *Epilobium ciliatum* Rafin. (syn.: *Epilobium adenocaulon* Hausskn.). Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv. Gent 52.

Cavers, P.B., 1985. Intractable weeds – intraspecific variation must be considered in formulating control measures. Proc. 1987 British Crop Protection Conference – Weeds.

Cussans, G.W., 1976. The influence of changing husbrandry on weeds and weed control in arable crops. Proc. 1976 British Crop Protection Conference – Weeds.

Ellenberg, H., 1950. Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie. Band I: Unkrautgemeinschaften als Zeiger für Klima und Boden. Eugen Ulmer, Stuttgart.

Gasquez, J, 1985. Breeding system and genetic structure of a *Chenopodium album* population according to crop and herbicide rotation. In: Jacquard, P., G. Heim & J. Antonovics (Eds): Genetic differentiation and dispersal in plant. Springer-Verlag, Heidelberg.

Gressel, J., 1986. The challenges of conferring herbicide resistance on crops. In: Augustine, P.C., H.D. Danforth & M.R. Bakst (Eds): Beltsville Symposia in Agricultural Research. (10) Biotechnology for Solving Agricultural Problems. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.

Hurle, K., 1985. Weed control in plant production systems. Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv. Gent 50.

Montegut, J. & P. Jauzein, 1984. Problemes d'ombelliferes (*Apiaceae*) en France. Problemes biologiques et agronomiques, Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv. Gent 49.

Naber, H., 1977. Decline of wild oats in the Netherlands, Proc. EWRS Symp. Methods Weed Control and their Integr. Volume 1, Uppsala.

Pollard, F. & G.W.Cussans, 1976. The Influence of tillage on the weed flora of four sites sown to successive crops of spring barley. Proc. 1976 British Crop Protection Conference – Weeds.

Schmidt, R.E., 1986. Untersuchungen über den Einflusz von unterschiedlichen Fruchtfolgen und Herbizidanwendungen auf Unkrautflora und Kulturpflanzen. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer 30.

Stryckers, J., 1979. Veränderungen in der Unkrautflora durch Herbizidanwendung. Proc. EWRS Symp. The Influence of Different Factors on the Development and Control of Weeds, Mainz.

# 6 Mechanische en fysische onkruidbestrijding

J.K. Kouwenhoven, J.J. Klooster, E.E. Vos-Heikens en J.D.A. Wevers

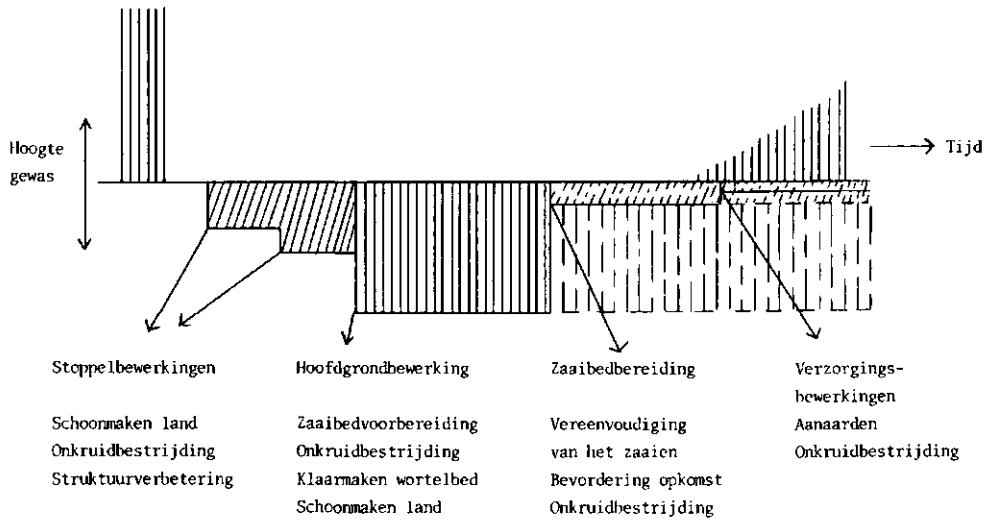
## 6.1 Inleiding

Mechanische en fysische onkruidbestrijding (-beheersing) heeft tot doel de onkruidpopulatie beneden de schadedrempel te houden door niet-chemische en niet-biologische maatregelen. De economische schadedrempel ligt daar, waar de schade door onkruid groter wordt dan de kosten van de onkruidbestrijding. Hierbij kan men drie typen van maatregelen onderscheiden:

- preventieve maatregelen: het voorkomen of beperken van onkruidgroei door het bedekken van de grond met bijvoorbeeld boomschors of houtsnippers;
- curatieve maatregelen: het doden van bovengrondse delen door afsnijden (schoffelen, maaien) en afbranden;
- een combinatie van preventieve en curatieve maatregelen: grondbewerking in al zijn vormen.

In de landbouw is mechanische onkruidbestrijding door grondbewerking het belangrijkst. Kuipers (1975b), Wevers (1979), Pollard et al. (1982) wijzen er dan ook op dat elke grondbewerking invloed heeft op het onkruidbestand. Enerzijds omdat aanwezige onkruiden gedood worden en anderzijds omdat zaden zo diep worden begraven, dat opkomst niet meer mogelijk is. Het aantal zaden, dat bij een volgende grondbewerking in een gunstige positie om te kiemen wordt gebracht, is kleiner – omdat de sterfte van onkruidzaden dan 25 – 35 % per jaar bedraagt – dan wanneer geen grondbewerking zou zijn uitgevoerd. Wanneer grondbewerking en grondontsmetting achterwege blijven, is de sterfte 12 – 22 % van de totale zaadvoorraad (Aarts & Van den Brand, 1982; Froud-Williams et al., 1983), terwijl de afname sterker is naarmate men de grond vaker bewerkt (Roberts & Dawkins, 1967). Karssen en Post wijzen er elders in dit boek (hoofdstuk 1) dan ook op dat grondbewerking kieming stimuleert, waardoor de zaadvoorraad afneemt. In Engeland beweerde men zelfs dat onkruidbestrijding de enige reden is om de grond te bewerken (Russell & Keen, 1941). Toen door de komst van herbiciden deze hypothese kon worden getest, bleek die een misvatting te zijn. Achterwege laten van grondbewerking, zoals bij de vastegrondteelt, geeft niet alleen problemen bij het zaaien, door afwezigheid van een zaaibed en aanwezigheid van gewasresten, en doordat vooral lichte (niet zwellende en krimpende) gronden te dicht worden, maar bovendien door de toename van vooral grassen (Chancellor & Fryer, 1970).

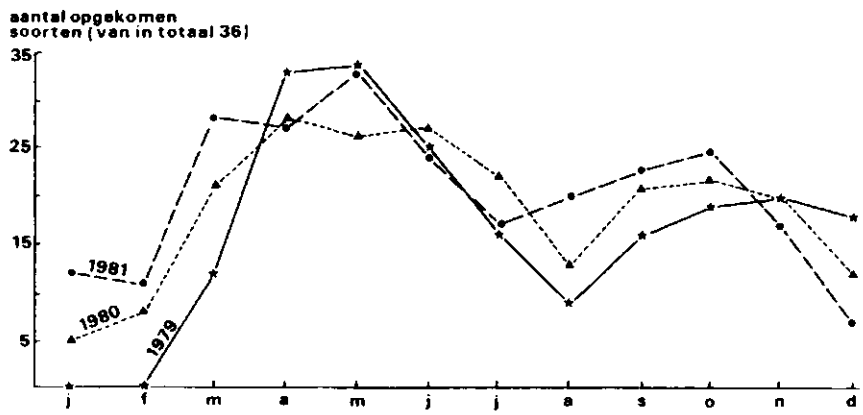
Een andere misvatting is het feit dat onkruidbestrijding alleen in de verzorgingsfase van een gewas plaatsvindt. Stoppelbewerking, hoofdgrondbewerking en zaaibedbereiding spelen eveneens een niet te verwaarlozen rol (figuur 6.1).




Figuur 6.1. Het doel van de grondbewerking in de vier fasen van de grondbewerkingscyclus (Kuipers, 1975).

## 6.2 Tijdstip van bewerken en periodiciteit

Door een grondbewerking kunnen zaden in een gunstige positie voor kieming worden gebracht. Of ze daarna zullen kiemen hangt af van hun kiembereidheid, het beschikbare vocht, de temperatuur en de daglengte: factoren die voor een belangrijk deel worden bepaald door de tijd van het jaar. Omdat er binnen een onkruidsoort en zelfs tussen de zaden van één onkruidplant grote verschillen voorkomen, kiemt in de regel maar een klein deel (bijvoorbeeld 4 % per jaar) van het aantal aanwezige zaden. Van Dord (1972), Van den Brand & Aarts (1982) en anderen vonden, zowel in aantal als in soorten, een piek in het voor- en najaar (figuur 6.2).




Figuur 6.2. Het aantal opgekomen onkruidsoorten per maand in 1979, 1980 en 1981 (Van den Brand & Aarts, 1982).

Kennis van de periodiciteit van de voorkomende onkruidsoorten kan worden gebruikt om het onkruid zo effectief mogelijk te beheersen door de keuze van het bewerkingstijdstip. Bewerkt men bijvoorbeeld in april dan kan men veel onkruid verwachten. Laat men in het voorjaar grondbewerking geheel achterwege, dan vindt bij bewerking na mei (kleefkruid; *Galium aparine*), na juni (melganzevoet; *Chenopodium album*) en na juli (zwarte nachtschade; *Solanum nigrum*), geen kieming meer plaats.

Sommige onkruiden, zoals straatgras (*Poa annua*) en knopkruid (*Galinsoga* spp.) zijn minder afhankelijk van het seizoen, mits de grond voldoende vochtig en de temperatuur voldoende hoog is. 's Winters vindt meestal geen kieming plaats vanwege de lage temperatuur. Daarom blijft laat in de herfst geploegd land gedurende de winter grotendeels onkruidvrij. 's Zomers kiemen weinig onkruidzaden ten gevolge van een tekort aan vocht.

## 6.3 Effecten van bewerken

### *6.3.1 Keren of niet*

Er is betrekkelijk weinig onderzoek gedaan naar het onkruidbestrijdend effect van de hoofdgrondbewerking, die onder onze omstandigheden vrijwel altijd met risterploegen wordt uitgevoerd. Verschillende onderzoekers, zoals Piccot (1977), Klooster (1980), McClean (1980), Patterson (1982), Traulsen (1982), Kouwenhoven (1983), Proctor et al. (1983) en Roberts (1984), hebben op het belang van het keren van de grond door de risterploeg met het oog op de onkruidbestrijding gewezen. Dit geldt zowel voor de gematigde streken (Rasmussen, 1982; tabel 6.1) als voor de tropen (Lufti, 1985; tabel 6.2).

Vervangt men de ploeg door een kultivator, die de grond wel losmaakt maar niet keert, dan wordt de kwaliteit van het zaaibed in geringe mate beïnvloed (Kouwenhoven, 1986), maar de onkruidpopulatie vrij sterk vergroot (Russell & Metha, 1938; Rasmussen, 1982).

Tabel 6.1. Aantallen van acht meest voorkomende onkruiden, na drie verschillende bewerkingen in de jaren 1979 en 1980 (gemiddelden van 4 tellingen) (Rasmussen, 1982).

| *Soort* | *Ploegen* | *Eggen* | *Frezen* |
|---|---|---|---|
| Muur (*Stellaria media*) | 39 | 78 | 225 |
| Vergeetmijniet (*Myosotis arvensis*) | 31 | 50 | 223 |
| Straatgras (*Poa annua*) | 1 | 49 | 225 |
| Spurrie (*Spergula arvensis*) | 16 | 52 | 70 |
| Akkerviool (*Viola arvensis*) | 4 | 1 | 82 |
| Zwaluwtong (*Polygonum convolvulus*) | 6 | 10 | 2 |
| Melganzevoet (*Chenopodium album*) | 4 | 1 | 1 |
| Kamille (*Matricaria discoidea*) | 0 | 21 | 1 |
| Totaal | 101 | 262 | 859 |

Tabel 6.2. Hoeveelheid onkruidzaad in de bouwvoor (20 cm) na risterploegen en kultivateren in Irak (kg/ha) (Lufti, 1985).

| | *Eerste jaar* | *Tweede jaar* |
|---|---|---|
| Na risterploegen | 836 | 1355 |
| Na kultivateren | 1055 | 1648 |
| Verschil | 219 | 293 |

Tabel 6.3. Invloed diepte grondbewerking op de populatieomvang van eenjarige onkruiden (Proctor et al., 1983).

| *Soort* | *Geringste populaties* | *Hoogste populaties* |
|---|---|---|
| Dycotylen | na ploegen | na ondiepe bewerkingen |
| Duist (*Alopecurus myosuroides*) | na ploegen | na ondiepe bewerking op grond met laag of matig organische-stofgehalte |
| | | bij vastegrondteelt op grond met een hoog of matig hoog organische-stofgehalte op het oppervlak |
| Wilde haver (*Avena fatua*) | bij vastegrondteelt en ondiepe bewerking | ploegen en diepe bewerking |
| Dravik (*Bromus arvensis*) | bij ploegen | vastegrondteelt en ondiepe bewerking |

### *6.3.2 Bewerkingsdiepte*

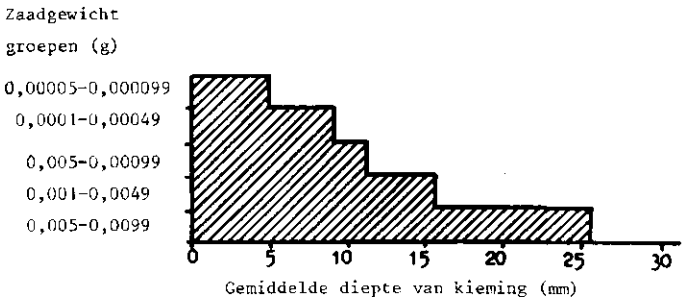
Ondiepe grondbewerkingen en vastegrondteelt doen over het algemeen naast eenjarige dicotylen, duist (*Alopecurus myosuroides*) en andere grassen, ook meerjarige onkruiden in aantal toenemen. Ondiepe grondbewerking is alleen gunstig voor de bestrijding van wilde haver (*Avena fatua*) (Proctor et al., 1983; tabel 6.3).

### *6.3.3 Verkruimelen*

Een goede verkruimeling van de grond bevordert zowel de opkomst en stand van het gewas (Bleasdale & Roberts, 1960; Kahnt et al., 1976; Rathore et al., 1983) als de kieming van onkruid (tabel 6.4). Dit kan verschillende oorzaken hebben:
- een hogere temperatuur van de grond bij aggregaten van 2–0.6 mm (Njøs, 1979);
- een hoger vochtgehalte bij aggregaten kleiner dan 1 mm (Kuipers, 1961);
- en wat het onkruid betreft een groter aantal kiemkrachtige zaden aan de buitenkant van een kluit (Terpstra, 1986; tabel 6.4); kleine aggregaten hebben meer 'buitenste

Tabel 6.4. Aantal kiembereidwillige zaden per 1000 gram stoofdroge grond bij verschillende kluitgrootten (Terpstra, 1986).

| *Kluitgrootte (mm)* | *Aantal kiembereidwillige zaden* |
|---|---|
| 3 – 6 | 37,6 |
| 10 – 16 | 35,1 |
| 20 – 35 | 32,6 |




Figuur 6.3. Het verband tussen zaadgrootte en de gemiddelde diepte van kieming (Chancellor, 1964).

laag' dan dezelfde hoeveelheid grond bestaande uit grote aggregaten. Dit geldt vooral voor kleine zaden die slechts zeer oppervlakkig kiemen (figuur 6.3). Vooral de grondfractie kleiner dan 2 mm schijnt hierbij een rol te spelen. Doordat de hoeveelheid fijn materiaal toeneemt met afnemende zwaarte van de grond, is de onkruidgroei op lichte gronden veel sterker dan op zwaardere (tabel 6.8).

Tabel 6.5. De opbrengst van diverse gewassen na verschillende hoofdgrondbewerkingen in Suriname (kg/ha; 12 % w/w vocht); tussen haakjes staan de relatieve opbrengsten vermeld, waarbij die na risterploegen op 100 is gesteld (Van der Sar, 1976).

| *Gewas* | *Na frezen* | *Na risterploeg* | *Vastegrondteelt* |
|---|---|---|---|
| Koeie-erwt | 736 (88) | 836 (100) | 596 (68) |
| Maïs | 2728 (92) | 2978 (100) | 2414 (81) |
| Aardnoot | 1909 (98) | 1947 (100) | 1675 (86) |
| Sorghum | 2734 (90) | 3032 (100) | 2513 (83) |
| Soja | 1465 (97) | 1517 (100) | 1155 (76) |
| Maïs | 2537 (87) | 2900 (100) | 2439 (84) |
| Gemiddeld | (92) | (100) | (80) |

Onder gunstige omstandigheden krijgt men na kultivateren een sterkere verkruimeling dan na ploegen. Dit is een tweede factor die een sterkere onkruidgroei na kultivateren bevordert ten opzichte van ploegen. Rasmussen (1982) vond op grof zand na eggen 2,5 maal zoveel en na frezen 8,5 maal zoveel onkruiden als na ploegen (tabel 6.1). In Suriname gaf vervanging van de risterploeg door een frees een opbrengstdaling van 8 % en vervanging door vastegrondteelt een daling van 20 % (Van der Sar, 1976; tabel 6.5).

### *6.3.4 Bedekken*

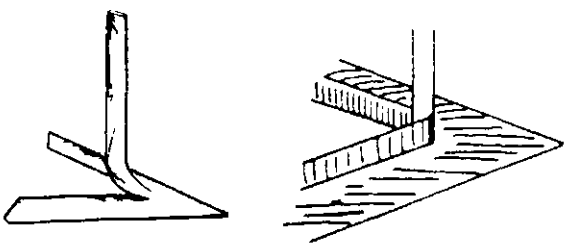
Het bedekken van onkruid met grond vindt, behalve bij ploegen, plaats bij aanaarden, frezen, schoffelen en eggen. Zo is het onkruidbestrijdend effect van schoffelen tijdens de verzorging niet alleen gelegen in het afsnijden van de bovengrondse delen, maar tevens in het bedekken van – bij voorkeur kleine – onkruiden. Een gronddek van 2 cm dikte is dan meestal dodelijk.

Grotere onkruiden kan men met ploegen en aanaarden nog wel baas. Aanaardschoffels (figuur 6.4) gebruikt men om onkruiden in de gewasrijen te bestrijden. Hierbij worden rugjes van 6–8 cm hoogte gemaakt. Ook dan moeten de onkruiden bij voorkeur niet hoger zijn dan 2–3 cm. Uitstel door regen kan deze bewerking onmogelijk maken waardoor de onkruiden te groot worden, terwijl regen na de bewerking het effect met 25–35 % beperkt (Terpstra, 1986).

### *6.3.5 Sorteren*

Het sorterend effect van (vooral getande) grondbewerkingswerktuigen speelt een belangrijkere rol in de mechanische onkruidbestrijding dan men zich vaak bewust is. Zo kunnen zaden door sorteren tot een zodanige diepte worden gebracht, dat ze niet kunnen opkomen (Soriano et al., 1968; tabel 6.6).

Sorteren houdt ook in, dat kleine aggregaten naar beneden en grote naar boven worden gebracht (Kouwenhoven, 1979). Omdat uit grotere kluiten minder onkruiden kiemen, kan men bij een toenemend aantal grove kluiten aan het oppervlak een afnemend aantal onkruiden verwachten (tabel 6.4).



Figuur 6.4. Een ganzevoet voor normaal schoffelen (links) en een ganzevoet met opstaande rand voor schoffelen + aanaarden (rechts).

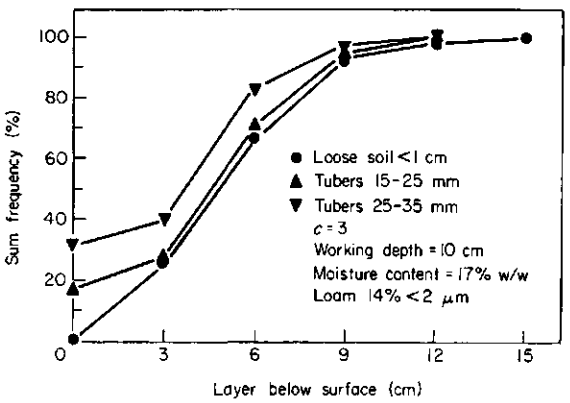
Tabel 6.6. Aantal luzerne- en vlaszaden in verschillende lagen van de bouwvoor na tweemaal ploegen tot een diepte van 20 cm en enige bewerkingen met een schijveneg (zaden waren voor bewerking op oppervlak gestrooid) (Soriano et al., 1968).

| *Diepte (cm)* | *Aantal zaden* | | *% van totaal gestrooid* | | *% van totaal teruggevonden* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *vlas* | *lucerne* | *vlas* | *lucerne* | *vlas* | *lucerne* |
| 0 – 4 | 48 | 18 | 1,0 | 0,5 | 2,6 | 2,2 |
| 4 – 8 | 113 | 43 | 3,1 | 1,2 | 6,2 | 5,1 |
| 8 – 12 | 307 | 168 | 8,5 | 4,7 | 16,7 | 20,7 |
| 12 – 16 | 562 | 272 | 15,6 | 7,6 | 30,6 | 32,0 |
| 16 – 20 | 805 | 334 | 22,4 | 9,3 | 43,9 | 40,0 |
| Totaal | 1835 | 835 | 50,6 | 23,3 | 100,0 | 100,0 |

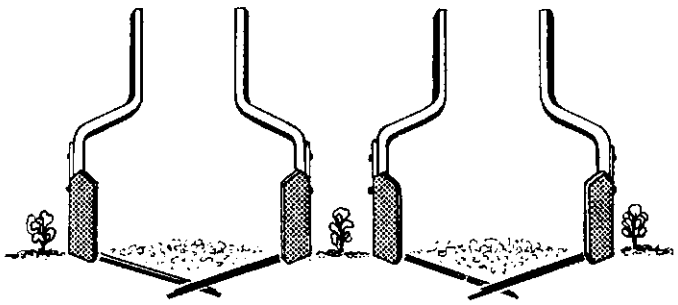
Rizomen, zoals van kweek (*Elytrigia repens*), kunnen bijvoorbeeld met een triltandkultivator door sortering naar boven worden gebracht. Volgt op deze bewerking een voldoende lange periode van droog weer dan drogen de rizomen uit en zullen over het algemeen doodgaan.

Verliesknollen van aardappelen (*Solanum tuberosum*) houdt men zo hoog mogelijk in de bouwvoor (zodat ze 's winters gemakkelijker bevriezen) door ploegen te vervangen door kultivateren. Omdat de door de rooier gezeefde grond grotendeels fijner is dan de verliesknollen, lukt dit vrij goed.

Het sorterend effect van getande grondbewerkingswerktuigen is het sterkst bij gebruik van stekende, (ver)brede tanden bij een lage rijsnelheid en onder droge omstandigheden (Lumkes, 1974; Kouwenhoven & Terpstra, 1979; figuur 6.5).




Figuur 6.5. De vertikale verdeling van (fijne) aggregaten en twee maten aardappelen in de bouwvoor na bewerking met een vastetandkultivator (Kouwenhoven & Terpstra, 1979).



Figuur 6.6. Ondiep schoffelen tot dicht bij de planten.

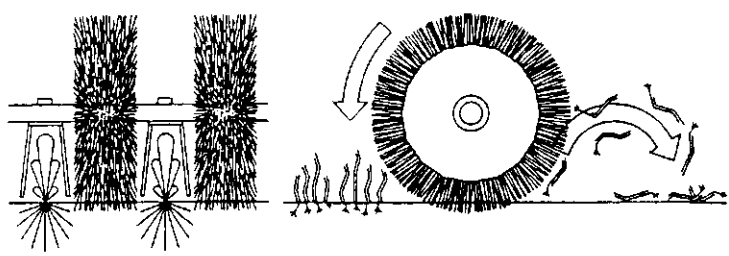
### *6.3.6 Afsnijden*

Onder onze omstandigheden moet men bij het afsnijden vooral denken aan schoffelen (figuur 6.6), stoppelploegen en frezen. Afsnijden gaat gemakkelijker naarmate planten groter zijn. Bij deze bewerkingen speelt ook het bedekken met grond en, bij schoffelen van kleine onkruiden, ook ontwortelen een rol. Bij het frezen worden bovengrondse delen van het onkruid en vooral ondergrondse delen, zoals rizomen, in kleine stukjes gesneden, die met de grond worden gemengd. Vooral bij vochtig weer kunnen bij sommige soorten deze stukjes weer uit lopen. Daarom moet de freesbewerking meestal worden herhaald. Onder droge omstandigheden zijn door herhaald frezen goede resultaten verkregen (Fail, 1956).

Een voordeel van afsnijden is het feit dat alle aanwezige onkruiden worden bestreden, voor zover ze tussen de rijen staan, en dat bijvoorbeeld in maïs geen problemen met resistente onkruiden als hanepoot (*Echinochloa crus-galli*), kweek en haagwinde (*Calystegia sepium*) ontstaan. Een nadeel is het sterk verminderde effect van de bewerking na nat weer bij verschillende onkruidsoorten.

### *6.3.7 Ontwortelen*

Ontwortelen met de hand wordt wieden genoemd. Dit gaat gemakkelijker naarmate de onkruiden groter zijn. Buiten volkstuinen en dergelijke vindt dit ontwortelen in ons



Figuur 6.7. De wiedborstel in boven- (links) en in zijaanzicht (rechts).

land meestal plaats door eggen, kultivateren, schoffelen, aanaarden en ook wel door gebruik van een wiedborstel (figuur 6.7). Er worden meer onkruiden door ontwortelen gedood naarmate ze kleiner zijn. Evenals bij het afsnijden is droog weer volgende op de bewerking van groot belang voor een goed resultaat. In een laboratoriumproef was het dodingspercentage 12 % lager, wanneer na de bewerking werd beregend (Terpstra & Kouwenhoven, 1981).

## 6.4 Uitvoering in de akkerbouw

### *6.4.1 Bewerkingstypen*

Grondbewerkingen kunnen al dan niet volvelds worden uitgevoerd. Niet-volveldse bewerkingen kan men onderscheiden in rijen- en strokenbewerkingen. In het eerste geval wordt alleen in de gewasrijen gewerkt en in het tweede geval alleen tussen de gewasrijen. Hoe in de vier fasen van de grondbewerkingscyclus wordt gewerkt, kan men zien in tabel 6.7. Door bij de zaaibedbereiding alleen een rijenbewerking toe te passen, bijvoorbeeld door te frezen, blijft de grond tussen de rijen grover, waardoor minder onkruid zal voorkomen en er tevens minder kans is op verslemping en erosie. Schoffelen wordt in dit geval moeilijker. Rijenbewerking tijdens de verzorging levert nogal eens problemen op, vooral ten gevolge van weersomstandigheden.

### *6.4.2 Stoppelbewerking*

De stoppelbewerking dient om aanwezige (overblijvende) onkruiden te vernietigen en zaden te doen kiemen. Tabel 6.8 laat zien welke invloed (de wijze van) bewerken van twee grondsoorten heeft op het aantal onkruiden in de herfst. Hieruit blijkt dat:

op zand

- na stoppelbewerking minder onkruiden voorkomen dan zonder stoppelbewerking;
- na ploegen minder onkruiden voorkomen dan na kultivateren;
- na extra bewerking met triltand meer onkruiden voorkomen dan zonder extra bewerking;

op klei

- na stoppelbewerking meer onkruiden voorkomen dan zonder stoppelbewerking;
- na ploegen minder onkruiden voorkomen dan na kultivateren (evenals op zand);

Tabel 6.7. Bewerkingstypen in de vier fasen van de grondbewerkingscyclus.

| *Fase* | *Volveldsbewerking* | *Strokenbewerking* | *Rijenbewerking* |
|---|---|---|---|
| Stoppelen | x | – | – |
| Hoofdgrondbewerking | x | – | – |
| Zaaibedbereiding | x | – | x |
| Verzorging | x | x | x |

Tabel 6.8. Het aantal onkruiden op zand (ca. 6 % $<2\ \mu m$) en op lichte klei (ca. 22 % $<2\ \mu m$) op 28 oktober 1977 na stoppelbewerking (15 cm) en na bewerkingen met een triltandkultivator (iedere 2–4 weken 5–12 cm diep) (Wevers et al., 1986).

| | Zand | | | Klei | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | stoppelploeg | triltand | geen bewerking | stoppelploeg | triltand | geen bewerking |
| Nabewerking met triltand | 40 | 96 | 134 | 96 | 148 | 112 |
| Onbewerkt | 28 | 87 | 100 | 186 | 257 | 100 |
| | 100 = 126 pl/m$^2$ | | | 100 = 14 pl/m$^2$ | | |

Tabel 6.9. Relatief aantal planten na diverse bewerkingen op 13 september 1977 op zware grond (40 % $<2\ \mu m$) (Wevers et al., 1986).

| *Bewerking* | *Onbewerkt* | *Geploegd* | *Gekultivaterd* |
|---|---|---|---|
| Aantal planten (rel.) | 100 | 198 | 275 |

– nabewerkingen in minder onkruiden resulteren.

Op zwaardere gronden lijkt stoppelbewerking de kieming van onkruiden te bevorderen; op lichtere gronden daarentegen niet. Kultivateren geeft op beide grondsoorten meer onkruiden (tabel 6.8. en 6.9).

### *6.4.3 Hoofdgrondbewerking*

De hoofdgrondbewerking is ook voor de onkruidbestrijding de belangrijkste bewerking. Het aantal onkruiden dat men in het voorjaar in een gewas aantreft, wordt beïnvloed door tijdstip en wijze van hoofdgrondbewerking. Het aantal neemt toe naarmate later – in de periode november-april – wordt geploegd (Beuret, 1982; Kouwenhoven, 1983). Doordat op laat geploegde percelen de onkruiden kleiner zijn dan op de vroeg geploegde, zijn ze gemakkelijker te bestrijden. In een droog voorjaar neemt echter het aantal onkruiden bij later ploegen af (tabel 6.10).

Verbetering van de vochtvoorziening door kunstmatige verdichting met vorenpakkers of dubbellucht doet het aantal onkruiden toenemen (Kouwenhoven et al., 1981). Deze waarnemingen benadrukken het belang van de vochtvoorziening voor de kieming van het onkruidzaad. Deze laat al snel te wensen over, omdat de meeste (98 %) zaden in de bovenste 5 cm van de bouwvoor kiemen, een laag die in het voorjaar snel uitdroogt (Chancellor, 1964). Volgt op de kieming een droge periode dan zullen veel kiemplanten alsnog sterven.

Tabel 6.10. Het aantal onkruiden (relatieve waarden tussen haken) per $m^2$ op zandgrond, geteld eind mei, bij drie periodes van ploegen.

| *Jaar* | *Weer* | *Periode I (tot eind januari)* | *Periode II (februari/eind maart)* | *Periode III (april)* |
|---|---|---|---|---|
| 1978 | droog (mei) | 131 ( 83) | 157 (100) | |
| 1979 | nat; niet aangereden | | 163 (100) | 171 (105) |
| | wel aangereden | | | 248 (152) |
| 1980 | droog; niet aangereden | 84 (115) | 73 (100) | 56 ( 77) |
| | wel aangereden | 86 ( 93) | 92 (100) | 80 ( 87) |

Tabel 6.11. De bedekkingsgraad (%) na en zonder zaaibedbereiding (Wevers et al., 1986).

| *Proef no.* | *Na zaaibedbereiding* | *Zonder zaaibedbereiding* |
|---|---|---|
| 1 | 3,1 | 6,5 |
| 2 | 8,1 | 10,6 |
| 3 | 9,3 | 16,0 |

### *6.4.4 Zaaibedbereiding*

De zaaibedbereiding oefent een duidelijke invloed uit op het aantal onkruiden. Kleine onkruiden worden gedood, maar tegelijkertijd wordt ook voor de onkruidzaden een zaaibed gemaakt. Wevers et al. (1986) vonden na een zaaibedbereiding 25 % meer onkruiden dan zonder zaaibedbereiding. De bedekkingsgraad bleek als gevolg van de zaaibedbereiding echter af te nemen (tabel 6.11).

### *6.4.5 Gewasverzorging*

#### 6.4.5.1 Werktuigeffecten

Wanneer onkruidbestrijding ter sprake komt, denkt men meestal aan de verzorgingsfase. Onkruidbestrijding met de schoffel en hak vroeg in deze fase dan ook veel tijd. De term 'hakvruchten', die hierop wees, is teloor gegaan, omdat na de oorlog in de verzorgingsfase de meeste successen met chemische onkruidbestrijding zijn behaald. Voor mechanische onkruidbestrijding komen de volgende werktuigen met de aangegeven effecten in aanmerking (tabel 6.12).

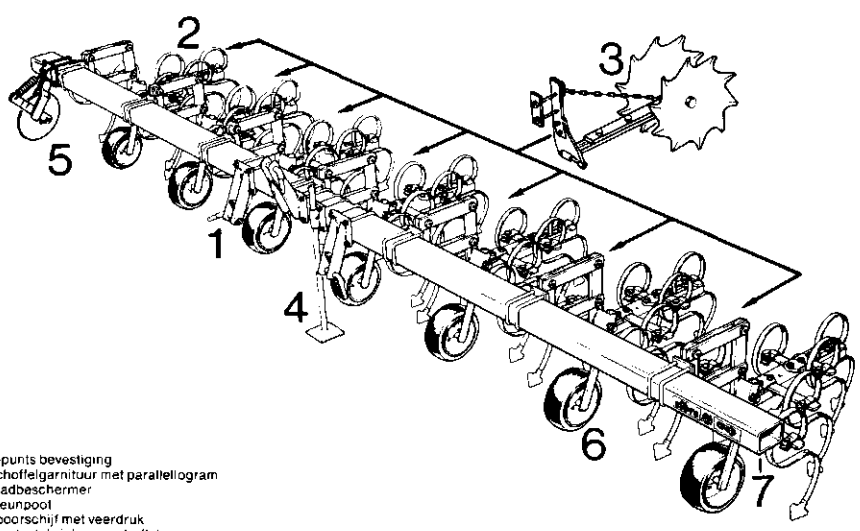
Uit het bovenstaande blijkt het belang van ontwortelen en bedekken, terwijl bijna altijd meer dan een effect voorkomt. Dit laatst kan nog worden versterkt door het combineren van werktuigen, bijvoorbeeld frezen en aanaarden. Behalve bij de betrekkelijk weinig toegepaste technieken van maaien en branden, zijn alle maatregelen

Tabel 6.12. Werktuigen en hun effecten (x) tijdens de verzorging.

| *Werktuig* | *Bedekken* | *Sorteren* | *Afsnijden* | *Ontwortelen* | *Cellen barsten* |
|---|---|---|---|---|---|
| (Aanaard)schoffel | x | – | x | x | – |
| Kultivator | x | x | x | x | – |
| Eg | x | x | – | x | – |
| Stereg | x | – | – | x | – |
| Frees | x | – | x | x | – |
| Aanaarder | x | – | – | x | – |
| Maaier | – | – | x | – | – |
| Brander | – | – | – | – | x |

grondbewerkingen, die bij voorkeur ondiep (2–4 cm), in droge grond en bij droog weer moeten worden uitgevoerd.

Bewerkingen in de rij kunnen alleen worden uitgevoerd met een aanaarder,een aanaardschoffel, een strokenstereg, waarmee kleine onkruidplanten in de rij met grond worden bedekt. Soms kan men met volvelds eggen een goed resultaat bereiken, bijvoorbeeld in granen. Kunnen deze werkzaamheden door natte weersomstandigheden niet worden uitgevoerd dan kan de onkruidgroei in de rij verontrustende vormen aannemen. Alle bewerkingen sorteren het beste effect wanneer de onkruidplanten klein zijn (bijvoorbeeld 4 cm hoog). Alleen voor maaien is de grootte van de onkruiden van minder belang. De onkruideg en de brander kunnen (vóór en na zaaien) vóór opkomst van het gewas en soms ook nog na opkomst worden toegepast; bij de andere werktuigen ligt het accent op strokentoepassing en daarmee op behandeling na opkomst.




1. 3-punts bevestiging
2. schoffelgarnituur met parallellogram
3. bladbeschermer
4. steunpoot
5. spoorschijf met veerdruk
6. dieptestelwiel voor schoffelmes
7. wiedbalk

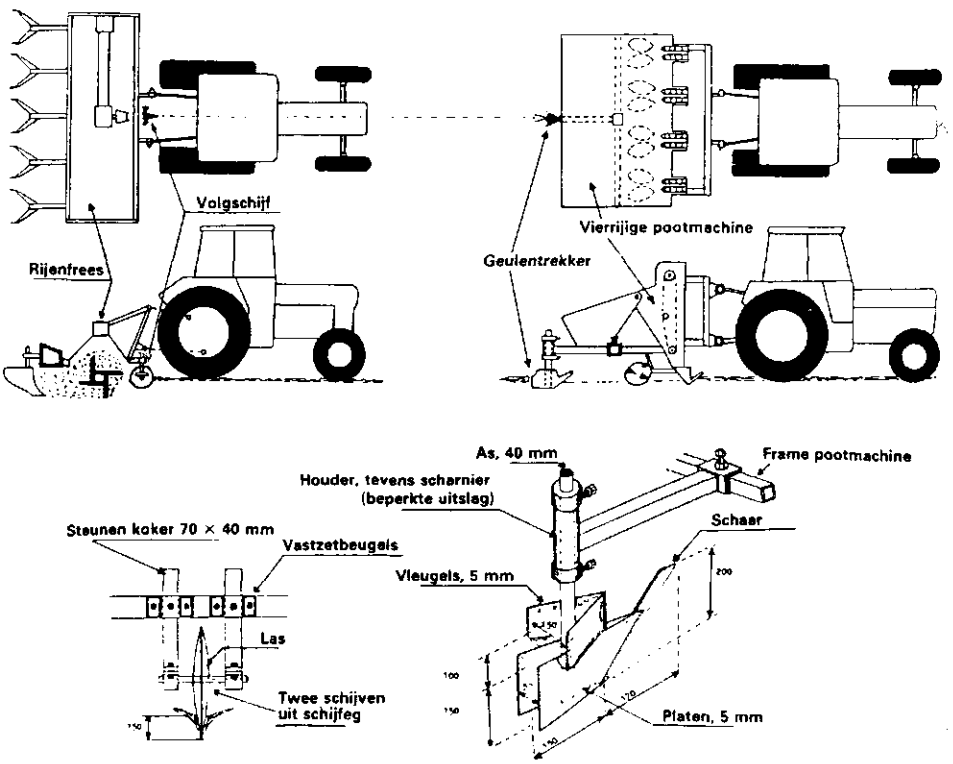
Figuur 6.8. De strokenkultivator of trilschoffel (Kongskilde).

Als het gewas klein is, worden bladbeschermers toegepast om te voorkomen dat ook het gewas met grond wordt bedekt of door een schuivende korst wordt ontworteld (figuur 6.8 en 6.13).

### 6.4.5.2 Werkbreedte

De werkbreedte per element is vooral van groot belang bij onkruidbestrijding door strokengrondbewerking. Werkt men te breed dan worden planten beschadigd; werkt men te smal dan zal vooral direct naast de rijen een aanzienlijke onkruidgroei optreden, omdat de concurrentie met het gewas daar minder sterk is dan in de rij. Werktuigen die vooral voor strokenbewerking in aanmerking komen zijn: de strokenfrees (meestal rijenfrees genoemd), de strokenroleg, de wiedborstel (figuur 6.7) en de strokencultivator (vaak trilschoffel genoemd) (figuur 6.8).

Om zo breed mogelijk te kunnen werken, zonder door een stuurfout het gewas uit te rijden, kan men bij het zaaien een gleuf in de grond aanbrengen. Door verzorgingswerktuigen van dezelfde breedte als de zaaimachine toe te passen en deze werktuigen door middel van genoemde gleuf te besturen, kan men snel rijden en breed werken (Pollema, 1984; Bertram, 1985; Andringa, 1986; figuur 6.9).

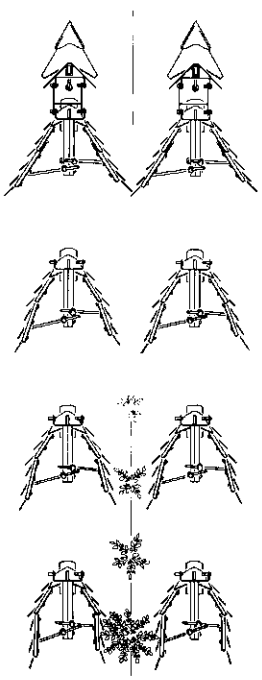



Figuur 6.9. Combinatie van pootmachine en spoorvolgende strokenfrees (boven) met volgschijf op de strokenfrees en geulentrekker op de pootmachine (onder) (Pollema, 1984).

Bij maïs kan men een strook ter breedte van de rijenafstand (75 cm) verminderd met 20 – 25 cm bewerken/frezen tot een werkdiepte van 4 – 6 cm in het 5 – 6 bladstadium (Van der Werf et al., 1983) en bij bieten is de werkbreedte bij schoffelen: rijenafstand (50 cm) verminderd met 10 – 15 cm. Door in vierkantsverband te werken kan het voor schoffelen bereikbare oppervlak aanzienlijk worden vergroot. Plant men bijvoorbeeld papierkluitplanten van bieten in een verband van 37,5 cm × 37,5 cm (71 000 planten per ha), dan wordt bij een schoffelbreedte van 25 cm het bewerkte opppervlak vergroot van 67 % naar 89 %; bij een plantverband van 50 cm × 50 cm (40 000 planten per ha) neemt het bewerkte oppervlak bij een schoffelbreedte van 37,5 cm toe van 75 % naar ca. 94 % (Kouwenhoven et al., 1990).

Het lijkt erop dat men niet al te bang hoeft te zijn voor wortelbeschadiging, indien deze binnen redelijke grenzen blijft (Aarts, 1980). Dit is ook bij strokenfrezen in aardappelen naar voren gekomen. Wanneer het onkruid in aardappelen mechanisch wordt bestreden door de ruggen in meer dan één keer op te bouwen moet men, naarmate de aardappelen groter worden en het seizoen vordert, smaller gaan werken (figuur 6.10). Bewerkingen tijdens de knolzetting moeten worden vermeden.

Bij toepassing van onkruideggen of wiedeggen in graangewassen, moet men in een vroeg stadium en liefst met grote werkbreedte werken (Neururer, 1977). Bij graan kan dit vanaf het 2-bladstadium, evenals bij bieten en maïs, en bij koolzaad vanaf het



Figuur 6.10. Stand van aanaarders bij het opbouwen van aardappelruggen in de loop van het groeiseizoen.

6-bladstadium. In jonge gewassen moet met slepende tanden worden gewerkt (Beuret, 1982).

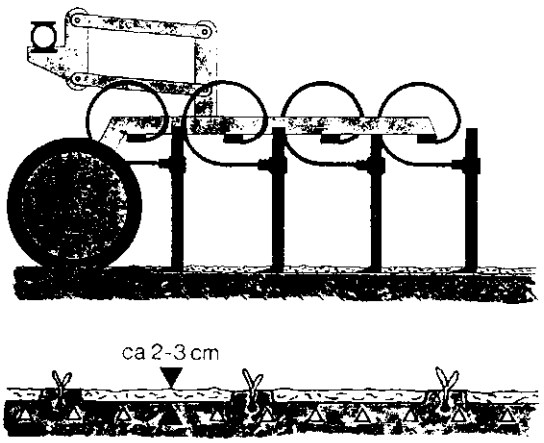
6.4.5.3 Werkdiepte

Bij frezen tijdens de verzorging van maïs werd een meeropbrengst verkregen tot een werkdiepte van 8 cm (Van der Werf et al., 1983). Bij schoffelen wordt algemeen een geringe werkdiepte aanbevolen om uitdrogen van het onkruid te bevorderen. Ondiep werken beperkt het dekken van het onkruid met grond. Toch neemt het bedekken met grond bij schoffelen soms de helft van het dodend effect voor zijn rekening. Een toename van de werkdiepte van 2,5 naar 4 cm bracht slechts een toename van het aantal dode planten van minder dan 10 % teweeg. De onkruiden moeten bij voorkeur niet hoger zijn dan 2–3 cm; in dat geval is een gronddek van 1,5 cm reeds dodelijk. Zijn de planten tweemaal zolang dan moet het gronddek minstens 2 cm zijn (Terpstra & Kouwenhoven, 1981).

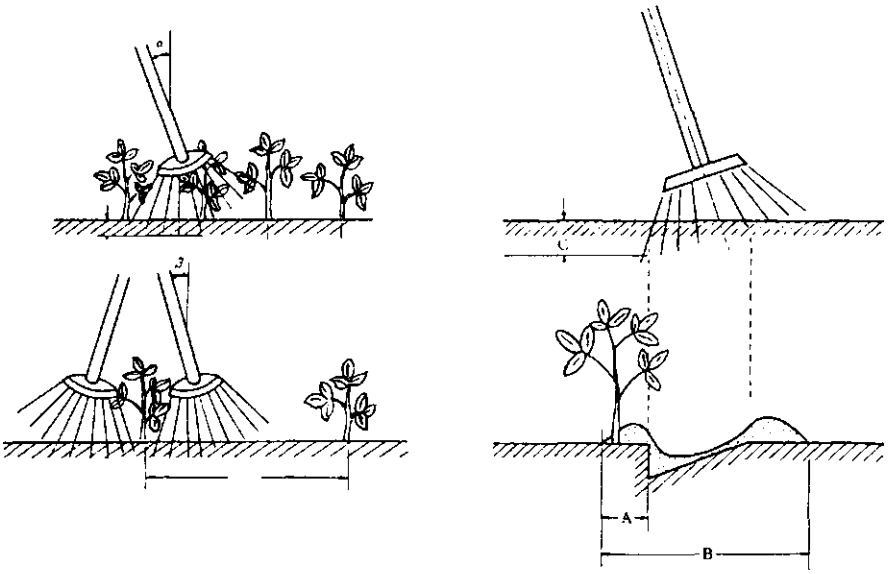
Uit onderzoek is gebleken dat een strokencultivator optimaal werkt bij een werkdiepte van 2–3 cm (figuur 6.11). De werkdiepte van een wiedborstel bedraagt 0,2–3 cm. Door het borsteleffect komt het onkruid boven op de grond te liggen, waardoor het kan uitdrogen.

6.4.5.4 Onkruidbeheersing in de gewasrijen

In een jong stadium van het gewas kunnen onkruidbestrijdende bewerkingen volvelds en dus ook in de gewasrijen worden uitgevoerd. In latere groeistadia zijn er twee mogelijkheden:
- bewerken met aanaardschoffels of aanaarders (figuur 6.4 en 6.10);
- gebruik van 'kopegjes', die bij juiste en tijdige toepassing een goed resultaat kun-




Figuur 6.11. Ondiep werkende strokenkultivator.




Figuur 6.12. Onkruidbestrijding in de rij met kopegjes (Naka, 1981).

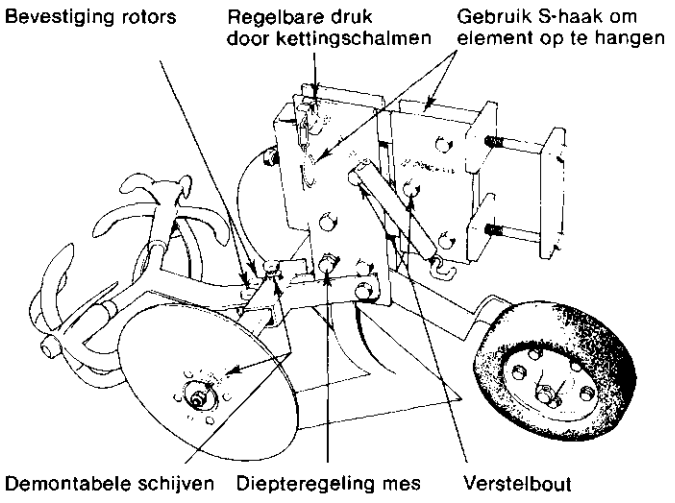
nen opleveren, zoals uit Japanse proeven is gebleken (Naka, 1981; figuur 6.12).

Aanaardschoffels bestrijden zowel het onkruid tussen de rijen door afsnijden en bedekken als het onkruid in gewasrijen door bedekken. Ze worden, vooral in bieten, vlak voor het sluiten van het gewas toegepast. De aanaardschoffel kan met succes worden gebruikt in gewassen met rijenafstanden die ca. 50 % groter zijn dan de werkbreedte van de aanaardschoffel om de kans op wortelbeschadiging te beperken (Terpstra & Kouwenhoven, 1981).

### 6.4.5.5 Schoffelen

Bij het schoffelen wordt het onkruid door naar achter gerichte messen losgesneden. Daarvoor moeten de messen vooral op zand scherp zijn, omdat anders het onkruid met grond naar de gewasrijen kan worden geschoven, waar het onkruid na een regenbuitje weer gemakkelijk aanslaat en vervolgens moeilijk mechanisch te bestrijden is. Om vastgroeien na schoffelen te voorkomen gebruikt men wel kooirolletjes (figuur 6.13), harkjes en soms borstels, waardoor het onkruid bovenop de grond komt te liggen en uitdroogt.

Schoffelbalken werden meestal voorop de trekker gemonteerd. De laatste tijd is er een duidelijke tendens om ze achterop de trekker te plaatsen, in combinatie met stuurschijven in de vorm van schijfkouters (De Boer, 1986). Hoge rijsnelheden (6–12 km per uur) gaan vaak ten koste van de schoffelbreedte.




Figuur 6.13. Schoffelelement met schijven en kooirolletjes (Steketee).

### 6.4.5.6 Cultivateren

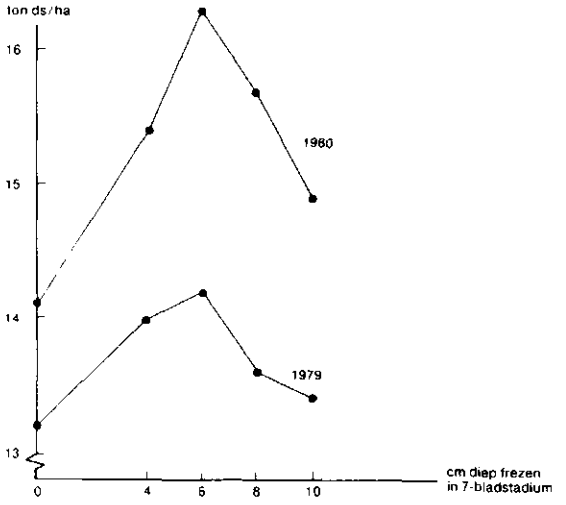
In plaats van schoffels kunnen ook een aantal (3 – 5) triltanden voorzien van ganzevoeten worden gebruikt. Deze worden vaak trilschoffels genoemd (figuur 6.8). Ondervinden de ganzevoeten weerstand dan buigt de steel naar achteren en gaat de ganzevoet dieper lopen. Dit heeft een onregelmatige werkdiepte en kans op naar boven halen van natte grond tengevolge. Deze werkwijze is dan ook alleen geschikt op lichte gronden.

### 6.4.5.7 Eggen

Eggen komt voor als volveldsbewerking vóór en na opkomst, als strokenbewerking in de vorm van veertandegjes, die tevens dienen om grond voor de ruggenopbouw los te maken, en als rijeneg in de vorm van ruggenkrabbers.

### 6.4.5.8 Strokenstereggen

Bij strokenstereggen werken tussen elke rij twee elementen, die in verschillende standen kunnen worden gezet, waardoor verkruimeling en aanaardend effect kunnen worden beïnvloed. Ze worden vooral in maïs gebruikt, waarbij eerst grond van de plantrijen af en later weer naar de rijen toe wordt gewerkt. Doordat ze niet snijden is de kans op wortelbeschadiging klein. Een nadeel is dat ze zwaar en moeilijk af te stellen zijn.




Figuur 6.14. Invloed van de werkdiepte bij strokenfrezen op de opbrengst van maïs (Aarts, 1980).

### 6.4.5.9 Frezen

De strokenfrees bestaat uit afzonderlijke elementen die door een bovenliggende as worden aangedreven. Ze zijn weinig gevoelig voor verstopping en kunnen ook grotere (hoeveelheden) onkruiden verwerken. Het fijnmaken van de grond en het mengen van onkruiden met de grond maakt, vooral als er op de bewerking regen volgt, de kans op hergroei groot. Omdat een frees snijdt, is er kans op wortelbeschadiging. Wanneer men dieper dan 4 cm werkt, treedt bij maïs wortelbeschadiging op, die echter geen opbrengstderving hoeft te geven. Bij proeven is een optimale werkdiepte van 6 cm vastgesteld (figuur 6.14).

### 6.4.5.10 Aanaarden

De aanaardbewerking kan worden uitgevoerd met aanaarders, met aanaardschoffels en met strokenstereggen. Bij niet te groot onkruid is aanaarden (bedekken met grond) zeer effectief gebleken. Het is een van de redenen om aardappelruggen in fasen op te bouwen. Aanaardschoffels worden bijvoorbeeld in bieten gebruikt tijdens de laatste maal schoffelen vóór het sluiten van het gewas. Met een snelheid van 7 – 8 km per uur wordt een rug van ongeveer 6 – 8 cm hoogte in de rij gemaakt.

### 6.4.5.11 Wieden

Onkruiden in de rij, die aan de genomen maatregelen zijn ontsnapt, dient men met de hand uit te trekken, chemisch te bestrijden of door hakken te verwijderen. Het hiervoor benodigde aantal uren kan worden benaderd met de formule:

uren per ha = 3 + N/3

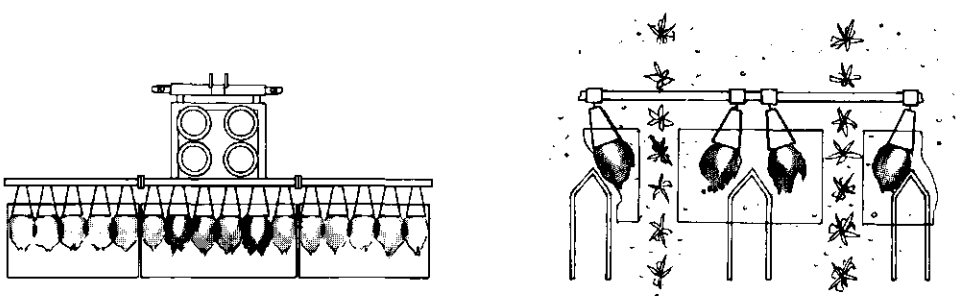
(waarin N = het aantal onkruiden per 10 m rij) (Aarts & Dekkers, 1985).

6.4.5.12 Maaien

Maaien wordt vooral in de tropen uitgevoerd ter bestrijding van onkruid. In de randen van bosplantsoenvakken in het stedelijk groen, maait men een- of tweemaal per jaar. Hiervoor maakt men meestal gebruik van cirkelmaaiers.

6.4.5.13 Branden

De onkruidbestrijdende werking van branden wordt verkregen doordat door de plotselinge warmtetoename de cellen van de planten barsten, waarna de planten verdrogen. Bij de branders, die als regel op propaan werken, kan men 4 typen onderscheiden:
– Openbrander, waarbij het uit de doppen stromende gas gemengd met de lucht verbrandt onder een kap. Deze is zeer geschikt voor vóór-opkomst bestrijding van kleine zaadonkruiden, bijvoorbeeld in uien. Nadelen zijn de windgevoeligheid, de korte periode van de maximumtemperatuur en de kans op schade in het gewas (figuur 6.15).
– Stootbrander, waarbij de verbranding plaatsvindt in een gesloten bak met schoorsteen voor de afvoer van de gassen. Deze bakken zijn 80 cm lang en 15–40 cm breed. Tegenover de branderset die voor of achter in de bak kan zijn geplaatst, bevindt zich een beweegbare klep, om de warmte zoveel mogelijk vast te houden en stenen en dergelijke door te laten.
– Stralingsbrander, waarbij de boven in de bak (125 cm × 22 cm) geplaatste brander een keramische plaat verhit. De temperatuur onder de keramische plaat, gemeten aan het maaiveld, is weliswaar 200-300 °C in plaats van 800-900 °C bij de stootbrander, maar de tijd gedurende welke het onkruid aan de genoemde temperatuur wordt blootgesteld is relatief lang, zodat een dodingspercentage van 85 % bereikt kan worden (tabel 6.13).
– Combinatiebrander is een stralingsbrander voorafgegaan door een stootbrander.



Figuur 6.15. Brander voor volveldsbehandeling (links) en voor rijenbehandeling in maïs (rechts) (Weichel).

Tabel 6.13. Gegevens en resultaten van enige brandertypen bij rijsnelheden van 1, 2 en 1,5 km/h), bij een gasdruk van 1,5 bar; temperaturen gemeten met thermokoppels aan het maaiveld in de kas (Klooster, 1983).

| | *Stootbrander* | | *Stralingbrander* | | *Stoot-/stralingbrander* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *1* | *2* | *1* | *2* | *1,5* | *1,5 (km/h)* |
| Gasverbruik (g/cm per uur) | 88 | 88 | 68 | 68 | 80 | 80 |
| Temperatuur (°C) | 833 | 800 | 273 | 251 | 405 | 284 |
| Dodingspercentage | 95 | 83 | 85 | 52 | – | – |

Dit werktuig is vooral bedoeld voor onkruidbestrijding in plantsoenen en op verhardingen.

Alleen kleine onkruidplanten (tot 4 cm hoogte) worden door branden gedood. Grassen blijken zich snel te herstellen. Bij hogere onkruiden werkt de stootbrander beter dan de stralingsbrander, omdat bij de laatste het infrarood door de bovenliggende plantedelen voor de lagere delen wordt afgeschermd. Om voldoende doding te krijgen, dienen grond en gewas droog te zijn en de rijsnelheid laag gehouden te worden. Dit brengt een lage capaciteit en daarmee hoge kosten (*f* 700 – 1100 per ha) door manuren, trekkeruren en machinekosten met zich mee. De kosten van het gasverbruik (40 – 80 kg per ha) zijn relatief gering (15 – 20 %). Bij voorkomen van groot onkruid is een herhaling van de behandeling noodzakelijk: eenmaal per 3 – 4 weken.

Branden vindt voornamelijk plaats op bedrijven, die geen herbiciden willen gebruiken, zoals biologisch-dynamische bedrijven, en op terreinen waar geen herbiciden mogen worden gebruikt. Men brandt:
- bij vlakveldteelt tussen de gewasrijen (strokenbehandeling);
- bij de ruggenteelt van witlof en winterwortelen tussen de ruggen (strokenbehandeling);
- volvelds bij gewassen met een lange periode tussen zaai en opkomst, zoals uien;
- op biologisch-dynamische bedrijven;
- in openbaar groen en waterwingebieden.

De capaciteit van het branden zou kunnen worden vergroot door een toename van de werkbreedte en de rentabiliteit door een toename van het aantal machine-uren.

### 6.4.5.14 Inundatie

Voor inundatie in de bollenteelt moet een goed gedraineerd stuk land worden geploegd en geëgaliseerd en daarna omdijkt. Vervolgens wordt het gedurende de zomermaanden tenminste zes weken onder water gezet, terwijl het drainage systeem is afgesloten. Op zandgrond blijkt voor alle onkruiden en opslag dat tijdens de inundatieperiode geen groei optreedt. Klein hoefblad (*Tussilago farfara*) en akkerdistel (*Cirsium arvense*) worden goed bestreden; grassen nemen sterk in aantal af. Voor opslag is het effect

per gewas verschillend. Onkruidbestrijding door inundatie is een van de redenen om rijst op sawahs te telen.

## 6.5 Uitvoering in openbaar groen

Onkruidbestrijding in het openbaar groen kan men vergelijken met de onkruidbestrijding in de verzorgingsfase in akkerbouwgewassen. Uitgangssituatie voor het planten van nieuw materiaal dient een schone grond te zijn, dat wil zeggen met zo weinig mogelijk onkruidzaden, overblijvende onkruiden en wortelresten. In het openbaar groen maakt men gebruik van:
- mechanische (afsnijden en dekken) en thermische methoden (branden);
- bodembedekking met boomschors of houtsnippers (Heikens, 1986a,b).

### *6.5.1 Frezen*

Voor frezen gebruikt men een hakfrees (280–400 t per min) met een werkdiepte van 2 cm. Een frees met aangedreven wielen is het beste in de hand te houden. Ze zijn goed te gebruiken tussen de rijen van plantsoen op rij. Soms worden ze ook wel in de rijen gebruikt, maar in de praktijk blijkt dan gemakkelijk aanrijschade in het plantsoen te ontstaan, zodat men voor onkruidbestrijding in de rij aan hakken met de hand de voorkeur geeft. Het afgesneden onkruid houdt contact met de grond, daarom is de kans op hergroei, vooral bij regenachtig weer, vrij groot. Bovendien groeien overblijvende onkruiden weer opnieuw uit.

### *6.5.2 Schoffelen en hakken*

Bij schoffelen en hakken is het eveneens gewenst zo oppervlakkig mogelijk te werken en voornamelijk tussen de rijen. Hierbij wordt wel gebruik gemaakt van een schoffelraam, voorzien van kultivatortanden met beitels of ganzevoeten. De rijenafstand moet minstens 1 m zijn.

De momenteel weer meer in de belangstelling komende rolschoffel, een schoffelmes met messenkooi, heeft een hogere bewerkingssnelheid dan een gewone handschoffel. In alle gevallen is het resultaat het best wanneer gewerkt wordt onder droge omstandigheden en wanneer het onkruid nog klein is.

### *6.5.3 Branden*

De werkwijze en typen branders zijn reeds in paragraaf 6.4.5.13 besproken. In plantsoen en op paden komt vooral de combinatiebrander voor gebruik in aanmerking.

### *6.5.4 Bodembedekking met schors, houtsnippers of plastic*

Schors van grove den (pijn) en fijnspar is een bijprodukt van de houtverwerkende

industrie. Het wordt al dan niet machinaal aangebracht met een minimale dikte van 10 cm. Deze dikte is voldoende om de kieming van zaadonkruiden te voorkomen maar overblijvende onkruiden komen er toch nog wel enigszins doorheen. De dikte van de laag neemt per jaar met 10 – 20 % af; hij moet iedere 4 – 5 jaar weer worden aangevuld. De schors moet zo dicht mogelijk rond de stammen en dergelijke worden aangebracht, als permanente beheersing nodig is. Door humusvorming en uitlopen door katten en honden, neemt de laagdikte aan de randen sneller af, waardoor overblijvende onkruiden hier eerder hun kans krijgen. Schors heeft een structuurverbeterende werking, beperkt het uitdrogen van de grond, terwijl de looizuren die vrij kunnen komen een remmende werking hebben op kieming van onkruidzaden en de groei van onkruiden.

De werking van houtsnippers is in principe hetzelfde als van schors. Een nadeel is dat ze sneller verteren, zodat er vaker aangevuld moet worden. Evenals bij gebruik van schors komen overblijvende onkruiden als kweek, akkerdistel, zuring (*Rumex* spp.) en klein hoefblad, het eerst door de laag heen. Bij toepassing van schors of houtsnippers op boomspiegels verdient het aanbeveling eerst 10 cm grond te verwijderen om problemen bij het maaien te voorkomen.

Zwart, 2 mm dik, waterdoorlatend plastic, voor het planten aangebracht op een goed geëgaliseerde grond, geeft een onkruidbestrijding van 100 %. Vernieling, stukwaaien en een onaantrekkelijk visueel beeld (er mag geen grond op de folie voorkomen) maken toepassing in het openbaar groen minder aantrekkelijk. Het afdekken van het plastic met schors of houtsnippers is wel een mogelijkheid.

### *6.5.5 Kopborstels*

Kopborstels worden wel gebruikt voor het verwijderen van onkruid in goten langs stoepranden. Dit zijn borstels gemaakt van staaldraad, die door een trekker worden aangedreven. Geparkeerde auto's, lantaarnpalen, vuilniszakken en dergelijke, leveren problemen op.

## Samenvatting

De betekenis van de mechanische en fysische onkruidbestrijding is, ook bij gebruik van herbiciden, groter dan men algemeen aanneemt. In de landbouw speelt de (hoofd)grondbewerking de belangrijkste rol; in het openbaar groen bovendien branden en bedekken. Keren van grond, tijdigheid met betrekking tot de periodiciteit en droge omstandigheden van grond, gewas en het weer na bewerken, komen het bestrijdingseffect ten goede. Omdat bedekken van onkruiden met grond een belangrijke rol speelt, zijn de meeste bewerkingen effectiever naarmate het onkruid kleiner is. Dit geldt in het bijzonder voor mechanische onkruidbestrijding in de rijen. Omdat gewas en onkruid vergelijkbaar reageren op teeltmaatregelen en het weer, is het de kunst het gewas een voorsprong te geven op het onkruid.

## Literatuur


Aarts, H.F.M., 1980. Hebben mechanische onkruidbestrijdingsmaatregelen werkelijk een nadelig effect op de opbrengst van snijmaïs? Onderzoek, Emmen: 77–78.

Aarts, H.F.M. & W.G.M. van den Brand, 1982. Factoren die van invloed zijn op de grootte en samenstelling van jonge onkruidvegetaties. Landbouwkundig Tijdschrift 94: 235–241.

Aarts, H.F.M. & W.A. Dekkers, 1985. De bestrijding van onkruiden in suikerbieten. Teelthandleiding no. 15, PAGV, Lelystad.

Andringa, J.T., 1986. Werktuigen voor mechanische onkruidbestrijding. Landbouwmechanisatie 37: 491–494.

Bertram, H.H., 1985. Pflege von Hackfrüchten met selbstführenden Hackmachinen. Landtechnik 40: 81–82.

Beuret, E., 1982. Auswirkung der Bodenbearbeitung auf den Unkrautsamenvorrat im Boden. Mitteilungen für die Schweitzerische Landwirtschaft 30: 5–11.

Bleasdale, J.K.A. & H.A. Roberts, 1960. The effects of different methods of seedbed preparation on weed emergence. Report National Vegetable Research Station for 1959: 46–49.

Boer, H. de, 1986. Werktuigen voor de bietenverzorging. Landbouwmechanisatie 37: 702–705.

Brand, W.G.M. van den & H.F.M. Aarts, 1982. Eigenschappen van akkeronkruiden. Bedrijfsontwikkeling 13: 575–578.

Chancellor, R.J., 1964. The depth of weed seed germination in the field. Proceedings of the 7th British Weed Control Conference: 607–613.

Chancellor, R.J. & J.D. Fryer, 1970. Evidence of changing weed populations in arable land. Proceedings of the British Weed Control Conference 3: 958–964.

Dord, D.C. van, 1977. Het verband tussen de grondbewerking en het voorkomen van onkruiden. Landbouw en Plantenziekten: 11–24.

Fail, H., 1956. The effect of rotary cultivation in rhizomeous weeds. Journal Agricultural Engineering Research 1: 68–80.

Froud-Williams, R.J., R.J. Chancellor & D.S.H. Brennan, 1983. Influence of cultivation regime upon buried weed seeds in arable cropping systems. Journal of Applied Ecology 20: 199–208.

Heikens, E.E., 1986a. Mechanische en thermische onkruidbestrijding, bodembedekking en natuurlijker groen. Tussen spuit en kruid. Syllabus CAD voor stedelijk groen, Boskoop: 20–28.

Heikens, E.E., 1986b. Cursus Groen Milieubeheer Hfst.7: Vegetatiekunde,spontane plantengroei, RHSTL. Boskoop.

Kahnt, G., R. Bausch & K. Koeller, 1976. Auswirkungen einiger den Arbeidseffekt von Bestellwerkzeugen kennzeichnenden Grössen auf den Pflanzenaufgang von Getreide. Grundlagen der Landtechnik 26: 140–144.

Klooster, J.J., 1980. Aandacht voor mechanische onkruidbestrijding. Landbouwmechanisatie 31: 257–259.

Klooster, J.J., 1983. Thermische onkruidbestrijding, een interessant alternatief. Landbouwmechanisatie 34: 787–789.

Kouwenhoven, J.K., 1979. De werking van egge- en cultivatortanden in losse grond. Bedrijfsontwikkeling 10: 505–508.

Kouwenhoven, J.K., 1983. Onkruidbestrijding door grondbewerking. Landbouwkundig Tijdschrift 95: 29–30.

Kouwenhoven, J.K., 1986. Effect of mouldboard and chisel ploughing and their timing on seedbed quality. Soil & Tillage Research 7: 205–219.

Kouwenhoven, J.K. & R. Terpstra, 1979. Sorting action of tines and tine-like tools in the field. Journal of Agricultural Engineering Research 24: 95–113.

Kouwenhoven, J.K., R. Terpstra & P. Looijen, 1981. Ploegtijd en kunstmatige verdichting van de bouwvoor op zandgrond. Landbouwmechanisatie 32: 33–36.

Kouwenhoven, J.K., J.D.A. Wevers & B.J.Post, 1990. Possibilities of mechanical post-emergence weed

control in sugar beet. Soil Tillage Research (in druk).
Kuipers, H., 1961. Water content at pF2 as a characteristic in soil cultivation research in the Netherlands. Netherlands Journal of Agricultural Science 9: 27–35.
Kuipers, H., 1975a. The objectives of soil tillage. Report of an Expert Consultation Meeting on the Mechanization of Rice Production I.I.T.A, Ibadan: 61–65.
Kuipers, H., 1975b. Onkruidbestrijding zonder chemicaliën. Landbouw & Onderzoek 3: 3–4.
Lufti, H.M.A., 1985. Comparative use of moldboard and chisel plows on wheat yield and weed density in Iraq. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin-America 16: 29–30.
Lumkes, L.M., 1974. Aardappelen als onkruid. Publ. nr. 15 PA, Lelystad.
McClean, S.P., 1980. The role of the plough in today's agriculture. Journal Science Food Agriculture 31: 414–419.
Naka, S., 1981. Studies on methods of mechanical weed control for upland farming. Journal of the Central Agricultural Experiment Station 33: 112–117.
Neururer, H., 1977. Mechanische Unkrautbekämpfung mit modernen Hackeggen. Proceedings EWRS Symposium on Methods Weed Control and their Integration: 65170.
Njøs, A., 1979. Aggregate size distribution in the seedbed: Effects on soil temperature, matric suction and emergence of barley. Proceedings of the 8th ISTRO Conference, Stuttgart: 121–129.
Patterson, D.E., 1982. The performance of alternative cultivation systems. Agricultural Engineer 37: 8–11.
Piccot, F., 1977. Chisel contre charrue? Revue Suisse d'Agriculture 9: 88–92.
Pollard, F., S.R. Moss, G.W. Cussans & R.J. Froud-Williams, 1982. The influence of tillage on the weed flora in a succession of winter wheat crops on a clay loam soil and a silt loam soil. Weed Research 22: 129–136.
Pollema, J., 1984. Akkerbouwer in de Hoekse Waard ontwikkelt een spoorvolgende rijenfrees. Landbouwmechanisatie 35: 244–245.
Proctor, J., B. Davies, B. Finney & D. Yarham, 1983. To plough or not to plough. ADAS Primer 1.
Rasmussen, K.J., 1982. Plant growth and soil physical properties by reduced tillage. Proceedings of the 9th ISTRO Conference, Osijek: 526–531.
Rathore, R.R., B.P. Ghildyal & R.S. Sachan, 1983. Effect of surface crusting on emergence of soybean seedlings I: Influence of aggregate size in the seedbed. Soil & Tillage Research 3: 111–121.
Roberts, H.A., 1984. Crop and weed emergence patterns in relation to time of cultivation and rainfall. Annuals of Applied Biology 105: 263–275.
Roberts, H.A. & P.A.Dawkins, 1967. Effects of cultivation on the number of viable weed seeds in soil. Weed Research 7: 290–301.
Russel, E.W. & B.E. Keen, 1941. Studies in soil cultivation X: The results of a six year cultivation experiment. Journal of Agricultural Science 31: 326–347.
Russell, E.W. & N.P. Mehta, 1938. Studies in soil cultivation VIII: The influence of the seedbed on crop growth. The Journal of Agricultural Science 28: 272–298.
Sar, T. van der, 1976. Tillage for dry crops in the humid tropics. De Surinaamse Landbouw 24: 93–98.
Soriano, A., E. Zeiger, E. Servy & A. Suero, 1968. The effect of cultivation on the vertical distribution of seeds in the soil. Journal of Applied Ecology 5: 253–257.
Terpstra, R., 1986. Weed seed behaviour in soil clods. Weed Science 34: 889–895.
Terpstra, R. & J.K. Kouwenhoven, 1981. Inter-row and intra-row weed control with a hoe-ridger. Journal of Agricultural Engineering Research 26: 127–134.
Traulsen, H., 1982. The role of the mouldboard plough? Agricultural Engineer 37: 12–14.
Werf, H. van der, D. van der Schans & J.J. Klooster, 1983. De invloed van mechanische onkruidbestrijding op de opbrengst van maïs. Landbouwmechanisatie 34: 403–407.
Wevers, J.D.A., 1979. De invloed van de grondbewerking op de onkruidontwikkeling. Bedrijfsontwikkeling 10: 503–505.
Wevers, J.D.A., H.F.M. Aarts & J.K. Kouwenhoven, 1986. The effect of pre-drilling cultural practices on weed problems and control methods in sugar beet. Proceedings of the 49 IIRB Winter Congress, Brussels: 303–319.

# 7 Biologische bestrijding van onkruiden

P.C. Scheepens, W. van der Zweerde en M. Hoogerkamp

In onderzoek en praktijk blijkt biologische onkruidbestrijding, als vervanging van of gecombineerd met andere beheersmaatregelen, aantrekkelijk te zijn. Besproken zullen worden de bestrijding van waterplanten met graskarper, de onderdrukking van onkruid door hogere planten en selectieve bestrijding met ziekteverwekkende schimmels.

## 7.1 Inleiding

Biologische onkruidbestrijding is het bewust aanwenden van levende organismen om de populatie van schadelijke planten te verminderen. Oorspronkelijk was biologische onkruidbestrijding uitsluitend gericht op geïntroduceerde plantesoorten die, in afwezigheid van hun natuurlijke vijanden, een onaanvaardbaar hoge dichtheid hadden bereikt. Door één enkele introductie en daarna permanente vestiging van een pathogeen of fytofaag insekt uit het oorsprongsgebied van het onkruid werd het onkruid op een lagere dichtheid gebracht en gehouden. Deze klassieke biologische bestrijding wordt nog steeds toegepast in delen van de wereld, waar veel geïntroduceerde plantesoorten voorkomen. Een belangrijke voorwaarde voor succes is een relatief ongestoord groeimilieu (extensief beheerde gebieden). In West-Europa zijn de mogelijkheden beperkt. Na een periode waarin toepassing van herbiciden werd gezien als de oplossing voor alle onkruidproblemen, is de belangstelling voor niet-chemische bestrijdingsmethoden weer alom toegenomen.

Er wordt steeds meer gelet op ongunstige neveneffecten van chemische bestrijdingsmiddelen. Bovendien zijn, vooral in de produktielandbouw, door intensieve chemische bestrijding, nieuwe onkruidproblemen ontstaan, waarvoor chemische oplossingen steeds moeilijker en duurder zijn geworden. Gebleken is, dat biologische bestrijding ruimere toepassingsmogelijkheden heeft dan oorspronkelijk werd verondersteld. Omdat wordt gemanipuleerd met levende organismen, die specifieke eisen aan het milieu stellen, zijn min of meer onafhankelijk van elkaar meerdere technieken ontwikkeld, die onderling verschillen in de aard van de gebruikte organismen en de situatie waarin deze worden toegepast. De bestrijding kan gericht zijn op afzonderlijke soorten door gebruik van selectieve organismen of op het terugdringen van de gehele vegetatie door gebruik van aselectieve organismen.

## 7.2 Onderhoud van watergangen

Watergangen zijn door de mens gegraven, lintvormige verdiepingen van het maaiveld, die dienen voor de afvoer van overtollig water en de aanvoer van water in tijden van

droogte. De meeste watergangen zijn ondiep, ontvangen veel licht, het water heeft een geringe stroomsnelheid en bevat veel voedingsstoffen, zodat ze een uitstekend milieu voor de groei van waterplanten vormen. Biologisch gezien is een watergang een samengedrukte oeverzone van een groter waterlichaam met het daarbij horende proces van verlanding. Wanneer onderhoud achterwege blijft, zullen niet al te brede of niet al te diepe watergangen zeer snel dichtgroeien en hun functie voor de waterhuishouding niet meer kunnen vervullen.

Naast hun functie in de waterhuishouding hebben watergangen diverse andere functies. Aan het herbergen van een levensgemeenschap met een grote natuur- en landschapswaarde wordt de laatste tijd in toenemende mate belang gehecht. In grote delen van Nederland vormen watergangen een karakteristiek landschapselement. Met name de vaak opvallend bloeiende oeverplanten en plantesoorten met drijfbladeren, met de daarbijbehorende insekten, verlevendigen het cultuurlandschap aanzienlijk. Daarnaast bieden watergangen levensmogelijkheden aan tal van organismen die minder opvallen.

Waterstaatkundig zijn waterplanten nuttig als een natuurlijke oeverbescherming. Ze vormen tevens een onmisbare basis voor de ontwikkeling van de levensgemeenschap in het water. Een overmatige groei van waterplanten is echter ook voor laatstgenoemde functie ongewenst (problemen met de zuurstofvoorziening en beperking van bewegingsruimte), want uiteindelijk leidt de groei van waterplanten tot het verdwijnen van de watergang en daarmee van de levensgemeenschap.

Het verwijderen van waterplanten is dus voor alle functies noodzakelijk, al bestaat wel eens verschil van mening over de hoeveelheid te verwijderen planten en het tijdstip van schoning.

Voor het onderhoud van watergangen bestaat een aantal technieken: met handkracht, mechanisch, chemisch en biologisch. In deze paragraaf komt van de biologische technieken het gebruik van de graskarper aan de orde. Gebruik van hogere planten wordt in de volgende paragraaf van dit hoofdstuk besproken.

### 7.3 Graskarper

Graskarper (*Ctenopharyngodon idella*) behoort tot de familie van de karperachtigen (Cyprinidae) en komt van oorsprong voor in het noordoosten van China en het aangrenzende deel van de Sovjet-Unie. Graskarper eet waterplanten en draadwieren. In China is graskarper samen met andere karperachtigen al eeuwenlang in gebruik in een uitgekiend systeem van visteelt in vijvers, waarbij de voedselspecialismen zo goed mogelijk benut worden.

Graskarper is een zeer snel groeiende vis. Daarnaast is het een van de weinige vissoorten die een plantaardig dieet hebben en dus uit allerlei plantaardig materiaal dierlijk eiwit kunnen vormen. Daarom heeft de mens de soort over een veel groter gebied verspreid. Jong broed moest vroeger uit rivieren in het natuurlijke verspreidingsgebied komen, omdat voortplanting niet op nieuwe vestigingsplaatsen of kunstmatig kon plaatsvinden. In de 20e eeuw zijn de transportmogelijkheden voor levende vis aanzien-

lijk verbeterd en is een techniek voor kunstmatige voortplanting beschikbaar gekomen. Deze ontwikkelingen hebben geleid tot een bijna wereldwijde verspreiding van de graskarper. Het doel van het uitzetten van graskarper is vaak voedselproduktie, soms in combinatie met bestrijding van waterplanten. In Nederland en een aantal andere landen is waterplantenbestrijding het enige doel.

In het oorsprongsgebied van de graskarper heerst een landklimaat met strenge winters en hete zomers. Graskarper kan de Beneluxwinters dus goed weerstaan, uiteraard mits zuurstofhoudend water aanwezig blijft. Veel belangrijker voor de waterplantenbestrijding zijn de omstandigheden in het voorjaar en de zomer. Zoals elk koudbloedig organisme reageert de graskarper sterk op temperatuur. Pas bij watertemperaturen rond 12 °C begint de graskarper met mate te eten. Bij watertemperaturen boven 20 °C worden pas aanzienlijke plantenmassa's gegeten. Circa 30 °C is de optimale temperatuur. Graskarper zal in onze streken zijn optimumtemperatuur niet vaak bereiken. Dit betekent dat de consumptie van waterplanten sterk kan variëren met de watertemperatuur.

In 1966 is graskarper in Nederland ingevoerd voor proeven in vijvers. In deze proeven bleek vis in staat waterplanten effectief te bestrijden. In 1972 werden proeven in watergangen gestart. Graskarper bleek ook hier de hoeveelheid waterplanten zo te kunnen beperken, dat voldaan werd aan de waterstaatkundige doelstelling. Bij lage watertemperaturen in het voorjaar kwam de begroeiing tot ontwikkeling, terwijl de vraat nog gering was. Aanvullend mechanisch onderhoud kon dan noodzakelijk zijn, afhankelijk van het waterstaatkundige belang van de betreffende watergang op dat tijdstip. Uit onderzoek in deze watergangen bleek de invloed op de totale levensgemeenschap gering te zijn, mits waterplanten met een bedekking van minstens 15–25 % aanwezig bleven.

Op grond van de proefresultaten is het waterbeheerders sinds 1979 toegestaan graskarper in hun water toe te passen. De voorwaarden daarbij zijn dat in het betreffende water een waterplantenprobleem bestaat, dat het water zodanig afgesloten is of wordt van ander water, dat graskarper niet kan ontsnappen, dat visserij- en natuurbeschermingsbelangen niet onaanvaardbaar worden geschaad, dat de uit te zetten graskarpers afkomstig zijn uit een ziektevrij bestand en dat het derden verboden wordt graskarper levend in hun bezit te hebben. Tot nu toe is in Nederland in ongeveer 1500 hectare water graskarper als beheersmaatregel uitgezet.

In driekwart van de gevallen waarin graskarper is uitgezet, is het resultaat naar het oordeel van de beheerder bevredigend tot goed. Dit is een subjectief oordeel, want het is afhankelijk van welk belang vooropgesteld wordt. Voor het kwart waarin de beheerder ontevreden is, zijn diverse oorzaken aan te wijzen zoals:

- een onbereikbaar beheersdoel (bijvoorbeeld als reeds vroeg in het jaar nagenoeg kale watergangen gewenst worden);
- een waterkwaliteit die niet geschikt is voor het gezond blijven van vis;
- een slechte overwintering door een te geringe waterdiepte die bovendien vaak gepaard gaat met een dikke modderlaag;
- een predatie door snoek en reiger of stroperij, waardoor de dichtheid te laag wordt.

Veel van deze problemen zijn op te lossen door aanvullend mechanisch onderhoud (soms voorafgaand aan de uitzet), door een goed beheer van de graskarperstand en van de watergang in het algemeen en door het formuleren van reële doelstellingen. Een bijkomend voordeel is dat de waterbeheerder, wanneer hij graskarper inzet, gedwongen wordt aandacht te besteden aan de levensmogelijkheden voor vis in zijn water. Zo zal hij meer oog krijgen voor de levensgemeenschap in het water en minder naar kaal water streven.

In de praktijk blijkt graskarper vaak goedkoper dan mechanisch onderhoud, met name in de wat grotere watergangen en wanneer het gebied vrij groot is, zodat de kosten van hekwerken relatief laag blijven.

Het gebruik van graskarper kan in de toekomst nog aanzienlijk toenemen, vooral in watergangen die slecht bereikbaar zijn voor machines, waar de eisen voor de watervoering ruimte laten voor een begroeiing met waterplanten of waar draadwieren en kroossoorten overvloedig voorkomen (zeer slecht mechanisch te verwijderen en voorkeurvoedsel van de graskarper).

Graskarper kan, in combinatie met andere onderhoudsmethoden, een rol spelen bij een beheer van watergangen dat, meer dan tot nu toe gebruikelijk, met de diverse belangen rekening houdt. Graskarper is een veilig instrument, omdat hij niet toxisch is en zich onder onze omstandigheden van nature niet vermeerdert. Plantenverwijdering vindt bovendien geleidelijk in het seizoen plaats (geen schoksgewijze ingreep). Het effect is goed controleerbaar, zodat eenvoudige maatregelen (verhogen of verlagen van het aantal graskarpers, overzetten van vis naar een ander water en aanvullend, licht mechanisch onderhoud) tijdig genomen kunnen worden. Bij de waterbeheerder dient dan wel kennis en inzicht in het functioneren van de levensgemeenschap in het water aanwezig te zijn plus de bereidheid daarmee rekening te houden.

### 7.4 Hogere planten

Hogere planten kunnen in principe ook worden ingezet tegen onkruiden. Niet alle vormen waarin dit gebeurt, worden echter gerekend tot biologische bestrijding. Soms worden deze planten namelijk primair gebruikt voor een ander doel en vormt onkruidbeheersing slechts een nuttige bijkomstigheid. In de land- en tuinbouw wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van het onkruidonderdrukkend vermogen van het gewas. Aangezien de plant (of het gewas) hierbij niet primair wordt ingezet tegen het onkruid, wordt in dit geval niet gesproken van biologische bestrijding, maar van een teelttechnische onkruidbeheersing. De grenzen zijn echter niet steeds duidelijk. In boomgaarden en plantages gebruikt men bijvoorbeeld veel onderbegroeiingen (bodembedekkers); het betreft hier meestal grassen of leguminosen. Het doel van deze onderbegroeiing kan primair liggen bij het onderdrukken van ongewenste planten, maar ligt meestal bij andere aspecten zoals symbiontische N-binding, produktie en conservering van organische stof, erosiebescherming en het permanent berijdbaar maken.

Het grote probleem bij het gebruik van planten als biologisch bestrijdingsagens is, dat zowel de gebruikte als de te beschermen plantesoort (bijvoorbeeld een gewas)

gebruik maken van dezelfde groeifactoren: licht, water en nutriënten. Als één of meerdere van deze factoren in het minimum zijn voor de groei van het gewas, kan de aanwezigheid van andere plantesoorten, die eveneens een beroep doen op deze groeifactor(en), resulteren in groeiremmingen bij het gewas.

In theorie zijn er een vijftal situaties waarin toepassing in de praktijk mogelijk kan zijn:

- de als biologische bestrijder te gebruiken plantesoort heeft geen nadelige invloed op de groei van het gewas dan wel de functie van de begroeiing;
- de te onderdrukken planten hebben een groter nadelig effect dan de onderdrukkende planten ('soft weed' versus 'hard weed');
- de optredende groeireductie bij het gewas heeft geen economische betekenis;
- alternatieven zijn nog schadelijker voor het gewas;
- de nevenvoordelen van het gebruik van een plantaardige, biologische bestrijder overtreffen de groeidepressies bij het gewas.

In de gangbare land- en tuinbouw, waar in het algemeen wordt gestreefd naar zo hoog mogelijke opbrengsten, lijkt toepassing van deze vorm van onkruidbestrijding op korte termijn weinig perspectieven te bieden. Er wordt vooral onderzoek gedaan naar andere toepassingen. Voor bepaalde vormen van alternatieve land- en tuinbouw, waar chemische onkruidbestrijding niet toegepast mag worden, lijkt de kans op toepasbare resultaten vrij groot. Men kan hierbij denken aan onderbegroeiingen en aan begroeiingen voor de periode dat er geen gewas is (bijvoorbeeld stoppelbegroeiing).

Bij het beheer van watergangen worden op een drietal verschillende manieren (op proefschaal) planten gebruikt om andere planten te onderdrukken door:

(a) het beplanten van de taluds en eventueel aangrenzende grond met bomen en struiken (de zogenaamde groene beken);

(b) het aanbrengen of stimuleren van waterplanten met grote, drijvende bladeren; hierdoor vindt lichtinterceptie plaats, zodat ondergedoken soorten minder kans krijgen zich te ontwikkelen. De gedachte hierbij is, dat submerse soorten de waterdoorstroming (veelal de hoofdfunctie van de watergang) aanzienlijk sterker remmen dan de drijfbladplanten;

(c) het op de bodem van de watergang planten met een laag blijvende plantesoort die hier een zodanige bedekking vormt, dat andere soorten weinig of geen kans krijgen zich te ontwikkelen.

Bij het tot nu toe uitgevoerde onderzoek en ten dele ook bij de praktijktoepassing is gebleken dat:

(a) de meeste perspectieven biedt, maar gezien de slechtere bereikbaarheid van de watergang voor onderhoudsmachines en de mogelijke negatieve invloeden van de beplanting op de aangrenzende cultuurgronden en op het landschapsbeeld echter niet overal realiseerbaar is;

(b) tot nu toe minder perspectieven biedt dan aanvankelijk werd verwacht, doordat de remming van het watertransport groter blijkt dan verwacht werd. Een combinatie van drijfbladplanten (bijvoorbeeld gele plomp, *Nuphar lutea*) en graskarper lijkt meer perspectieven te bieden, omdat de graskarper vooral de submerse planten verwijdert

en de planten met drijfbladeren grotendeels ongemoeid laat;
(c) tot nu toe mislukt is. Naaldwaterbies (*Eleocharis acicularis*) een soort die wat betreft zijn habitus zeer geschikt zou zijn voor dit doel, bleek in permanent watervoerende watergangen niet in monocultures te handhaven. In Noord-Amerika werden in irrigatiekanalen, die in het algemeen tijdelijk droog staan, wel goede resultaten verkregen.

In bosplantsoenen wordt deze vorm van onkruidbestrijding waarschijnlijk nog het meest toegepast. Vroeger werd vanaf de aanplant tot het sluiten van de beplanting veelal een zodanig intensieve onkruidbestrijding toegepast, dat de grond onder de geplante bomen en struiken in deze periode geheel onbegroeid gehouden werd. Nu bestaat veel meer de tendens om deze bestrijding geheel of ten dele achterwege te laten (uit economische en milieutechnische overwegingen) en een onderbegroeiing te aanvaarden of zelfs aan te brengen (natuurwaarde en esthetische motieven).

Het onderzoek dat gedurende de afgelopen jaren is uitgevoerd, heeft geleerd dat een onderbegroeiing nogal eens het percentage uitval (vooral de eerste tijd na de inplant) vergroot en de groei remt.

Uit tabel 7.1 blijkt dat bij afwezigheid van een onderbegroeiing (chemische onkruidbestrijding tot en met 1979) duidelijk de snelste groei optreedt, en dat elke onderbegroeiing, zij het in verschillende mate, de groei remt. Beperkte groeiremming blijkt in de praktijk echter veelal geen bezwaren op te leveren.

In boomgaarden, waar een hoge vruchtproduktie belangrijk is, blijkt een onderbegroeiing de opbrengst veelal negatief te beïnvloeden (vooral in droge jaren en/of droogtegevoelige standplaatsen). Een volleveldsbegroeiing is hierbij schadelijker voor de produktie dan een strokenbegroeiing. De strokenbegroeiing (gras) wordt veelal toegepast om permanente berijdbaarheid mogelijk te maken.

Tabel 7.1. De lengte en de stamomtrek van es op een proefveld te Didam in relatie tot ondergroei. De bomen werden geplant voorjaar 1977; de metingen werden steeds in de herfst uitgevoerd.

| *Ondergroei* | *Lengte (cm)* | | | | | *Stamomtrek (cm)* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *1977* | *1978* | *1979* | *1980* | *1981* | *1978* | *1979* | *1980* | *1981* |
| Zwenkgras (*Festuca* spp.) | 60 | 81 | 109 | 150 | 231 | 6,6 | 7,0 | 8,6 | 12,8 |
| Hoornbloem* | | 87 | 114 | 160 | 249 | 6,4 | 7,1 | 8,9 | 13,5 |
| Natuurlijke begroeiing | 60 | 88 | 130 | 212 | 320 | 6,0 | 7,9 | 11,3 | 16,5 |
| Rode klaver (*Trifolium pratense*) | 66 | 107 | 162 | 236 | 331 | 6,5 | 9,4 | 12,7 | 17,0 |
| Chemische onkruidbestrijding t/m 1979 | 77 | 136 | 201 | 289 | 404 | 8,7 | 12,5 | 17,2 | 21,9 |

* Eerste jaar paardebloem (*Taraxacum officinale*) daarna viltige hoornbloem (*Cerastium bierbersteinii*).

## 7.5 Biologische onkruidbestrijdingsmiddelen

Bij de klassieke biologische bestrijding moet een insekt of pathogeen voldoende effectief zijn om een onkruidpopulatie te doen afnemen. De effectiviteit kan kunstmatig worden vergroot door het organisme buiten de groeiplaats van het onkruid te vermeerderen en op een gewenst tijdstip in onnatuurlijk hoge dichtheid op het onkruid aan te brengen. Deze strategie houdt in, dat de toediening periodiek (meestal jaarlijks) herhaald moet worden. Het beoogde resultaat wordt in vergelijking tot klassieke bestrijding snel bereikt en wordt veel minder beïnvloed door verstoringen van de groeiplaats. Inheemse organismen zijn in principe even goed bruikbaar als uitheemse. Zij moeten wel virulent zijn, dat wil zeggen het vermogen hebben om individuele planten voldoende te beschadigen. Vooral pathogenen, met name schimmels, worden onderzocht omdat die betrekkelijk gemakkelijk op grote schaal vermeerderd kunnen worden en als supensie met conventionele spuitapparatuur zijn toe te dienen.

Weinig onkruidproblemen zijn op te lossen door selectieve eliminatie van één plantesoort. Er zijn echter talloze voorbeelden, vooral in de produktieve landbouw, waar één of enkele soorten ontsnappen aan traditionele vormen van bestrijding en aanvullende maatregelen vergen. Biologische bestrijding kan hier worden aangewend als onderdeel van een geïntegreerd systeem. Voor de bedoelde selectieve toepassingen zijn de kosten voor ontwikkeling van chemische bestrijdingsmiddelen te hoog. Bij de tot nu toe toegepaste biologische bestrijdingsmiddelen is de verhouding tussen baten en kosten veel gunstiger. Deze verhouding, de totale jaarlijkse vraag en de verwachting in de toekomst meer soortgelijke produkten op de markt te kunnen brengen, vormen de economische prikkel voor een fabrikant om een biologisch bestrijdingsmiddel te gaan ontwikkelen.

Ontwikkeling van biologische onkruidbestrijdingsmiddelen is niet alleen aantrekkelijk voor particuliere bedrijven (fabrikant en teler), maar past ook in het beleid van de overheid om het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen zoveel mogelijk te beperken. De overheid kan ontwikkelingen door fabrikanten bevorderen door het scheppen van algemene randvoorwaarden, zoals een aangepast toelatingsbeleid, het bieden van mogelijkheden om produkten door patenten te beschermen en het verrichten van onderzoek.

Het concept van biologische onkruidbestrijdingsmiddelen is nog betrekkelijk nieuw. De eerste publikatie hierover dateert van 1973, de eerste praktijktoepassing van 1981 (in de VS). Het eerste onderzoek in Europa is gestart in 1978. Het best onderzochte geval hier is bestrijding van Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) met de loodglansschimmel (*Chondrostereum purpureum*).

Amerikaanse vogelkers is in de eerste helft van deze eeuw opzettelijk in Europa ingevoerd en volop in bossen aangeplant. Nu wordt hij pleksgewijze bestreden. De belangrijkste reden hiervoor zijn:

- concurrentie met jonge aanplant (invalshoek bosbeheer);
- verdringing van inheemse ondergroei in bossen (invalshoek natuurbeheer).

In bossen is het de enige soort die bestreden wordt. Bestrijding wordt veelal uit-

gevoerd door behandeling van stobben met glyfosaat of ammoniumsulfamaat. Het gebruik van milieuvreemde stoffen in het bosbiotoop wordt evenwel door de beheerders als niet gewenst beschouwd.

Bij Amerikaanse vogelkers in Nederland komen meerdere inheemse ziekten voor; geen enkele daarvan is soortspecifiek. *C. purpureum* is in zeer lage frequentie (veel minder dan 1 %) op Amerikaanse vogelkers aanwezig. Het is een houtbewonende schimmel, die vatbare planten met basidiosporen via verse houtwonden infecteert. De ziekte kan zich uiten door het loodglanssymptoom (veroorzaakt door een toxine, dat via de sapstroom naar de bladeren wordt getransporteerd), verwelking als gevolg van vaatverstopping en uiteindelijk sterfte van takken en hele bomen of struiken. Toediening van de schimmel op wonden (stobben) leidt tot een drastische verhoging van het natuurlijke aantastingsniveau. Als mycelium regelmatig over het verse zaagvlak wordt verdeeld en de toediening op een juist tijdstip wordt uitgevoerd (niet gedurende de zomermaanden), sterft uiteindelijk 90 % van de behandelde stobben af.

Het toepassingsrisico voor niet-doelplanten door natuurlijke verspreiding is onder andere onderzocht door vergelijking van natuurlijke met toegevoegde infectiedruk. Het risico wordt aanvaardbaar geacht bij toepassing in naaldbos op minstens 500 m afstand van fruitboomgaarden (uitspraak Plantenziektenkundige Dienst te Wageningen). De meeste probleemsituaties voldoen aan deze voorwaarden.

Amerikaanse vogelkers is een voorbeeld van een onkruid dat relatief gemakkelijk door een biologisch onkruidbestrijdingsmiddel is te bestrijden; de economische haalbaarheid wordt nu door een bedrijf bekeken. In veel andere gevallen zijn grotere technische problemen dan te verwachten. Vooral door weersinvloeden kan het resultaat van bestrijding sterk wisselen. Aangepaste formuleringen zullen de gevoeligheid voor negatieve weersinvloeden moeten verminderen; samenwerking met het bedrijfsleven in een vroeg onderzoeksstadium is hiervoor onontbeerlijk. In de VS gebeurt dit in toenemende mate. Over 5 – 10 jaar is daar meer duidelijkheid te verwachten of toepassing van biologische onkruidbestrijdingsmiddelen gemeengoed kan worden of beperkt zal blijven tot incidentele gevallen. De ontwikkeling in Europa loopt ettelijke jaren achter. De huidige achterstand zal voorlopig vermoedelijk niet ingelopen worden, zodat hier langere tijd onzekerheid zal blijven over de toekomst van biologische onkruidbestrijdingsmiddelen.

## Samenvatting

Biologische bestrijding, het bewust aanwenden van levende organismen om het onkruidkarakter van ongewenste planten te verminderen, kan met allerlei soorten organismen worden uitgevoerd. Voorbeelden zijn: vissen, insekten, schimmels en hogere planten.

De klassieke biologische bestrijding, die vooral wordt toegepast tegen geïntroduceerde plantesoorten die door afwezigheid van natuurlijke vijanden voor veel overlast zorgen, bestaat uit het eenmalig introduceren van een bestrijdend organisme, waarna de populatie zichzelf dient uit te breiden.

Een nieuwere aanpak is het kunstmatig vermeerderen van organismen buiten de groeiplaats van het onkruid en deze in de gewenste dichtheid op de plaats, waar de onkruidbestrijding dient plaats te vinden, uit te zetten. Deze handeling moet periodiek, bijvoorbeeld eens per jaar, worden herhaald.

Er zijn gunstige praktijkervaringen opgedaan met de graskarper bij het beheer van bepaalde typen watergangen, met het inzaaien van bodembedekkers in jong bosplantsoen en met de schimmel (*Chondrostereum purpureum*) bij de bestrijding van Amerikaanse vogelkers in bossen.

## Literatuur


Charudattan, R. & H.L. Walker (Eds), 1982. Biological control of weeds with plant pathogens. John Wiley & Sons, New York.

Deflosse, E.D. (Ed.), 1985. Proceedings of the VI international symposium on the biological control of weeds, 19–25 August 1984, Vancouver. Agriculture Canada, Ottawa.

Geraats, P.J.H., 1982. Oeverbeschaduwingsobjecten bij waterschappen. Waterschapsbelangen 67: 208–209.

Grandjean, A.J. & G.N. de Groot, 1984. Excursie houtwalbeken in Münsterland. Waterschapsbelangen 69: 537–541.

Hermens, L.C.M., 1976. Groene beken in Limburg. Groen 7: 203–208.

Hoogerkamp, M. & R.M.W. Groeneveld, 1985. Onkruidbestrijding in houtige wegbeplantingen noodzakelijk? Wegen, juli–augustus 1985: 238–241.

Jong, M.D. de, 1988. Risico voor fruitbomen en inheemse bomen na bestrijding van Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) met loodglansschimmel (*Chondrostereum purpureum*). Dissertatie, LU Wageningen.

Jonkers, H., 1979. Bodembehandeling in de fruitteelt: ondergrond helemaal zwart? De Fruitteelt 69: 58–60.

Jonkers, H. & O. Borsboom, 1981. Bodembedekking bij vruchtbomen door laagblijvende kruiden, boomschors en zwarte plastic folie. De Fruitteelt 71: 1412–1415.

Scheepens, P.C. & J.C.J. van Zon, 1982. Microbial herbicides. In: Kurstak, E. (Ed.): Microbial and viral pesticides. Marcel Dekker Inc., New York.

Staalduine, D. van, 1979. Ondergrond helemaal zwart? De Fruitteelt 69: 61–62.

Werkgroep Graskarper NRLO, 1984. Graskarper in Nederland. NRLO, Wageningen.

Werkgroep Graskarper NRLO, 1985. Graskarper en waterplanten- beheer. NRLO, Wageningen.

# 8 Toedieningstechnieken

Bij de toediening van herbiciden via het bladoppervlak is slechts een zeer klein deel van de toegediende dosis biologisch actief. Tijdens de gang van het herbicide zijn meerdere fasen te onderscheiden: druppelvorming, druppeltransport, depositie, opname in de plant en het verdere transport in de plant.

Inzicht in de processen, die het lot van de toegediende dosis in de verschillende fasen beïnvloeden, kan leiden tot een meer bedrijfszekere, chemische onkruidbestrijding met gebruik van lagere hoeveelheden herbiciden. Naast een verlaging van het middelengebruik kan inzicht in genoemde processen leiden tot een verlaagd spuitvolume en een verlaagde frequentie van bespuitingen.

Bij de middelen die ons ter beschikking staan om het rendement van een herbicide te verhogen, kan onderscheid worden gemaakt tussen de spuittechniek en de mogelijkheid om zogenaamde hulpstoffen aan de spuitvloeistof toe te voegen. In dit hoofdstuk zal aan de spuittechniek en aan de hulpstoffen aandacht worden geschonken. In het eerste deel wordt ingegaan op de fysisch-chemische aspecten van respectievelijk druppelvorming, druppeltransport en depositie van druppels. De effecten van hulpstoffen op de opname van herbiciden via het bladoppervlak worden in het tweede deel behandeld.

Het hoofdstuk wordt afgesloten met een beschouwing over de praktische aspecten van nieuwe ontwikkelingen in de toedieningstechniek van onkruidbestrijdingsmiddelen.

## 8.1 Fysisch-chemische achtergronden (V.J.M. Koch)

### *8.1.1 Inleiding*

De hoeveelheid actieve stof die nodig is om op een hectare de onkruiden te bestrijden is, bijvoorbeeld vergeleken met kunstmest, zeer weinig. Dit stelt ons voor het probleem van een gelijkmatige verdeling van een kleine hoeveelheid over een groot oppervlak. De oplossing daarvan wordt gevonden in een vergroting van het volume van de te verdelen middelen door toevoeging van water, oliën en in enkele gevallen met vulstoffen zoals poeders. De gelijkmatige verdeling van het aldus verkregen grotere volume over het te behandelen gewas of de te behandelen bodem kan gemakkelijker gerealiseerd worden. Hiermee komt het accent van de toedieningstechniek (althans voor zover het om vloeibare middelen of oplossingen gaat) voor het grootste deel te liggen bij de druppelvorming in en nabij de spuitdop, het druppeltransport van de spuitdop naar het onkruid of de bodem en bij de depositie van de druppel op de plant en de grond.

De techniek levert hulpmiddelen die op basis van de fysica ons in staat stellen bepaalde processen of situaties te beheersen. Het ligt dan ook voor de hand dat het onderzoek naar verbetering van toedieningstechnieken veel aandacht heeft voor alles wat met druppels te maken heeft om op basis van fundamentele kennis het spuitproces te begrijpen en te sturen. Kennis van achtergronden geeft bovendien meer garantie op juiste keuze en gebruik van de hulpmiddelen.

### *8.1.2 Factoren die het druppelspectrum beïnvloeden*

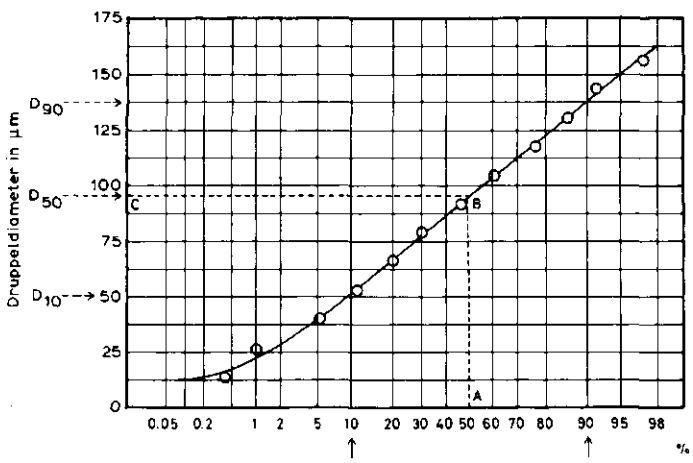
Een druppel opereert in het spuitproces nooit alleen en de uitwerking van een bespuiting hangt dan ook nauw samen met de aantallen en soorten (grootte) druppels die op het onkruid terecht zijn gekomen, het zogenaamde druppelspectrum. Het druppelspectrum wordt gekarakteriseerd aan de hand van een aantal parameters.

Dit zijn de $D_{10}$, $D_{50}$ en $D_{90}$, die aangeven dat respectievelijk 10, 50 en 90 % van het volume spuitvloeistof in druppels voorkomt die kleiner zijn dan de aangegeven diameter (figuur 8.1). $D_{50}$ wordt vaak aangegeven met de Engelse term VMD (Volume Medium Diameter).

Deze parameters worden in het onderzoek naar spuittechnieken gebruikt om de relatie met de technische aspecten van het proces te correleren met het bestrijdingseffect. Hierna zullen de diverse factoren die van invloed zijn op dat spectrum aan de orde komen.

#### 8.1.2.1 De spuitdop

De spuitdop is het belangrijkste element in de spuitapparatuur omdat daarin in de eerste plaats wordt bepaald hoeveel spuitvloeistof per tijdseenheid wordt afgegeven en




Figuur 8.1. Druppelspectrumcurve als cumulatief volumepercentage.

Tabel 8.1. Indeling van de spuitdoppen.

| *Type* | *Energie* | *Gebruik* |
|---|---|---|
| Hydraulische doppen, (spleet-doppen, werveldoppen, holle kegel, volle kegel, ketsdoppen) | vloeistofdruk cq. hydraulisch | grote opening, weinig gevoelig voor verstoppingen; algemeen: ruime keus in tophoeken, begrensd spuitbeeld |
| Luchtvernevelaars | luchtstroming | bladbespuiting, speciaal voor bomen en struiken; verbeterde doordringing in het gewas door luchtondersteuning; hoe hoger de luchtsnelheid, hoe kleiner de druppel |
| Draaiende schijf | centrifugaalkracht | geschikt voor zeer lage doseringen; redelijk gelijkmatige druppelgrootte; beperkte vloeistofafgifte; vraagt weinig energie |
| Elektrodyn (bozzle) | elektrostatische energie | zeer gelijkmatige druppelgrootte (C.D.A.); weinig energie, elektrisch geladen druppels; zeer afhankelijk van de formulering |

hoe de druppelvorming tot stand komt.

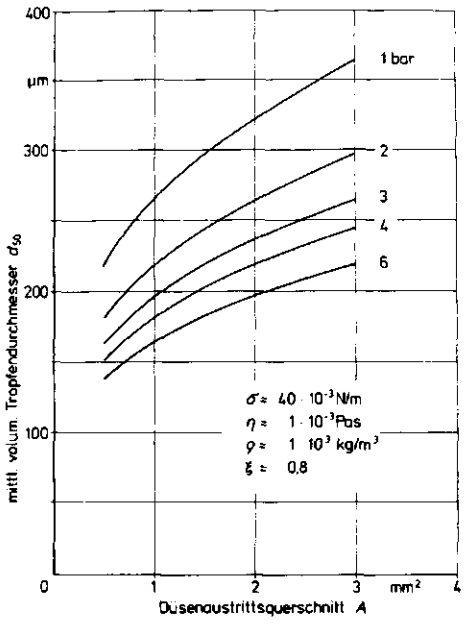
Voor het afscheiden van druppels vanuit de voorraad vloeistof via een dun vloeistofvlies of -draad is energie nodig. Spuitdoppen zijn dat ook in te delen naar de soort energie die de doppen gebruiken (tabel 8.1).

Voor hydraulische doppen gelden de volgende regels:
- hoe groter de opening, des te grover worden de druppels;
- hoe hoger de spuitdruk, des te fijner worden de druppels (figuur 8.2).

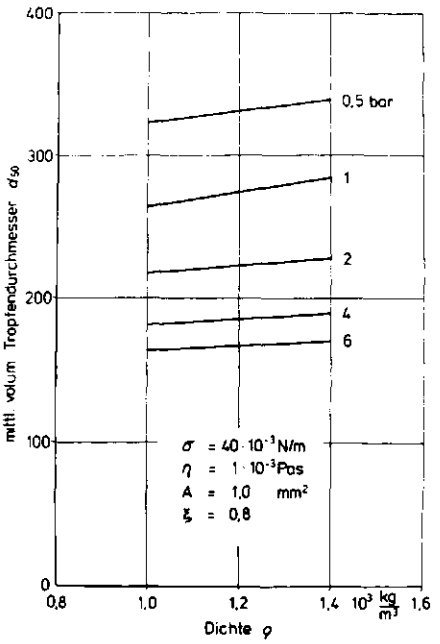
### 8.1.2.2 De spuitvloeistof

De fysische eigenschappen van de spuitvloeistof die, gegeven een bepaald doptype, van invloed zijn op het druppelspectrum zijn:
- de dichtheid in kg in $kg \cdot m^{-3}$,
- viscositeit in mPa·s,
- de oppervlaktespanning in $mN \cdot m^{-1}$.

Deze eigenschappen worden in hoge mate bepaald door:
- spuitmiddel (actieve stof en de formulering) dat verspoten wordt;
- de draagvloeistof: water, olie.




Figuur 8.2. Relatie tussen de druk in de vloeistofdop en vier verschillende druppelgroottes (naar Selan, 1982).




Figuur 8.3. Relatie tussen de dichtheid van de spuitvloeistof en de druppelgrootte van vijf verschillende vloeistofdrukken (naar Selan, 1982).

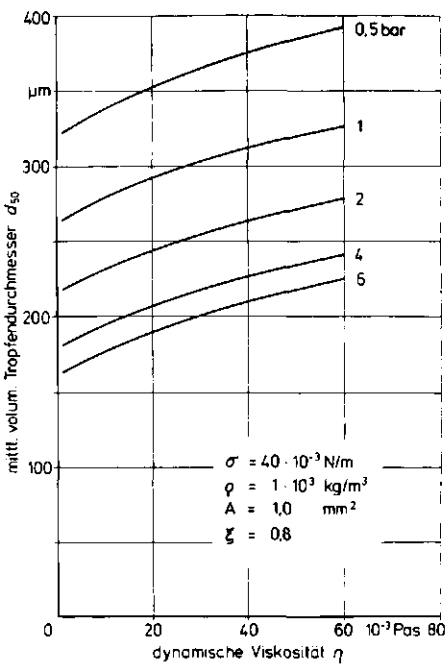
### 8.1.2.3 De dichtheid

Algemeen geldt dat een verhoging van de dichtheid een vergroting van de gemiddelde druppelgrootte tot gevolg heeft (figuur 8.3). Echter de verandering in de dichtheid van de spuitvloeistof door toevoeging van de spuitmiddelen aan water is bij de gebruikelijke verdunningen (circa 0,1 %) te verwaarlozen. Bij een verhoging van de dichtheid met 40 % ten opzichte van die van water, neemt de gemiddelde druppelgrootte toe met ongeveer 4,5 %.

De dichtheid gaat pas echt een rol spelen bij bijzondere formuleringen van pesticiden (bijvoorbeeld geconcentreerde suspensies en olieformuleringen) en deze bovendien onverdund worden toegepast.

### 8.1.2.4 De viscositeit

Ook de invloed van de spuitmiddelen op de dynamische viscositeit van water blijkt bij de gebruikelijke verdunningen gering te zijn (1,5 %). Men kan dan ook de viscositeit nagenoeg als constant beschouwen met uitzondering van die gevallen waarbij men 'onverdund' spuit of olie als draagvloeistof gebruikt. Met andere woorden de invloed van de dynamische viscositeit op het druppelspectrum is bij de gebruikelijke verdunningen gering (figuur 8.4).




Figuur 8.4. Relatie tussen de dynamische viscositeit van de spuitvloeistof en de druppelgrootte bij vijf verschillende vloeistofdrukken (naar Selan, 1982).

### 8.1.2.5 De oppervlaktespanning

In tegenstelling tot de dichtheid en de viscositeit blijkt de oppervlaktespanning van grote invloed te zijn op de druppelvorming. De toevoeging van spuitmiddelen of hulpstoffen als uitvloeiers en hechters, doen de oppervlaktespanning van water al snel verminderen tot de helft (tabel 8.2, figuur 8.5). Deze verlaging heeft grote gevolgen voor het druppelspectrum met dien verstande dat bij verlaging van de oppervlaktespanning de gemiddelde druppelgrootte kleiner wordt. Dit verschijnsel is het meest merkbaar bij gebruik van lage druk in de spuitdop.

De oppervlaktespanning is ook temperatuurgevoelig, dat wil zeggen zij neemt af bij hogere temperaturen.

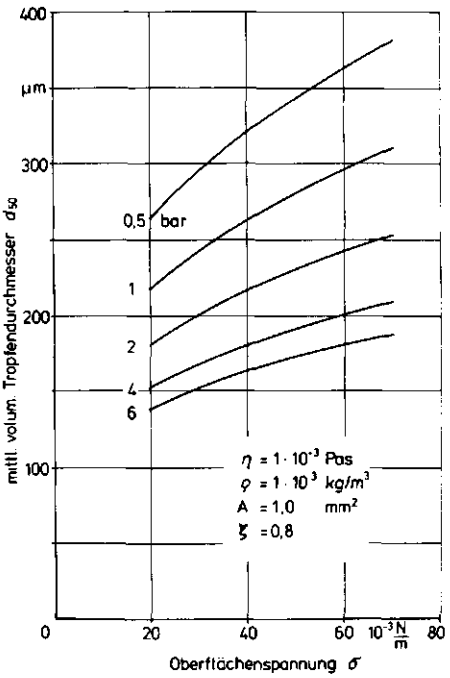
## *8.1.3 Druppeltransport*

In deze fase van het spuitproces is de mogelijkheid om – door technische hulpmiddelen – in te grijpen zeer beperkt.

Met name de moeilijk te beheersen invloeden als wind, luchtvochtigheid en temperatuur zijn factoren die sterk op het proces van het druppeltransport ingrijpen. Het ligt daarom voor de hand deze fase zo kort mogelijk te maken hetgeen erop neer komt dat men de afstand tussen spuitdop en het te bespuiten oppervlak zo klein mogelijk houdt. Het verst gaat men daarmee bij de zogenaamde bestrijkers. Dit zijn apparaten die langs de bladeren strijken en het middel afgeven om de plant te doen bezwijken.

Tabel 8.2. Invloed van concentratie op de dichtheid, viscositeit en oppervlaktespanning (naar Schmidt, 1980).

| *Middelen* | *Concentratie (%)* | *Dichtheid* ($g \cdot cm^{-3}$) | *Viscositeit* ($mPa \cdot s$) | *Oppervlaktespanning* ($mN \cdot m^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|
| Gedestilleerd water | 100 | 1,000 | 1,079 | 72,83 |
| Betanal (geformuleerd produkt) | 100 | 0,989 | 21,267 | 34,70 |
| Werkzame stof 16,4 % | 10 | 0,998 | 1,306 | 32,50 |
| Aanbevolen concentratie in | 1 | 0,998 | 1,117 | 32,30 |
| spuitvloeistof 1 – 1,5 % | 0,1 | 0,998 | 1,091 | 33,53 |
| Hostathion (geformuleerd produkt) | 100 | 1,077 | 18,268 | 33,13 |
| Werkzame stof 40 % | 10 | 1,009 | 1,466 | 32,96 |
| Aanbevolen concentratie in | 1 | 0,999 | 1,091 | 34,30 |
| spuitvloeistof 0,1 – 0,5 $g \cdot l^{-1}$ | 0,1 | 0,998 | 1,063 | 37,50 |
| U.46D-Fluid (geformuleerd produkt) | 100 | 1,179 | 14,952 | 42,06 |
| Werkzame stof 500 $g \cdot l^{-1}$ | 10 | 1,019 | 1,220 | 33,83 |
| Aanbevolen concentratie in | 1 | 0,999 | 1,092 | 47,76 |
| spuitvloeistof 0,2 – 0,3 % | 0,1 | 0,998 | 1,091 | 60,70 |



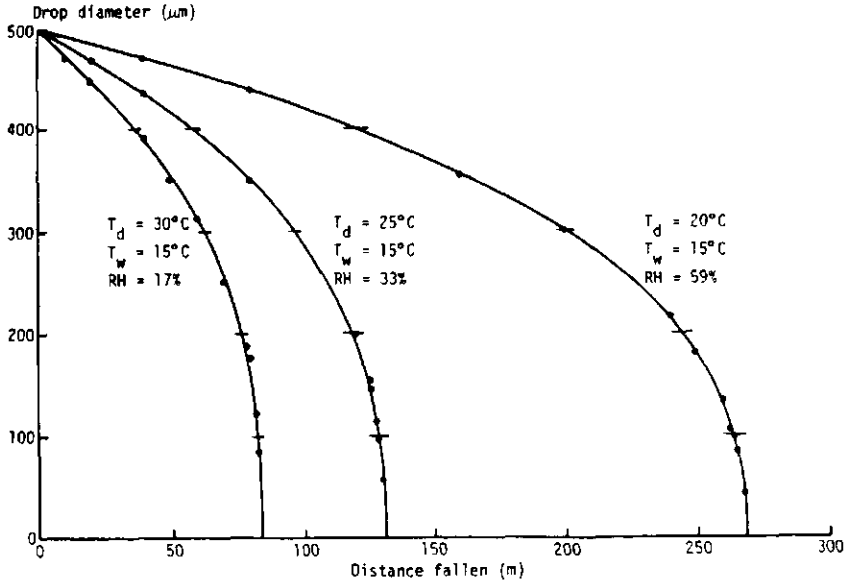

Figuur 8.5. Relatie tussen de oppervlaktespanning en de druppelgrootte bij vijf verschillende vloeistofdrukken (naar Selan, 1982).

Het is echter alleen mogelijk bij gebruik van middelen die systemisch werken en een hoge toxiciteit hebben voor de onkruiden. Hierbij vindt dus geen druppelvorming plaats, maar heeft men met problemen te maken als: de vervuiling van het strijkvlak, het tegengaan van lekken en het schoonmaken van de apparatuur. De meeste herbiciden worden echter nog steeds verspoten waarbij de druppels een zekere afstand moeten afleggen tussen spuitdop en gewas of bodem. De problemen die zich tijdens dat transport voordoen liggen voornamelijk op het vlak van de verdamping en de drift.

### 8.1.3.1 Verdamping

De verdamping doet zich het meest gevoelen bij de kleine en zeer kleine druppels ($< 50$ $\mu$m) omdat deze een ongunstige oppervlakte-inhoudsverhouding hebben (figuur 8.6). Naarmate de druppels kleiner worden, wordt het verdampend oppervlak, in verhouding tot de inhoud groter. Hierin ligt de reden om:

- het druppelspectrum te vernauwen tot een zo constant mogelijke uitgangsgrootte (C.D.A.-techniek);
- de gemiddelde druppelgrootte liever groter dan kleiner te maken ('raindrop');
- de verdamping tegen te gaan.




Figuur 8.6. Verdamping van druppels in vrije val (uit Elliott et al., 1983).

Hulpstoffen die aan een waterige spuitvloeistof worden toegevoegd om de verdamping tegen te gaan, hebben over het algemeen weinig effect.

Als het gaat om de verdamping tegen te gaan, heeft het gebruik van een andere draagstof dan water, bijvoorbeeld olie, wel zin.

### 8.1.3.2 Drift

Onder drift wordt algemeen verstaan het verlies van spuitvloeistof naar buiten de spuitbaan en het perceel onder invloed van wind en thermiek. Ook hier zijn het vooral de kleinere druppels die driftgevoelig zijn omdat:

- hoe kleiner de druppel is, hoe sneller de druppel na de dop te hebben verlaten, overgaat tot de 'druppelgrootte specifieke valsnelheid';
- kleinere druppels een lagere specifieke valsnelheid hebben.

Hieruit volgt dat, naarmate de druppels kleiner zijn, meer tijd nodig is om de grond of de planten te bereiken; zij staan dus snel en voor relatief langere tijd bloot aan de invloed van wind en thermiek.

Ten aanzien van de effecten die hulpstoffen in het algemeen hebben op de driftgevoeligheid van de spuitvloeistof, bestaat nog weinig duidelijkheid. In de regel zal de werking van deze stoffen berusten op het tegengaan van de verdamping van de druppels in de vlucht en is, zoals hiervoor werd opgemerkt, gering. Een andere mogelijkheid is dat door specifieke hulpstoffen de druppelvorming zodanig wordt beïnvloed dat er minder kleine druppels worden gevormd (verschuiving van het druppelspectrum).

### *8.1.4 Depositie*

De depositie of het neerkomen van de druppels op de bodem of het gewas, gebeurt óf onder invloed van de zwaartekracht en onafhankelijk van luchtstromingen (sedimentatie), óf juist wel onder invloed van luchtstromingen (inslaan), óf door beide processen tegelijk. Het resultaat daarvan is dat de spuitvloeistof geheel of gedeeltelijk hecht aan het oppervlak (retentie) dan wel geheel of gedeeltelijk terugkaatst, afdruipt of afrolt.

Depositie door sedimentatie wordt bevorderd door grotere druppels, geringe horizontale wind en grote oppervlakken.

Depositie door inslaan, is belangrijker naarmate de druppels kleiner zijn, sterke wind en/of luchtstroom aanwezig zijn en de grootte van het te bespuiten object een relatief klein oppervlak heeft ten opzichte van de luchtstroom. Druppels groter dan 200 $\mu$m gaan vrijwel altijd over tot sedimentatie terwijl kleinere druppels pas tot sedimentatie overgaan bij weinig wind. Druppels kleiner dan 20 $\mu$m buigen snel met de luchtstroom mee om het object heen, maar kunnen dan vaak toch opgevangen worden als het object snel beweegt en/of een ruwbehaard oppervlak heeft.

Wanneer een druppel op een object neerslaat of inslaat, zal deze zich normaliter hechten op het object, maar in meer specifieke gevallen kan ook terugkaatsing of afrollen plaatsvinden. Onder extreme omstandigheden (druppels groter dan 1000 $\mu$m) kunnen zelfs de druppels in meer delen uiteen spatten, waarbij slechts een deel of helemaal niets op het object achter blijft en de rest op drift gaat. Druppels die kleiner zijn dan 100 $\mu$m, zullen niet gauw terugkaatsen, zelfs niet van oppervlakken die moeilijk zijn nat te maken doordat zij bijvoorbeeld een waslaag hebben. Of de druppels groter dan 100 $\mu$m zullen terugkaatsen, hangt af van de mogelijkheid het oppervlak te bevochtigen en de kinetische energie (afhankelijk van grootte en snelheid) die de druppels hebben. Door de oppervlaktespanning van de spuitvloeistof te verlagen met aanpassingen in de formulering of toevoeging van hulpstoffen, kan aan dit proces van de hechting iets worden gedaan. Hierbij mag echter aan de gevolgen van deze ingrepen op de druppelvorming en transport (zie hierboven) niet worden voorbij gegaan!

Hulpmiddelen die de depositie kunnen verbeteren zijn: luchtondersteuning en elektrostatische ladingen. Bij luchtondersteuning worden de druppels met een luchtstroom getransporteerd waardoor deze grotere snelheden behouden wat vooral voor kleinere druppels van belang is. Deze zullen daardoor eerder tot inslaan overgaan. Bovendien veroorzaakt de luchtstroming een beweging van planten of bladeren, waardoor de kans op sedimentatie en inslag van druppels toeneemt voor delen die van de wind zijn afgekeerd. Wanneer echter een 'vrije' luchtstroom van relatief grote afstand naar een 'dicht' gewas wordt gericht, is de depositieverbetering vaak beperkt doordat de luchtstroom met de druppels voor of boven over het gewas afbuigt. Immers, in een gewas met een duidelijke ruimtelijke structuur (struik of opgaand gewas) wordt de luchtstroom naar het hart van de plant toe geringer. In dit geval zal de depositie in het buitenste deel van het gewas voornamelijk door inslaan van kleinere druppels gebeuren, terwijl in het deel met geringe luchtstroom (meer binnen in de plant) de

depositie voornamelijk door sedimentatie van grotere druppels tot stand komt. Dit laatste geldt natuurlijk alleen voor zover die grotere druppels door het buitenste bladerdek zijn heen gedrongen. Wanneer elektrostatische ladingen aan druppels worden gegeven, worden er aantrekkingskrachten aan het proces van de depositie toegevoegd. Hierdoor worden de druppels naar de bladeren en takken getrokken en zetten zich daarop af. Deze krachten zijn echter klein en hebben alleen invloed indien zij groter zijn dan de zwaartekracht. Daarom is dit alleen van toepassing voor zeer kleine druppels. Veel onderzoek heeft tot dusverre echter nog weinig duidelijke verbeteringen in het spuitresultaat aangetoond bij gebruik van de 'elektrostatische spuit'. Vooral het doordringen naar dieper gelegen delen van de plant komt ermee in gevaar.

## 8.2 Betekenis van hulpstoffen voor de opname van herbiciden via het bladoppervlak
(H. de Ruiter)

### *8.2.1 Inleiding*

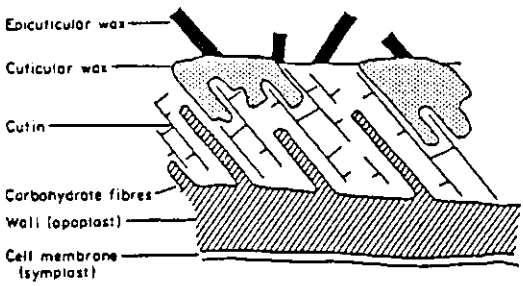
Hulpstoffen kunnen in een aantal gevallen de biologische activiteit van een herbicide aanzienlijk verhogen. Dit effect kan betekenen dat in de praktijk kan worden volstaan met een verlaagde dosering van herbicide. Een tweede belangrijk gevolg kan zijn dat zelfs onder ongunstige omstandigheden een goede onkruidbestrijding wordt bereikt.

De Commissie voor terminologie op het gebied van de onkruidkunde voor het Nederlandse taalgebied heeft de hulpstoffen als volgt gedefinieerd: onder een hulpstof wordt verstaan elke stof die aan een formulering van de werkzame stof(fen) is/wordt toegevoegd om de bruikbaarheid ervan te verbeteren of bij te dragen tot het bedoelde effect. Termen als additief, adjuvant en formulant beschouwt de Commissie als ongewenste termen. Bij deze hulpstoffen kan onderscheid worden gemaakt tussen: zouten, oppervlakte-actieve stoffen, minerale oliën en plantaardige oliën. Onderzoek naar het optimaal gebruik van stoffen is veelal empirisch van karakter. Door kas- en veldproeven probeert men toepassingsmogelijkheden te vinden en/of te verbeteren. Hoewel deze empirische methode van onderzoek tot op heden een grote bijdrage heeft geleverd aan de huidige praktijk van de chemische onkruidbestrijding, bestaat er niettemin behoefte aan inzicht in de werking van hulpstoffen. Dit inzicht kan leiden tot een meer op rationele overwegingen gebaseerd gebruik van hulpstoffen.

Van vele hulpstoffen is aangetoond dat ze een positief effect kunnen hebben op de opname. Daarom staat de opname van herbiciden via het bladoppervlak centraal in dit deel van het hoofdstuk.

### *8.2.2 Opname via het bladoppervlak, een onnatuurlijk proces*

De opname van stoffen vanuit een waterig milieu via het bladoppervlak naar het binnenste van de plant is een onnatuurlijk proces. De opname wordt vooral bemoeilijkt door de cuticula die de grenslaag vormt tussen de atmosfeer en de bovengrondse delen van de plant. Deze cuticula beschermt de plant tegen uitdroging, uitspoeling van




Figuur 8.7. Schematische voorstelling van de cuticula (uit Price, 1982).

nutriënten, mechanische beschadiging en pathogene organismen. De permeabiliteit van de cuticula is in het algemeen laag. De cuticula van bijvoorbeeld het blad (bovenkant) van de *Citrus* heeft voor water een permeabiliteit van 0,4 g per $m^2$ per uur. De dikte van de tot dusver gemeten cuticula's varieert van 0,5 tot 14 $\mu$m. Ter vergelijking: de dikte van de plasmalemma, de membraan die het cytoplasma van de plantecel begrenst, bedraagt 0,0075 $\mu$m.

In hoeverre naast de cuticula ook de eventueel aanwezige huidmondjes een rol spelen bij de opname van herbiciden is onduidelijk. Wel zijn factoren aan te wijzen die penetratie van de huidmondjes bemoeilijken. De spuitvloeistof moet een bijzonder lage oppervlaktespanning bezitten (lager dan 30 $mN \cdot m^{-1}$) om te kunnen penetreren in de holte van het huidmondje. Vervolgens moet alsnog een cuticulaire membraan worden gepasseerd. Deze membraan bedekt de sluit-, de epidermis- en de mesofylcellen.

De cuticula (figuur 8.7) is samengesteld uit twee groepen lipiden: de onoplosbare cutinen en de oplosbare wassen. Daarnaast zijn ook polysacchariden, polypeptiden en fenolische stoffen aangetoond. De cutinen zijn polymeren van hydroxyvetzuren die een matrix in de cuticula vormen. De oplosbare wassen bestaan uit n-alkanen, alifatische esters, alcoholen en vetzuren. De wassen aan het oppervlak van de cuticula vormen een amorfe of kristallijne structuur, die de epicuticulaire waslaag wordt genoemd.

Bij de passage van de cuticula kunnen drie stappen worden onderscheiden: de opname in de cuticula, het transport in de cuticula en het transport vanuit de cuticula naar het waterige milieu in de plant. Het is belangrijk deze stappen te onderscheiden doordat aan opname gerelateerde factoren op verschillende wijzen deze stappen te kunnen beïnvloeden. Zo is bekend dat sterk lipofiele stoffen relatief gemakkelijk in de cuticula worden opgenomen. Door hun lipofiel karakter worden ze echter in geringe mate door de cuticula afgegeven aan de waterige apoplast. Door de opname van stoffen via de cuticula te vergelijken met diffusie door een membraan, heeft Price (1982) een opsomming gemaakt van voor de opname belangrijke factoren. Hierbij wordt opname gedefinieerd als diffusie door de cuticula tot aan het grensvlak met de apoplast.

Nadat de vergelijking van Stoker-Einstein wordt gesubstitueerd in de gemodificeerde eerste wet van Fick kan de diffusie door de cuticula als volgt worden beschreven:

$$J = \frac{k^B \times T \times K}{6\,\pi r \times \eta \times \Delta x \times l}(C_o - C_i)$$

J = diffusie in $mol \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$
$k^B$ = Boltzmann constante
$C_o$ = concentratie aan buitenkant cuticula
$C_i$ = concentratie aan binnenkant cuticula
T = absolute temperatuur
K = verdelingscoëfficiënt
$\Delta x$ = dikte van de cuticula
l = 'kronkelings'-factor
r = straal van het molecuul, dat de cuticula passeert
$\eta$ = viscositeit van de cuticula

Langs deze weg wordt afgeleid dat de concentratiegradiënt, de lengte van de weg door de cuticula, de verdelingscoëfficiënt (tussen water en de cuticula), de viscositeit van de cuticula, de straal van het te transporteren molecuul en de temperatuur, het transport door de cuticula bepalen. Benadrukt moet worden dat in het bovenstaande de cuticula met een ideale membraan wordt vergeleken terwijl het in feite een membraan is, die qua structuur én samenstelling heterogeen van karakter is.

Het vermogen van cuticula's om water op te nemen en aldus de diffusie van wateroplosbare stoffen te vergemakkelijken, verstoort bovenstaande benadering. Een ander voorbeeld van een dergelijke verstoring is de invloed van de temperatuur. Fysische veranderingen in de cuticula als gevolg van een stijgende temperatuur (in de buurt van 30 °C) leiden tot een lagere viscositeit met daardoor een hogere permeabiliteit. Daarom kan de invloed van de temperatuur op de diffusie groter zijn dan in eerste instantie werd verwacht. De invloed van de verdelingscoëfficiënt laat zich eveneens niet volledig door de formule voor diffusie beschrijven. Als maat voor de moeilijk te bepalen verdelingscoëfficiënt tussen water en de cuticula wordt vaak de verdeling tussen octanol en water ($K_{o/w}$) genomen. Een apolaire stof zal zich voor het overgrote deel in de octanolfase bevinden, terwijl een meer polair molecuul voornamelijk in de waterfase wordt aangetroffen. Dit resulteert in een hoge en een lage waarde van de $K_{o/w}$ voor respectievelijk apolaire en polaire stoffen. Door Price & Anderson (1985) werd experimenteel aangetoond dat op basis van de $K_{o/w}$ en de oplosbaarheid in water geen voorspelling valt te maken over de opnamesnelheid. Tien verschillende stoffen werden aan tien verschillende plantesoorten toegediend. Het maximale verschil in opnamesnelheid (130×); bleek relatief klein in vergelijking met het maximale verschil in $K_{o/w}$ ($10^{10}$) en de wateroplosbaarheid ($10^7$). Als mogelijke oorzaken voor deze resultaten kan worden genoemd:

– lipofiele stoffen gaan moeilijk over van de cuticula naar de waterige apoplast;
– het uitkristalliseren, het oplossen in toegevoegde, organische stoffen of het oplossen in de epicuticulaire waslaag.

De laatste verschijnselen leiden tot een verlaagde $C_o$ en daardoor tot een lagere diffusie door de cuticula. Ondanks de vele afwijkingen vormt de benadering van Price

& Anderson (1985) een nuttig uitgangspunt voor de opzet van experimenten en voor de interpretatie van resultaten.

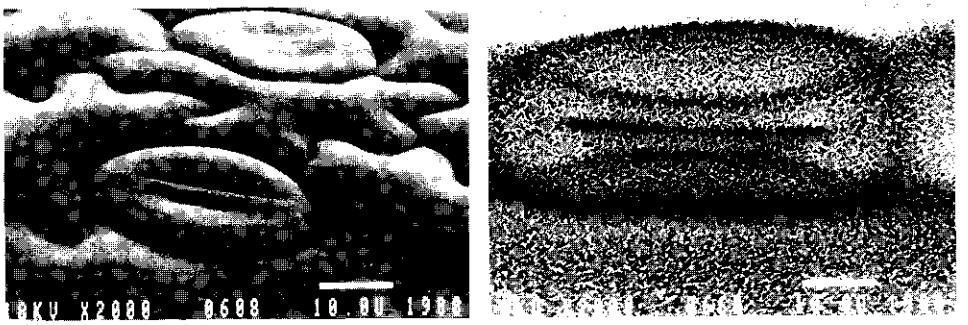
Twee factoren waarvan het belang voor de opname moeilijk kan worden overschat, zijn de relatieve luchtvochtigheid en de watervoorziening van de plant met de daarbij behorende fysiologische toestand van de plant. Deze factoren zijn niet terug te vinden in de uitgewerkte formule: ze hebben echter sterke invloed op $C_o$ en $C_i$, de concentratie van het herbicide aan de buitenkant en aan de binnenkant van de cuticula. Een hoge relatieve luchtvochtigheid (70 – 100 %) bevordert de hydratatie van de cuticula en vertraagt het indrogen van druppels. Hydratatie van de cuticula vergemakkelijkt de penetratie van, in water oplosbare, herbiciden terwijl het vertraagd opdrogen de benodigde concentratiegradiënt langer in stand houdt. Bij een lage luchtvochtigheid (tot 50 %) is de cuticula minder gehydrateerd en drogen de druppels sneller in. Indien voldoende water voor de plant beschikbaar is, zal bij lage relatieve vochtigheid de transpiratie toenemen. De toegenomen transpiratie bevordert de naar boven gerichte stroming in de apoplast van water met de daarin opgeloste herbiciden. Voor bijvoorbeeld glyfosaat betekent dit, dat de onder de cuticula gelegen cellen relatief minder glyfosaat opnemen. Een tekort aan water heeft ook een negatieve invloed op de opname van met name in water oplosbare herbiciden. De verminderde opname wordt onder andere toegeschreven aan verlaagde permeabiliteit van de cuticula door verminderde hydratie én een toename in dikte als de droogte lang aanhoudt. Daarnaast zal bij droogte een lage transpiratiesnelheid worden gehandhaafd door water te onttrekken aan cellen; daardoor kunnen beschadigingen optreden, leidend tot een verlaagd vermogen herbiciden op te nemen. Tenslotte kan de sterk teruggelopen beweging van water in de apoplast de opname in negatieve zin beïnvloeden. De gevolgen van watertekort voor de opname van herbiciden kunnen voor een deel worden gecompenseerd door een hoge relatieve luchtvochtigheid. Er zijn aanwijzingen dat in deze situatie door naar beneden gericht watertransport het herbicide wordt getransporteerd.

### *8.2.3 Effecten van verschillende hulpstoffen*

Met betrekking tot de interactie tussen de plant en het herbicide kunnen hulpstoffen invloed uitoefenen op:

- de retentie, de hoeveelheid spuitvloeistof die door de plant wordt opgevangen (figuur 8.8);
- absorptie of opname: het verdwijnen van het herbicide van het bladoppervlak ten gevolge van penetratie in de cuticula;
- translokatie: het transport van het herbicide na passage van de cuticula.

De informatie over de werkingswijze van hulpstoffen is fragmentarisch van aard. De functie van hulpstoffen bij de absorptie en translokatie van een herbicide is nog grotendeels onbekend. Het gecompliceerde samenspel van factoren bij absorptie en translokatie draagt daar zeker toe bij. In elke situatie bepalen telkens de interacties tussen plantesoort, pesticide, hulpstof en de weersomstandigheden het uiteindelijke effect. In de onderstaande tekst zal van verschillende typen van hulpstoffen in het kort



Figuur 8.8. Microstructuur (700× vergroot) van echte kamille (links) en kweekgras (rechts). Het kristallijne oppervlak bij kweekgras verhindert de hechting van druppels; toevoeging van een oppervlakte-actieve stof verbetert de hechting aanzienlijk.

de verklaring over hun werkingswijze worden gegeven. Voor uitgebreide informatie wordt verwezen naar de literatuurlijst.

### 8.2.3.1 Ammoniumsulfaat

Voor zover bekend, beïnvloedt ammoniumsulfaat het effect van in water oplosbare herbiciden, die via het blad worden toegediend. De combinatie glyfosaat met ammoniumsulfaat is daar een bekend voorbeeld van. Het $NH_4^+$-ion kan via de cuticula de plant binnendringen. Aangetoond is dat de plasmalemma van plantecellen meer permeabel wordt in de aanwezigheid van ammoniumsulfaat. Verondersteld wordt dat om deze reden het herbicide zich gemakkelijker verspreidt in het weefsel onder de cuticula. Dit zou een grotere concentratiegradiënt ($C_o$-$C_i$) tot gevolg hebben met daardoor een snellere opname vanuit de druppel. Er zijn echter nog geen experimentele aanwijzingen over het werkingsmechanisme van ammoniumsulfaat.

### 8.2.3.2 Oppervlakte-actieve stoffen ('uitvloeiers')

De interactie tussen plant en herbicide kan op diverse wijzen door de uitvloeier worden beïnvloed. De chemische structuur en de concentratie van de uitvloeier spelen daarbij een belangrijke rol. Onderscheiden wordt:

- De hechting van de druppels. Door een verlaagde, dynamische oppervlaktespanning hechten zich meer druppels aan het blad.
- De spreiding van individuele druppels. Door een verlaagde, statische oppervlaktespanning neemt het contactoppervlak tussen blad en druppel toe. Er is dus een groter oppervlakte beschikbaar voor opname.
- Het langer opgelost blijven van herbiciden. Tijdens het indrogen van de druppel kunnen herbiciden opgelost blijven door een sterke interactie met de uitvloeier. Tevens zijn sommige uitvloeiers in staat om bij een relatieve vochtigheid van 90 % meer dan

50 % van hun massa in water aan zich te binden. Verondersteld wordt dat een in water oplosbaar herbicide daardoor langer beschikbaar zal zijn voor opname.
– Beschadiging van de waslaag. Sommige uitvloeiers beschadigen de waslaag. Veel van deze uitvloeiers passeren de cuticula en zullen mogelijk de was in de cutine matrix aantasten. Deze interactie tussen uitvloeier en cuticulaire was leidt mogelijk tot een tijdelijk lagere viscositeit van de was en daardoor tot een hogere diffusiesnelheid door de cuticula.
– Invloed op planteweefsel. Uitvloeiers kunnen de permeabiliteit van de plasmalemma en andere membranen verhogen casu quo beschadigen al naar gelang de concentratie van de uitvloeier en het type uitvloeier. Van een aantal uitvloeiers is bekend dat ze vanuit de druppel de onder de druppel liggende plantecellen bereiken. Een verhoogde permeabiliteit van deze cellen kan de opname stimuleren. Te grote en/of te snelle beschadiging van deze cellen kan ertoe leiden dat deze cellen niet meer betrokken zijn bij het transport van het herbicide ('contactschade'). Het dalen van de concentratiegradiënt zal dan leiden tot een vertraagde opname.

Niet genoemd in bovenstaande opsomming zijn subtiele interacties die mogelijk tussen herbicide, hulpstof en plant kunnen optreden. De vorming van micellen en de rangschikking van uitvloeiers langs kanalen in de cuticula behoren daartoe. De ideeën daaromtrent zijn te weinig experimenteel onderbouwd om hier verder op in te gaan. Om praktische redenen is eveneens niet ingegaan op de andere functies van uitvloeiers zoals emulgator en dispergeermiddel.

#### 8.2.3.3 Oliën

Minerale oliën zijn rijk aan alkanen, terwijl plantaardige oliën esters van glycerol met voornamelijk onverzadigde vetzuren bevatten. Bij gebruik van olie als hulpstof wordt een emulgator toegevoegd om een fijne verdeling van olie in water te krijgen. Olie wordt vaak gebruikt om het effect van moeilijk in water oplosbare herbiciden (bijvoorbeeld atrazin) te verhogen. Aan de geëmulgeerde oliën worden de volgende effecten toegeschreven:
– verhoogde retentie van de spuitvloeistof;
– vergroot contactoppervlak tussen druppel en bladoppervlak;
– beschadiging van de cuticula waardoor deze meer permeabel wordt.

Bij het gebruik van olie als hulpstof zal de concentratie emulgator in de spuitvloeistof veelal in het gebied van 0,1 – 0,3 % (v/v) liggen. Het verdient dan ook aanbeveling om bij onderzoek aan het werkingsmechanisme van oliën ook aandacht aan het effect van de emulgatoren te besteden.

Twee aspecten van de hulpstoffen mogen niet onvermeld blijven. Ten eerste zijn er aanwijzingen dat hulpstoffen de nadelige effecten van een lage relatieve luchtvochtigheid tijdens de bespuiting teniet kunnen doen. Bij een lage relatieve luchtvochtigheid zal de cuticula minder water bevatten en daardoor minder permeabel zijn voor met name in water oplosbare herbiciden. Sommige uitvloeiers en vermoedelijk ook de oliën kunnen dit effect compenseren. De oorzaak voor deze compensatie is vermoede-

lijk gelegen in het vermogen van deze stoffen om de epicuticulaire wassen 'op te lossen'. Een tweede aspect is dat de vereiste regenvrije periode bij gebruik van hulpstoffen (uitvloeiers en oliën) kan worden verkort. Vooral bij wateroplosbare herbiciden is dit van belang. Het effect kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan een versnelde opname van het herbicide in de cuticula.

## 8.3 Toepassing in de praktijk (L.M. Lumkes)

### *8.3.1 Inleiding*

Uit onderzoek aan veldspuiten is gebleken dat de technische staat waarin ze verkeren in veel gevallen voor verbetering vatbaar is. Praktijkonderzoek in het veld leerde dat de keuze van de uitrusting en het gebruik lang niet altijd optimaal zijn. Ook omtrent de gewenste vloeistofhoeveelheid en de keuze van de spuitdop lopen veel praktijkbedrijven achter bij de onderzoeksresultaten. Naast verbetering hierin mag bij dit alles voor de praktijk in een volgende fase veel worden verwacht van computergestuurde keuzes van middel, tijdstip van toediening en keuze van de uitrusting (type spuit en spuitdop, druk, hoeveelheid middel en vloeistof) op basis van al dan niet geautomatiseerde veldwaarnemingen.

### *8.3.2 Hoeveelheid spuitvloeistof*

Voor de toediening van veel bestrijdingsmiddelen wordt gebruik gemaakt van een oplossing in water. Het water dient in dit geval als verdunnings- en transportmedium. Daarnaast kunnen ook enige effecten op de opname optreden. Vooral de pH van het water kan bij een temperatuur hoger dan 15 °C van enig belang zijn bij de opname van een herbicide door een plant. De normale pH van water is circa 6,5 dus licht zuur. In enkele gevallen kan ook het gehalte aan andere stoffen in het water, bijvoorbeeld dat van zout of van ijzer een bezwaar zijn.

Naar hoeveelheid spuitvloeistof op basis van water wordt voor de gewasbescherming de volgende indeling gehanteerd:

- zeer weinig water: minder dan 50 l per ha spuitvloeistof;
- weinig water: 50–150 l per ha spuitvloeistof;
- gangbare hoeveelheid water: 150–300 l per ha spuitvloeistof.

Omtrent de gangbare hoeveelheid spuitvloeistof dienen enkele opmerkingen te worden geplaatst.

Het toelatingsonderzoek van bestrijdingsmiddelen met proefveldhandspuiten vindt om praktische redenen in het algemeen plaats met vrij veel water, namelijk met circa 500 l per ha. De op deze wijze getoetste dosering van het middel in de spuitvloeistof staat ook veelal als advies op het etiket van het bestrijdingsmiddel vermeld. Wanneer het spuitvolume verandert, kan het zijn dat ook een andere dosering mogelijk wordt of nodig is om het benodigde effect te verkrijgen.

Een plant kan slechts een bepaalde hoeveelheid spuitvloeistof vasthouden. Dit is

afhankelijk van de grootte en de structuur van de plant, van de druppelgrootte, van de snelheid waarmee de druppels de plant raken en van de hechting op de plant. De mate waarin de grond bedekt wordt, kan men aangeven als bebladeringsindex ('Leaf Area Index'). Als meerdere bladlagen aanwezig zijn kan deze LAI >1 worden. De bebladeringsindex voor vollegrondsgewassen kan tot 8 oplopen. Bij aardappelen is het maximum circa 5 ha per ha, bij granen circa 8 ha per ha. Veelal zal bij de onkruidbestrijding een lage LAI aanwezig zijn. Spuiten met veel spuitvloeistof houdt dan in dat het onkruid onmogelijk die hoeveelheid kan opvangen en dat een belangrijk deel verloren gaat, tenzij sprake is van werking via de bodem. Ook dan is er echter nog geen reden voor extreme vloeistofhoeveelheden. Een drastische verlaging van de hoeveelheid spuitvloeistof betekent echter ook een verandering van de toegediende concentratie van het middel. Mede daardoor kan er behoefte ontstaan aan een lagere dosering van het (de) middel(en). Onder bepaalde omstandigheden valt aan de toediening van een middel in een oplossing olie te denken. Wordt olie als draagstof gebruikt, dan is een aangepaste spuittechniek nodig. Wordt een olie als hulpstof ingeschakeld dan kan dat invloed hebben op het spuitbeeld (vorming, afzetting en hechting van druppels) en op de werking van het middel.

### *8.3.3 Gewenst aantal spuitdruppels*

Bij een aantal bestrijdingsmiddelen speelt de hoeveelheid vloeistof waarin ze worden toegediend niet een bepalende rol, bij andere is de concentratie van het middel een cruciaal punt of speelt de hoeveelheid vocht een rol bij de opname. Omtrent het minimaal en maximaal gewenst aantal spuitdruppels voor diverse bestrijdingen vindt thans praktijkonderzoek plaats. Oriënterend onderzoek van enkele bestrijdingsmiddelenfirma's (Ciba-Geigy, Hoechst) resulteert in de volgende minimumnorm:

| Aantal druppels per $cm^2$ op het doel (bij gangbare druppelgroottes) | Aard van de bespuiting |
|---|---|
| 20-30 | vóór-opkomst herbiciden |
| 30-40 | ná-opkomst contactherbiciden |

Aan de hand van het minimaal gewenste aantal druppels per $cm^2$, inzicht in de gewenste druppelgrootte en de LAI kan de gewenst geachte hoeveelheid spuitvloeistof worden berekend. Een grotere hoeveelheid kan nadelig zijn doordat spuitvloeistof van het onkruid afstroomt en de aanwezigheid van een lagere concentratie van het middel dan ongewenst is. Praktijkonderzoek van het PAGV heeft aangetoond dat circa 100 druppels per $cm^2$ ongeveer voldoende zou zijn bij de onkruidbestrijding. Met deze norm wordt dan ook verder gewerkt (tabel 8.3).

Tabel 8.3. Bedekking spuitvloeistof bij verschillende druppelgroottes en doseringen (Porskamp et al., 1985).

| *Spuitvloeistof (l/ha)* | *Druppelgrootte (μm)* | *Aantal druppels (cm $^{-2}$)* | *Bedekking (%)* | *Afstand tussen druppels (mm)* |
|---|---|---|---|---|
| 400 | 100 | 7639 | 60 | 0,11 |
| | 200 | 955 | 30 | 0,32 |
| | 400 | 119 | 15 | 0,92 |
| 40 | 100 | 764 | 6 | 0,36 |
| | 200 | 96 | 3 | 1,02 |
| | 400 | 12 | 1,5 | 2,89 |

### *8.3.4 Invloed druppelgrootte*

Des te kleiner de druppel, des te groter is de kans dat de druppel door wind afdrijft. Druppels kleiner dan 150 μm worden in dit verband, bij toediening in het veld, als driftgevoelig beschouwd. Ze zijn dus minder gewenst.

Bij de spuittechniek voor onkruidbestrijding in de vollegrondsteelten zijn vooral druppels van 150–400 μm (0,15–0,4 mm) van belang. Grove druppels hebben bovendien een langere verdampingstijd, wat een voordeel kan zijn. Deze bedraagt bijvoorbeeld bij druppels van 300 en 100 μm respectievelijk 400 en 50 seconden bij een luchttemperatuur van 20 °C en een relatieve luchtvochtigheid van 80 procent.

Grote druppels rollen gemakkelijker van het gewas af en geven bovendien een minder goede verdeling van de spuitvloeistof, dit kan vooral bij gebruik van beperkte vloeistofhoeveelheden tot een geringer effect leiden. Eén druppel van 500 μm bevat 1000 keer zoveel vloeistof als één druppel van 50 μm, maar bedekt bepaald geen 1000 keer zo groot oppervlak. De inhoud van een ronde druppel is ongeveer 0,52 × (de diameter)$^3$ en de oppervlakte is 6,28 × (de diameter)$^2$. Als de diameter van een druppel verdubbelt, wordt de oppervlakte 4 maal zo groot (= $2^2$) en de inhoud 8 maal (= $2^3$); 216 druppels van 50 μm zijn qua inhoud evenveel als 1 druppel van 300 μm.

De berekende invloed van de druppelgrootte op de bedekking is weergegeven in tabel 8.3.

Bij het bovenstaande is uitgegaan van een verdeling over een ééndimensionaal vlak. Er is dus geen rekening gehouden met een groter oppervlak door een gewas. Bij gebruik van 40 l per ha spuitvloeistof en grove druppels van 400 μm, zijn er slechts 12 druppels per cm$^2$, hetgeen als te weinig kan worden beschouwd. Bij een druppelgrootte van 200 μm zijn er 96 druppels per cm$^2$, is de bedekkingsgraad 3 % en liggen de druppels op circa 1 mm van elkaar verwijderd. Indien geen vermenigvuldiging van het gewenste aantal druppels met de LAI hoeft plaats te vinden (LAI van 1 of lager), kan dit voldoende zijn. Bij PAGV-onderzoek omtrent bedekkingspercentages werd dit bevestigd.

Vooral met de traditionele spuitsystemen wordt een vrij breed druppelspectrum

gespoten. Dit is verstelbaar door de keuze van de spuitdop en de spuitdruk, terwijl het aantal druppels per $cm^2$ voorts beïnvloed wordt door de hoeveelheid spuitvloeistof en de rijsnelheid.

Vooral in grote, vlakke, open gebieden, zoals de polders, is er overdag vrijwel altijd sprake van windsnelheden van minstens circa 4 m per sec. Om het verwaaien van een deel van de spuitvloeistof te beperken, is slechts een gering aandeel (te) kleine druppels aanvaardbaar. Dit kan door de keuze van het type spuitdop en de spuitdruk worden bereikt (bijvoorbeeld met nieuwe typen spleetdoppen). Een alternatief is het spuiten bij windstilte.

### *8.3.5 Invloed spuitdruk*

Met veldspuiten wordt veelal het middel verspoten in een 150 – 300 l per ha water. Algemeen vindt dat plaats volgens het principe van druk in de vloeistoftank en tegendruk door de uitstroming via een spuitdop met kleine opening. De druk wordt opgewekt met een pomp (veelal aangedreven via de aftakas van de tractor), met een gebruikelijke opbrengst van circa 6 l per min per meter werkbreedte. Gespoten wordt bij voorkeur met een druk van 1,5 – 4 bar. Des te hoger de druk des te fijner de spuitdruppels, daarmee gaat een sterk toenemende kans op spuitdrift gepaard.

Door de verhoging van de druk wordt ook de uittreedsnelheid van de druppels vergroot. Met name bij grote druppels kan dit leiden tot beschadiging van het te behandelen gewas. De trefenergie van een druppel neemt kwadratisch toe met de snelheid (trefenergie = ½ × druppelmassa × trefsnelheid$^2$).

### *8.3.6 Andere spuitsystemen*

Met de gangbare spuitsystemen zijn uiteenlopende druppelgroottes en druppelspectra te verkrijgen. Spleetdoppen met een nauw druppelspectrum hebben de voorkeur. Als alle druppels nagenoeg even groot zijn, is een verdere verbetering van de spuittechniek mogelijk. Naast de traditionele systemen, te weten spleet- en werveldoppen, zijn daarvoor een aantal systemen ontwikkeld.

(a) Centrifugaal doppen met roterende verstuiverschijfjes. Hierbij bestaat de spuitmond uit een aangedreven schijfvernevelaar. De onder druk uit de spuit komende vloeistof komt op de snel draaiende schijf of schijven terecht. Daarvan af wordt het instelbaar verspoten, resulterend in een bepaald druppelspectrum. Gewerkt kan worden met extreem lage vloeistofhoeveelheden van 25 – 40 l per ha.

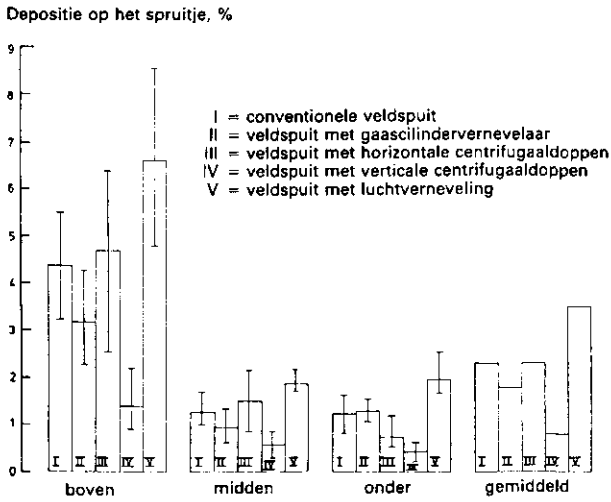
(b) Centrifugaal doppen met roterende gaasvernevelaars. Hierbij is het druppelvormingsprincipe enigermate overeenkomstig aan dat van de roterende verstuiverschijfjes. Bij de gaascilindervernevelaar wordt vanuit de spuitmond de vloeistof door de draaiende gaascilinder of via een ventilator door de cilinder heen tot vrij uniforme druppelgroottes verdeeld.

(c) Spuiten met luchtondersteuning of met lucht-vloeistofmenging waarbij de spuitvloeistof minder driftgevoelig wordt en meer doordringingskracht kan krijgen.

(d) Doppen waarbij de druppels elektrostatisch geladen worden. Dit principe is onder andere bekend uit de automobielspuiterij. Het verspuiten van bestrijdingsmiddelen met elektrostatische lading van de spuitdruppels heeft tot dusverre weinig toepassing gevonden. De technische problemen zijn nog te groot. De spuitvloeistof zet zich te sterk af op het dichtsbij gelegen object. Verbetering is wellicht mogelijk in combinatie met luchtondersteuning voor verdere doordringing.

In praktijkonderzoek zijn de onder a, b en c, genoemde systemen vergeleken met traditionele spuiten. Dit is gebeurd in enkele representatieve typen gewassen, namelijk wintertarwe, aardappelen, suikerbieten en spruit. Zowel de depositie, de doordringing in het gewas, de drift en het biologisch effect zijn beoordeeld. De conventionele veldspuit, uitgerust met spleetdop, tekende zich tot nu toe, wat betreft depositie op het gewas, binnendringen op lagere niveaus in het gewas en zijwaartse verliezen (drift) gunstig af ten opzichte van de nieuwe spuitsystemen met schijfvernevelaars (figuur 8.9).

Het traditionele systeem van een veldspuit met spuitdoppen komt dus in dit – en aansluitend – praktijkonderzoek niet slecht naar voren. Dat is wel het geval voor de gaascilindervernevelaar. De doordringingskracht in een gewas is bij de geteste uitvoering te gering. Dit is vooral bij ziekten van belang. Bovendien bleek de driftgevoeligheid van de spuitvloeistof bij dit systeem te groot. De machine volgens dit principe is dan ook uit de markt gehaald. Een enigszins soortgelijk principe is in gebruik bij spuitvliegtuigen. Het geeft daar goede resultaten door de grote stuwingskracht door de vliegtuigvleugel. De machines bedoeld voor het spuiten met constante druppelgrootte-afgifte (C.D.A.) via toediening van de spuitvloeistof door een schijfvernevelaar, produceren een mistregen van een fijn en begrensd druppelspectrum. De indringingskracht is daarbij te klein. Met name voor ziektebestrijding in een gewas




Figuur 8.9. Percentage van de spuitvloeistof, afgezet op spruiten bovenin, middenin en onderin het spruitkoolgewas bij vijf spuitsystemen.

kan dit ongewenst zijn. Bij bestrijding van onkruiden heeft het systeem geen slechte resultaten gegeven en is de vloeistofhoeveelheid van 40 l per ha of zelfs minder steeds toereikend geweest. Het risico van drift kan bij het goed verdelen van een zo laag volume echter groter zijn. De veldspuit met luchtondersteuning en met menging van lucht en vloeistof scoort vooral in beperking van drift, in verlaging van de vloeistofhoeveelheid en daarnaast in ziektebestrijding in moeilijk doordringbare gewassen vrij hoog. Het praktijkonderzoek vindt thans plaats met uiteenlopende principes. Enkele daarvan geven al veelbelovende resultaten.

*8.3.7 Typen spuitdoppen voor de onkruidbestrijding*

Gewenst is dat de fabrikant van een bestrijdingsmiddel aangeeft met welke vloeistofhoeveelheid en met welk doptype de toediening kan plaatsvinden. Fabrikanten van spuitmachines, onderzoek en voorlichting wijzen ook reeds in die richting. Spleetdoppen worden in toenemende mate gebruikt. Door de veelal grotere tophoek dan die bij werveldoppen wordt toegepast, kan de spuitboom lager worden gesteld voor hetzelfde effect. Mede door deze mogelijkheid en door de meer naar beneden gerichte snelheid van de druppels, is de kans op drift in beginsel geringer dan bij werveldoppen. Bovendien is door de holle spuitkegel bij werveldoppen de indringing niet ideaal en dit effect wordt alleen maar versterkt door een grotere tophoek. Dit houdt in dat de spuithoogte bij werveldoppen groter dient te zijn om een goede breedteverdeling te verkrijgen. Het gevolg hiervan kan weer zijn dat ze gevoeliger zijn voor schommelingen van de spuitboom en drift.

Voor nauwkeurig spuiten met geringe en matige vloeistofhoeveelheden zijn spleetdoppen dan ook het meest geschikt. Bij de moderne spuit kan men op één aansluitpunt via een revolverdopaansluiting tot vier spuitdoppen en/of een dichte dop monteren. Het is daarbij gebruikelijk dat per spuitdop een andere kleur dophouder wordt gebruikt. Zo kan men eenvoudig kiezen voor bijvoorbeeld een spleetdop voor 100 l per ha spuitvloeistof, naast een spleetdop voor bijvoorbeeld 250 l per ha en desgewenst een werveldop voor 400 l per ha. Dat kan dan de standaarduitrusting voor de spuit zijn, waarmee nagenoeg alle bespuitingen zijn uit te voeren.

Belangrijk voor het sparen van het milieu en het vermijden van het spuiten van dubbele hoeveelheden bij perceelsgrenzen is dat met een dichte dop in de revolverhouder een dop kan worden afgesloten. Zo kan ook een gewenst aantal doppen van minder dan een afsluitbaar segment van de spuit worden uitgeschakeld.

*8.3.8 Spuitcomputer*

Een belangrijke bijdrage aan het verbeteren van de spuittechniek wordt verkregen door het gebruik van een automatische regeling van de spuitdruk en/of de vloeistofhoeveelheid. Computers zijn er daarbij in volledig automatisch sturende principes of in signaleringsapparatuur. De laatste typen waarschuwen de bestuurder van de tractor als de afstelling gecorrigeerd moet worden. Bij verandering in de rijsnelheid, trekker-

toerental en werkbreedte kan een daartoe geprogrammeerde besturingskast automatisch de spuitdruk en in enkele gevallen de stroomsnelheid van de vloeistof regelen. Veelal wordt bij gebruik van een spuitcomputer uitgegaan van het meten van de rijsnelheid. Dit kan met een radarsensor waardoor slippen van de tractoren geen storende factor meer is. Verder wordt gewerkt via het meten met een magnetische wielsensor op een niet aangedreven wiel.

**Samenvatting**

De nieuwe systemen in de spuittechniek bieden op korte termijn ook perspectief voor de onkruidbestrijding. Het zwaartepunt zal voor veel gebruikers van een veldspuit echter blijven liggen in het kiezen van geschikte doptypes bij bestaande apparatuur. Deze keuze dient dan te zijn afgestemd op het verspuiten van het minimaal benodigde aantal druppels en dus van de vloeistofhoeveelheid met daarin een vereiste concentratie produkt.

Chemische onkruidbestrijding is een activiteit met een grillig karakter. Optimalisatie van het ene facet kan weer nadelig zijn voor een andere stap in het proces. Bij verklarend onderzoek naar de depositie of de opname van herbiciden moet het risico worden aanvaard dat de resultaten niet op korte termijn tot een verandering in de praktijk zullen leiden. Het is daarom belangrijk dat de resultaten van laboratorium- en kasexperimenten snel kunnen worden getoetst in veldproeven. Laatstgenoemde, empirisch gericht onderzoek, heeft altijd een grote rol gespeeld bij nieuwe produkten en apparatuur gebruikt bij de chemische onkruidbestrijding. In de toekomst zal blijken of rationalisatie van het proces en de daaruit voortvloeiende inzichten zullen leiden tot verbeteringen in de chemische onkruidbestrijding. Met betrekking tot de toedieningstechniek lijkt de opvatting gerechtvaardigd dat de chemische industrie tot dusver geen aanleiding zag zich intensief met risicovol, verklarend onderzoek op dit gebied bezig te houden. Daarom zullen onderzoekers van proefstations, instituten en universiteiten een bijdrage moeten leveren om tot innovaties van spuittechniek en formulering te komen. Een intensievere en meer open samenwerking tussen de chemische industrie en de overheid zal daarbij voor beide partijen een stimulans vormen.

**Literatuur**

*8.1 Fysisch-chemische achtergronden*

Austin, R.B., 1982. Decision making in practice of crop protection. BCPC publications, Croydon.

Elliott, J.G. et al., 1983. The influence of weather on the efficiency and safety of pesticide application. BCPC publications, Croydon.

Hoenderken, J.A., 1985. Spuiten in de landbouw. Uitg. Min. van Lanbouw en Visserij, CAD-BAT, Wageningen.

Matthews, G.A., 1979. Pesticide application methods. Longmans, Londen.

Porskamp, H.A., 1980. De vloeistofverdeling van landbouwspuiten. IMAG-public.

Schmidt, M., 1980. Einfluss physikalischer Flüssigkeitseigenschaften auf die Zerstaubung im Pflanzen-

schutz. Grundl. Landtechnik 30: 126–134.
Selcan, Z. et al., 1982. Einfluss der Betriebs- und Stoffparameter auf das Tropfengrössenspectrum von Pflanzenschutz-Düsen. Grundl. Landtechnik 32: 189–195.
Southcombe, E.S.E., 1985. Application and biology. BCPC publications, Croydon.

## *8.2 Betekenis van hulpstoffen*

Bukovac, M.J., 1976. Herbicide entry into plants. In: Audus, L.J. (Ed.): Herbicides. Academic Press, Londen: 335–364.
Casely, J.H. & D. Coupland, 1985. Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake, movement and activity. In: Grossbard, E. & D. Atkinson (Eds): The herbicide glyphosate. Butterworth, Londen: 92–123.
Holly, K. & D.J. Turner, 1978. Some effects of formulation on the biological activity of herbicides applied to foliage. In: Heissbühler, H. (Ed.): Advances in pesticide science, Part 3. Pergamon Press, Oxford: 726–733.
Martin, J.T. & B.E. Juniper, 1970. The cuticle of plants. Arnold, Londen.
Price, C.E., 1976. Penetration and translocation of herbicides and fungicides in plants. In: Herbicides and fungicides factors affecting their activity. Chemical Society Special Publication 29, Londen: 42–66.
Price, C.E., 1982. A review of the factors influencing the penetration of pesticides through plant leaves. In: Cutler, D.F., K.L. Alvin & C.E. Price (Eds): The plant cuticle. Academic Press, Londen: 237–252.
Price, C.E., 1983. The effect of environment on foliage uptake and translocation of herbicides. Aspects of Applied Biology 4: 157–169.
Price, C.E. & N.H. Anderson, 1985. Uptake of chemicals from foliar deposits. Effects of plant species and molecular structure. Pestic Sci. 16: 369–377.
Schönherr, J., F. Kerler & M. Riederer, 1984. Cuticular lipids as interface between plant and environment. In: Siegenthaler, P.A. et al. (Eds): Proc. 6th Int. Symp. Structure Function and Metabolism of Plant Lipids. Elsevier, Amsterdam.
Steurbaut, W., 1986. De invloed van tensio-actieve formuleringsbestanddelen op het gedrag en de werking van fungiciden. Rijksuniversiteit, Gent.

## *8.3 Toepassing in de praktijk*

Porskamp, H.A.J., L.M. Lumkes & H. de Heer, 1985. Onderzoek van veldspuiten met centrifugaaldoppen. Landbouwmechanisatie 36: 658–662.
Rotteveel, A.W. & H.A.J. Porskamp, 1984. Spuittechniek in bieten. Hoge druk en laag volume geen verbetering. Boerderij/Akkerbouw 69: 22–23.

# 9 Werkingswijzen van herbiciden

J.L.P. van Oorschot en J.J.S. van Rensen

## 9.1 Inleiding

Inzicht in de werkingswijzen van herbiciden op planten is nodig voor een efficiënte chemische onkruidbestrijding. Hierbij moet onder werkingswijze niet alleen de werking op celniveau worden verstaan, maar dient ook de gehele weg vanaf het uitwendige contact van het herbicide met de plant tot aan de werking in specifieke organellen te worden beschouwd. Ook de consequenties van deze werking voor de intacte plant moeten daarbij in het oog worden gehouden.

Na opname en eventueel transport naar een andere plaats voor de werking in de plant wordt door grofweg de helft van de ongeveer 250 actieve stoffen het fotosyntheseproces aangegrepen en door bijna een kwart de celdeling geremd, terwijl ruim een tiende specifiek de groei beïnvloedt. Een kleiner deel werkt in op de ademhaling of remt de aminozuursynthese. Sommige herbiciden hebben ook meer werkingen. Belangrijke aspecten die samenhangen met werkingswijzen, zoals de selectieve werking van herbiciden en resistentie van onkruiden, komen eveneens aan de orde.

## 9.2 Opname en transport

Alvorens herbiciden een werking op de plant kunnen uitoefenen, moeten ze worden opgenomen en meestal ook over langere afstand vervoerd. De eerste herbiciden werden via het blad opgenomen; ze oefenden ter plaatse een contactwerking uit of werden vervoerd naar specifieke delen van de plant. Later zijn een groot aantal herbiciden ontwikkeld, die vooral door de wortels of andere ondergrondse delen werden opgenomen, maar de laatste jaren komen weer meer bladherbiciden naar voren. Naast herbiciden met zodanige eigenschappen dat ze uitsluitend via het blad of de wortels werkzaam zijn, kan een groot aantal op beide wijzen worden geabsorbeerd. Het hangt dan van het tijdstip en de wijze van toediening af welke van deze twee overheerst.

Bij opname door het blad speelt de cuticula de belangrijkste rol, al valt penetratie in en rond de stomata niet uit te sluiten (Hess, 1985; hoofdstuk 8). Voordat diffusie door de cuticula kan plaatsvinden, dient de spuitvloeistof door het blad te worden opgevangen en vastgehouden. Naast eigenschappen van de spuitvloeistof zijn die van de plant hierbij van belang, terwijl ook de weersomstandigheden een grote rol spelen (Price, 1983). Voor de eigenlijke opname zijn eveneens factoren die samenhangen met het herbicide, de plant en de weersomstandigheden van invloed (Chamel, 1986).

Na bladopname is voor een aantal herbiciden slechts transport door enkele cellagen nodig om de plaats van werking te bereiken, zoals voor fotosyntheseremmers. Trans-

port over langere afstand vanuit het blad is echter noodzakelijk voor andere herbiciden, bijvoorbeeld als ze specifiek de groei beïnvloeden. Dit symplastisch transport vindt plaats door het floëem en verloopt parallel met dat van assimilaten naar die plaatsen in de plant waar assimilaten worden verbruikt (Roberts, 1982). Voor een goede werking van zo'n herbicide moet het floëemsysteem intact blijven, terwijl er een actief transport van assimilaten dient plaats te vinden.

Opname door de wortels of andere ondergrondse organen lijkt minder gecompliceerd omdat hier een cuticula ontbreekt. Een aantal factoren in de grond kan echter de beschikbaarheid van het herbicide voor de plant sterk beperken (Roberts, 1982). Opname door de wortels gaat vaak gepaard met transport van water door het xyleem (apoplastisch transport). Dit is het geval met het transport van fotosyntheseremmers naar de bladeren. Voor herbiciden die de celdeling in de wortels remmen is echter weinig transport nodig. Opname en transport van fotosyntheseremmers naar de bladeren worden bevorderd door een hogere verdamping (Van Oorschot, 1983).

### 9.3 Werking op ademhaling

Er zijn enkele herbiciden, die de ademhalingsketen in de mitochondria beïnvloeden. Omdat de mitochondria van planten zeer sterke overeenkomsten hebben met die van mens en dier, zijn deze herbiciden in het algemeen zeer giftig voor mens en dier. Experimenteel werd de oxidatieve ademhalingsketen beïnvloed door toediening van ontkoppelaars zoals 2,4-dinitrofenol. Deze stoffen verbreken de koppeling tussen elektronentransport en de fosforylering, waarbij ADP en anorganisch fosfaat worden omgezet in ATP. Na ontkoppeling is het elektronentransport niet meer onder 'ademhalingscontrole' en loopt versneld af. De zuurstofopname wordt verhoogd, terwijl er geen ATP wordt gevormd. Ontkoppelaars veroorzaken dus een enorme verspilling van energie, die voor een groot deel als warmte verloren gaat.

Bijna alle herbiciden, die de ademhaling beïnvloeden, zijn ontkoppelaars, onder andere DNOC, dinoseb, bromoxynil en ioxynil. Vooral de lipofilie van deze herbiciden is van belang voor de aktiviteit als ontkoppelaar. Deze bepaalt waarschijnlijk het bereiken van de ademhalingsketen in de membranen van de mitochondria, die voor een groot deel uit lipiden bestaan. De snelle werking van deze herbiciden kan niet worden verklaard uit het langzame uithongeringseffect, dat men van ontkoppelaars zou verwachten. Ze remmen echter ook de fotosynthese (Van Rensen et al., 1977) en juist deze combinatie zou het snelle effect kunnen veroorzaken.

### 9.4 Invloed op fotosynthese

Het fotosyntheseproces kan worden verdeeld in twee groepen: lichtreacties en donkerreacties. Tijdens de lichtreacties worden met behulp van lichtenergie de energierijke verbinding ATP en de reducerende verbinding NADPH gevormd, terwijl $O_2$ vrijkomt. Deze lichtreacties spelen zich af in de membranen van de chloroplast, de thylakoïden. Bij de donkerreacties die in het stroma plaatsvinden wordt $CO_2$ tot $CH_2O$

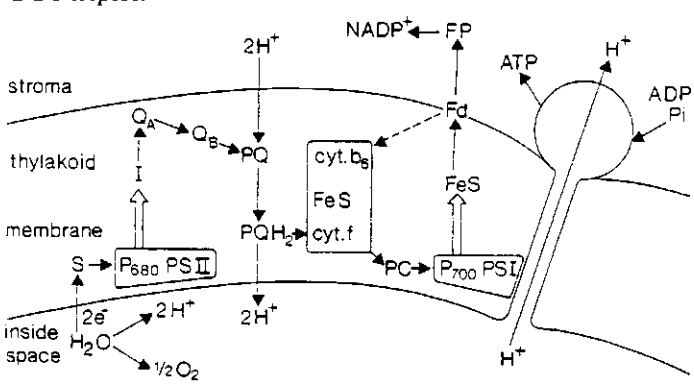
gereduceerd met behulp van ATP en NADPH. Er zijn geen herbiciden bekend, die aangrijpen in deze donkerreacties. De remming van de fotosynthese gebeurt specifiek in de lichtreacties. Aangezien deze reacties niet in mens en dier voorkomen, zijn deze herbiciden in het algemeen weinig giftig voor mens en dier: bijvoorbeeld, de acute orale $LD_{50}$ voor ratten van ureum- en triazineverbindingen ligt in de orde van grootte van 3000 mg per kg.

De herbiciden die aangrijpen in het fotosyntheseproces, kunnen in vijf groepen worden ingedeeld:
- elektronentransportremmers;
- elektronentransportremmende ontkoppelaars;
- elektronenacceptoren;
- ontkoppelaars;
- energieoverdrachtremmers.

De laatste twee groepen zijn van weinig belang. Alleen de eerste en derde groep zullen worden besproken; herbiciden uit de tweede groep remmen het elektronentransport, maar ontkoppelen bovendien dit elektronentransport van de fosforylering.

De remming van het elektronentransport vindt steeds plaats tussen de primaire elektronacceptor van fotosysteem II (PS II), $Q_A$ en plastochinon (PQ) (figuur 9.1). De meest bekende groepen zijn de ureumverbindingen en de triazinen. Hun gemeenschappelijke chemische basisstructuur is een $-C-N=$-groep. Verschillen in aktiviteit worden veroorzaakt door verschillen in de lipofilie vanwege de zijketens. Het zijn specifieke remstoffen van de fotosynthese die reeds bij zeer lage concentraties werkzaam zijn.

De bindingsplaats van deze herbiciden is het $Q_B$-eiwit. Dit is een 32 kD-eiwit, dat vele namen heeft in de literatuur (onder andere herbicidebindend eiwit) en dat het elektronentransport tussen $Q_A$ en PQ reguleert (Van Rensen & Snel, 1985). Als een herbicide aan dit eiwit is gebonden, wordt het elektronentransport onderbroken. De resistentie tegen triazinen berust op een sterk verlaagde affiniteit van het $Q_B$-eiwit voor dit type herbiciden (Arntzen et al., 1982). In resistente planten is in het $Q_B$-eiwit op plaats 264 serine vervangen door glycine. Dit berust op een verschil in het chloroplast-DNA, dat voor het $Q_B$-eiwit codeert: een AGT-triplet is veranderd in een GGT-triplet.




Figuur 9.1. Vereenvoudigd schema van de lichtreacties in de fotosynthese.

Doordat deze herbiciden het elektronentransport remmen, verhinderen ze de vorming van ATP en NADPH, waardoor de $CO_2$-reductie tot stilstand komt (Van Oorschot, 1976). Dit langzame uithongeringseffect kan echter de werking van deze herbiciden in het licht niet geheel verklaren (Dodge, 1983). Bij remming van de fotosynthese in het licht ontstaat 'singlet oxygen' dat evenals peroxiden de membranen aantast (Corbett et al., 1984).

De elektronenacceptoren die gelokaliseerd zijn na fotosysteem I (PS I), hebben een erg lage redoxpotentiaal; die van ferredoxine (Fd) is ongeveer −430 mV. In aanwezigheid van bipyridyliumverbindingen met een geschikte redoxpotentiaal, zoals diquat en paraquat, worden de elektronen preferent naar deze herbiciden getransporteerd. Hierdoor wordt de reductie van NADP+ verhinderd, waardoor uiteindelijk de $CO_2$-reductie tot stilstand komt en de planten afsterven. De opvallend snelle werking van deze herbiciden in groen planteweefsel komt voort uit hun reductie tot vrije radikalen. Deze reageren met zuurstof en er worden hydroxylradikalen en superoxide gevormd, waaruit $H_2O_2$ en andere toxische peroxiden ontstaan. Deze peroxiden verstoren de structuur en de functie van membranen in de chloroplast en in de cel, waardoor de planten snel afsterven (zie onder andere Fedtke, 1982; Corbett et al., 1984). Voor dit effect is zuurstof vereist, terwijl de snelheid wordt bevorderd door hoge lichtintensiteit en temperatuur (Van Rensen, 1975).

Een indirecte invloed op het fotosyntheseproces wordt ook uitgeoefend door een aantal herbiciden die op verschillende wijzen de synthese van caroteen remmen, zoals amitrol, haloxydine en pyridazinonen (Bartels, 1985). Dit leidt tot beschadiging van de chloroplasten in het licht omdat ze niet meer door caroteen worden beschermd tegen foto-oxidering.

### 9.5 Remming van de aminozuursynthese

Glyfosaat werkt in op de zogenaamde 'shikimate pathway'. Deze syntheseweg leidt tot de vorming van de drie aromatische aminozuren tyrosine, fenylalanine en tryptofaan. Doordat glyfosaat de synthese van deze drie aminozuren remt, wordt de opbouw van eiwitten, die een van deze drie aminozuren bevatten, verhinderd (Duke, 1985).

Een nieuwere groep herbiciden wordt gevormd door de sulfonylureumverbindingen zoals chloorsulfuron, bijzonder actieve stoffen met doseringen van 10–20 g per ha. Deze stoffen remmen het enzym acetolactaatsynthase, waardoor de biosynthese van de essentiële aminozuren isoleucine en valine wordt verhinderd (Ray, 1984). Ook imidazolinonen remmen waarschijnlijk dit enzym (Shaner & Reider, 1986).

### 9.6 Remming van de celdeling

Er zijn vrij veel herbiciden die de celdeling in de primaire meristemen van planten remmen, onder andere (thio)carbamaten, dinitroanilinen en amiden (Cartwright, 1976). De anatomische effecten van carbamaten zijn reeds lang geleden bestudeerd. Evenals colchicine blokkeren ze de celdeling in het stadium van de metafase: de spoeldraden

zijn blijkbaar niet in staat om de reeds verdubbelde chromosomen uiteen te trekken.

In later onderzoek is gebleken dat deze remstoffen de microtubuli verstoren (Draber & Fedtke, 1979). In bundels gerangschikt, vormen deze eiwitachtige structuren de spoeldraden, die een functie vervullen bij het transport van de chromosomen in de anafase. Deze microtubuli worden uit subeenheden in het cytoplasma opgebouwd vanuit de organisatiecentra (Bartels, 1985). De werking van de diverse remstoffen lijkt verschillend (Pfister & Urbach, 1983). Onder invloed van colchicine vallen de microtubuli in de subeenheden uiteen. Dinitroanilinen lijken de synthese van de subeenheden te verhinderen, terwijl carbamaten vermoedelijk de organisatiecentra van de microtubuli verstoren, omdat ze de parallelle rangschikking doen verdwijnen.

Wat het directe effect van de verschillende remstoffen op de werking van de microtubuli ook moge zijn, de uitwerking op de celdeling komt veelal op hetzelfde neer. Ondanks de geblokkeerde deling gaat de groei van de meristeemcellen door, zodat deze abnormaal groot worden. Daardoor worden ook de groeipunten in wortel en stengel duidelijk verdikt, zodat het normale verloop van de kieming en de ontwikkeling van de kiemplant volledig worden verstoord.

### 9.7 Invloed op groei

De werking van groeistoffen zoals MCPA is identiek aan die van de natuurlijke auxinen, welke een rol spelen in vele groeiprocessen in de plant, bijvoorbeeld celstrekking, apicale dominantie en veroudering. Het werkingsmechanisme en de fysiologie van de auxinen zijn nog niet erg goed bekend. Een overzicht is te vinden bij Cohen & Bandurski (1982).

Wat maakt nu een kunstmatige groeistof tot een herbicide? De natuurlijke auxinen worden relatief snel geïnactiveerd, onder andere door conjugatie met suikers, binding aan eiwitten en oxidatieve afbraak door IAA-oxidase. De kunstmatige auxinen zijn veel stabieler en kunnen niet snel enzymatisch worden afgebroken. Doordat ze veel persistenter zijn dan het natuurlijke auxine, zijn hun effecten veel groter en langduriger. Dit leidt tot abnormale groei en verstoring van de normale functies in de plant, zodat deze tenslotte afsterft.

### 9.8 Selectieve werking van herbiciden

De waarde van herbiciden voor de landbouw ligt in de selectieve werking op onkruiden, waarbij het gewas wordt gespaard. De redenen hiervoor lopen nogal uiteen, maar ze kunnen worden teruggebracht tot verschillen tussen onkruid en gewasplanten op de volgende niveaus (Van Oorschot, 1979):

- verschil in beschikbaarheid van herbiciden voor planten;
- verschil in ophoping op de plaats van werking;
- verschil in gevoeligheid op de plaats van werking.

Verschil in beschikbaarheid van een herbicide voor onkruid- en gewasplanten bij bladbehandeling kan in veel gevallen de selectieve werking geheel bepalen (Holly,

1976), zoals bij voldoende scheiding tussen onkruid en gewas in tijd (toepassing vóór de opkomst) of plaats (toepassing onder het gewas). Direct contact met het gewas kan beperkt worden met gerichte toedieningen, zoals met een onkruidbestrijker als het onkruid hoger is dan het gewas. Ook zonder ruimtelijke scheiding tussen gewas en onkruid kan een selectieve bevochtiging tot stand komen door verschillen in het opvangen en vasthouden van de spuitvloeistof (bijvoorbeeld tussen rechtopstaande bladeren van granen en de meer horizontale van dicotyle onkruiden).

Verschil in beschikbaarheid van bodemherbiciden voor wortels of andere ondergrondse organen van gewas- of onkruidplanten is vaak een belangrijke mogelijkheid voor selectief gebruik van deze herbiciden, vooral als deze door adsorptie aan bodembestanddelen in de bovenlaag worden vastgehouden. Deze 'dieptebescherming' geeft voldoende zekerheid bij diepwortelende gewassen met ondiep kiemende onkruiden, maar kan bij minder grote verschillen ook bijdragen tot de selectiviteit als de fysiologische tolerantie niet toereikend is.

Verschillen in ophoping van herbiciden op de plaats van werking kunnen ontstaan door verschil in opname, door verschil in transport naar de plaats van werking en door verschil in inactivering bij de verschillende plantesoorten. Bij opname door het blad kan de absorptie in sommige plantesoorten nogal uiteenlopen, vooral door verschillen in structuur en samenstelling van de cuticula (Hess, 1985). Uitwendige omstandigheden kunnen in deze opname ook verandering brengen. Bij opname door zaden uit de grond zal de concentratie van het herbicide in kleine zaden hoger worden, omdat zij minder volume hebben voor hetzelfde absorberend oppervlak. Verschil in verdamping in de bladeren kan de opname uit de grond van water en daarmee van herbiciden beïnvloeden, zodat dan C4-planten minder gevoelig voor fotosynthese-remmers zijn dan C3-planten (Van Oorschot, 1979). Na opname door de wortels kan ook het transport in verschillende plantesoorten uiteenlopen; vooral bij ureumverbindingen zijn verschillende gehalten in de bladeren gevonden (Van Oorschot, 1979). Het transport van herbiciden in het floëem na opname door het blad kan eveneens verschillend zijn, maar hierbij kan ook metabolisering een rol spelen (Hess, 1985).

Een belangrijk aspect van de selectieve werking van herbiciden is de inactivering in tolerante plantesoorten, waarover geleidelijk al heel wat bijzonderheden zijn bekend geworden (Hatzios & Penner, 1982; Shimabukuro, 1985). Daardoor wordt de concentratie van het herbicide op de plaats van werking voldoende laag gehouden om beïnvloeding van het specifieke proces te voorkomen. De belangrijkste, vaak enzymatische reacties hierbij zijn:

- oxidatie, zoals bij 2,4-D, bentazon, monuron en metamitron;
- reductie, zoals bij fluorodifen en dinitroanilinen;
- hydrolyse, zoals bij propanil en cyanazin;
- conjugatie, zoals bij atrazin, bentazon en EPTC.

Conjugatie met endogene stoffen in hogere planten, al of niet in combinatie met andere reacties, lijkt het belangrijkste mechanisme van inactivering bij verschillende herbiciden, vooral conjugatie met glutathion (Shimabukuro, 1985). Het lijkt waarschijnlijk dat de werking van enkele beschermstoffen tegen atrazin (Hilton & Pillai,

1986) en EPTC (Shimabukuro, 1985) samenhangt met deze conjugatie, terwijl over de werking van diverse andere beschermstoffen nog onzekerheid bestaat (Hatzios, 1983). Een en ander opent verdere perspectieven voor de selectieve toepassing van breedwerkende herbiciden.

De mate van inactivering van fotosyntheseremstoffen die door de wortels worden opgenomen, kan ook worden gekarakteriseerd door het herstel van de fotosyntheseremming na een korte wortelbehandeling in voedingsoplossing met dergelijke herbiciden. Daarmee kan ook de veiligheid voor het gewas worden vastgesteld (Van Oorschot, 1976).

Verschil in gevoeligheid op de plaats van werking was tot voor kort niet bekend. Zo bleken geïsoleerde chloroplasten van planten die tolerant waren voor bepaalde fotosyntheseremmers, even gevoelig als die van gevoelige plantesoorten. Pas in de laatste jaren is op het niveau van de chloroplast verschil in gevoeligheid naar voren gekomen, toen bij diverse onkruiden biotypen met resistentie tegen triazinen werden gevonden (zie paragraaf 9.9).

### 9.9 Resistentie tegen herbiciden

Onkruiden met resistentie tegen herbiciden zijn pas in de zeventiger jaren naar voren gekomen, hoewel toen al geruime tijd soortgelijke problemen met andere pesticiden waren opgetreden. Als eerste melding in de VS geldt de resistentie van klein kruiskruid (*Senecio vulgaris*) in de boomkwekerij tegen simazin, later vooral in de continuteelt van maïs, gevolgd door resistentie van diverse onkruiden tegen atrazin, onder andere amarant (*Amaranthus*), melganzevoet (*Chenopodium album*) en zwarte nachtschade (*Solanum nigrum*) (Bandeen et al., 1982; Gressel et al., 1982). Ook in meerjarige gewassen trad resistentie tegen triazinen op. Nu zijn er van meer dan 30 onkruidsoorten resistente biotypen bekend (in de Benelux 10).

Deze resistentie berust niet op inactivering van het herbicide door enzymen, zoals die vaak voorkomt bij tolerante gewassen, en evenmin op andere mechanismen waardoor het herbicide in veel mindere mate op de plaats van werking terecht komt, zoals minder opname of transport in de plant. De ongevoeligheid komt door de sterke verlaging van de binding aan het $Q_B$-eiwit in de chloroplasten (zie 9.4). Het gaat hierbij om een geheel andere orde van grootte dan bij tolerante gewassen, met factoren van meer dan 100 in plaats van hoogstens 5 bij de meest uitgesproken tolerantie (Gressel, 1985).

De resistentie van onkruiden tegen herbiciden is vermoedelijk pas zo laat ingezet omdat aanvankelijk voldoende vruchtwisseling en een daarmee samenhangende afwisseling in herbiciden werd toegepast. Met de continuteelt van maïs en een constante eenzijdige selectiedruk door het persistente atrazin kregen volgens modelbenaderingen resistente biotypen de kans om geleidelijk de gehele populatie te overheersen, ondanks hun vaak lager concurrentievermogen (Gressel & Segel, 1982). Voor meerjarige gewassen gelden dezelfde overwegingen.

Dit lager concurrentievermogen van resistente vormen ten opzichte van hun gevoeli-

ge soortgenoten (Radosevich & Holt, 1982) zou kunnen verklaren, waarom het aandeel van resistente biotypen in de natuurlijke populatie aanvankelijk zo klein bleef dat deze niet opgemerkt werden, maar pas na een aantal jaren selectiedruk op gevoelige biotypen naar voren kwamen. De lagere concurrentiekracht van de resistente vormen bleek in een aantal gevallen samen te gaan met een lagere fotosynthesesnelheid, maar bij andere was dit niet zo duidelijk.

Bij insekticiden en fungiciden komt kruisresistentie voor. Behalve tegen triazinen is ook tegen andere herbiciden die het fotosysteem II remmen kruisresistentie geconstateerd bij geïsoleerde chloroplasten, al loopt die nogal uiteen voor verschillende plantesoorten. In het algemeen is de resistentiefactor voor alle triazinen erg hoog, voor uracilverbindingen vrij hoog en voor ureumverbindingen vrijwel afwezig (echter niet voor alle). Voor DNOC, bentazon, ioxynil en dergelijke zijn chloroplasten van resistente biotypen daarentegen gevoeliger (Arntzen et al., 1982). Ook bij intacte planten is kruisresistentie gevonden, hoewel de resistentiefactoren aanzienlijk kleiner lijken dan bij chloroplasten.

De omvang van het resistentieprobleem is in de meeste landen niet duidelijk, met uitzondering van Frankrijk (Gasquez et al., 1982). Daar was indertijd 25 % van het maïsareaal met de drie belangrijkste resistente biotypen (amarant, melganzevoet, zwarte nachtschade) besmet, maar volgens nieuwere gegevens is dat nu sterk toegenomen. Ook voor de Benelux is niet bekend, hoe sterk de resistentie is verspreid. De 'chloroplastresistentie' (Gasquez, 1981) kan gemakkelijk worden aangetoond door na een korte donkerperiode even de fluorescentie van behandelde bladeren te meten. Volgens de tot nu toe bekende gegevens gaat deze resistentie uitsluitend met het cytoplasma van de moederplant over.

Er zijn enkele gevallen bekend van resistentie tegen paraquat, die mogelijk samenhangen met de activiteit van het enzym superoxide-dismutase, waardoor het schadelijke superoxide dat door paraquat ontstaat, wordt afgebroken. *Eleusine indica* vertoont resistentie tegen dinitroanilinen; dit zou kunnen samenhangen met veranderingen in de microtubuli (Vaughn, 1986). Tenslotte dient te worden vermeld dat ook in gewassen resistente mutanten worden ontwikkeld, bijvoorbeeld tegen glyfosaat, chloorsulfuron en triazinen.

## Literatuur

Arntzen, C.J., K. Pfister & K.E. Steinback, 1982. The mechanism of chloroplast triazine resistance: alterations in the site of herbicide action. In: LeBaron, H.M. & J. Gressel (Eds): Herbicide resistance in plants. Wiley-Interscience, New York: 185–214.

Bandeen, J.D., G.R. Stephenson & E.R. Cowett, 1982. Discovery and distribution of herbicide-resistant weeds in North America. In: LeBaron, H.M. & J. Gressel (Eds): Herbicide resistance in plants. Wiley-Interscience, New York: 9–30.

Bartels, P.G., 1985. Effects of herbicides on chloroplast and cellular development. In: Duke, S.O. (Ed.): Weed physiology, Vol. 2, Herbicide physiology, CRC Press, Boca Raton, Florida: 63–90.

Cartwright, P.M., 1976. General growth responses of plants. In: Audus, L.J. (Ed.): Herbicides: Physiology, biochemistry, ecology, Vol. 1. Academic Press, Londen: 55–82.

Chamel, A., 1986. Foliar absortion of herbicides: study of the culticular penetration using isolated cuticles. Physiologie Végétale 24: 491 – 508.

Cohen, J.D. & R.S. Bandurski, 1982. Chemistry and physiology of the bound auxins. Annual Review of Plant Physiology 33: 403 – 430.

Corbett, J.R., K. Wright, & A.C. Baillie, 1984. The biochemical mode of action of pesticides, Second edition. Academic Press, Londen.

Dodge, A.D., 1983. The influence of light on the action of herbicides. Aspects of Applied Biology 4: 217 – 226.

Draber, W. & C. Fedtke, 1979. Herbicide interactions with plant biochemical systems. In: Geissbühler, H. (Ed.): Advances pesticide science, Part 3. Pergamon Press, Oxford: 475 – 486.

Duke, S.O., 1985. Effects of herbicides on nonphotosynthetic biosynthetic processes. In: Duke, S.O. (Ed.): Weed Physiology, Vol. 2, Herbicide Physiology. CRC Press, Boca Raton, Florida: 91 – 112.

Fedtke, C., 1982. Biochemistry and physiology of herbicide action. Springer Verlag, Berlijn.

Gasquez, J., 1981. Evolution de la résistance aux triazines chez les espèces annuelles: la résistance chloroplastique. Compte Rendu 11-ème Conférence COLUMA, Versailles: 981 – 1008.

Gasquez, J., G. Barralis, & N. Aigle, 1982. Distribution et extension de la résistance chloropastique aux triazines chez les adventices annuelles en France. Agronomie 2: 119 – 124.

Gressel, J., 1985. Herbicide tolerance and resistance: Alteration of site of activity. In: Duke, S.O. (Ed.): Weed physiology, Vol. 2, Herbicide physiology. CRC Press, Boca Raton, Florida: 159 – 189.

Gressel, J., H.U. Ammon, H. Fogelfors, J. Gasquez, Q.O.N. Kay & H. Kees, 1982. Discovery and distribution of herbicide- resistant weeds outside North America. In: LeBaron, H.M. & J. Gressel (Eds): Herbicide resistance in plants. Wiley- Interscience, New York: 31 – 55.

Gressel, J. & L.A. Segel, 1982. Interrelating factors controlling the rate of appearance of resistance: The outlook for the future. In: LeBaron, H.M. & J. Gressel (Eds): Herbicide resistance in plants. Wiley-Interscience, New York: 325 – 347.

Hatzios, K.K., 1983. Herbicide antidotes: development, chemistry, and mode of action. Advances in Agronomy 36: 265 – 316.

Hatzios, K.K. & D. Penner, 1982. Metabolism of herbicides in higher plants. Burgess Publishing Company, Minneapolis.

Hess, F.D., 1985. Herbicide absorption and translocation and their relationship to plant tolerances and susceptibility. In: Duke, S.O. (Ed.): Weed physiology, Vol. 2, Herbicide physiology. CRC Press, Boca Raton, Florida: 191 – 214.

Hilton, J.L. & P. Pillai, 1986. L-2-Oxothiazolidine-4-carboxylic acid protection against tridiphane toxicity. Weed Science 34: 669 – 675.

Holly. K., 1976. Selectivity in relation to formulation and application methods. In: Audus, L.J. (Ed.): Herbicides: Physiology, biochemistry, ecology, Vol. 2. Academic Press, Londen: 249 – 277.

Oorschot, J.L.P. van, 1976. Effects in relation to water and carbon dioxide exchange of plants. In: Audus, L.J. (Ed.): Herbicides: Physiology, biochemistry, ecology, Vol. 1. Academic Press, Londen: 305 – 333.

Oorschot, J.L.P. van, 1979. Types of selective action by herbicides which inhibit photosynthesis. Zeitschrift für Naturförschung 34c: 900 – 904.

Oorschot, J.L.P. van, 1983. The influence of transpiration conditions on root absorption and translocation of herbicides. Aspects of Applied Biology 4: 207 – 216.

Pfister, K. & W. Urbach, 1983. Effects of biocides and growth regulators: Physiological basis. In: Encyclopedia of plant physiology, New series, Vol. 12D, Physiological plant ecology 4. Springer Verlag, Berlijn: 329 – 391.

Price, C.E., 1983. The effect of environment on foliage uptake and translocation of herbicides. Aspects of Applied Biology 4: 157 – 169.

Radovevich, S.R. & J.S. Holt, 1982. Physiological responses and fitness of susceptible and resistant weed biotypes to triazine herbicides. In: LeBaron, H.M. & J. Gressel (Eds): Herbicide resistance in plants. Wiley-Interscience, New York: 163 – 183.

Ray, T.B.,1984. Site of action of chlorsulfuron. Inhibition of valine and isoleucine biosynthesis in plants.

Plant Physiology 75: 827–831.

Rensen, J.J.S. van, 1975. Lipid peroxidation and chlorophyll destruction caused by diquat during photosynthesis in Scenedesmus. Physiologia Plantarum 33: 42–46.

Rensen, J.J.S. van, W. van der Vet, & W.P.A. van Vliet, 1977. Inhibition and uncoupling of electron transport in isolated chloroplasts by the herbicide 4,6-dinitro-o-cresol. Photochemistry and Photobiology 25: 579–583.

Rensen, J.J.S. van & J.F.H. Snel, 1985. Regulation of photosynthetic electron transport by bicarbonate, formate and herbicides in isolated broken and intact chloroplasts. Photosynthesis Research 6: 231–246.

Roberts, H.A.,1982. Weed control Handbook: Principles, Seventh edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Shaner, D.L. & M.L. Reider, 1986. Physiological responses of corn (*Zea mays*) to AC 243,997 in combination with valine, leucine and isoleucine. Pesticide Biochemistry and Physiology 25: 248–257.

Shimabukuro, R.H., 1985. Detoxication of herbicides. In: Duke, S.O. (Ed.): Weed physiology, Vol. 2, Herbicide physiology. CRC Press, Boca Raton, Florida: 215–240.

Vaughn, K.V., 1986. Cytological studies of dinitroaniline resistant Eleusine. Pesticide Biochemistry and Physiology 26: 66–74.

# 10 Gedrag van herbiciden in de bodem

J.J.T.I. Boesten en R. Zandvoort

Het gedrag van herbiciden in de bodem wordt bepaald door een reeks van processen die gelijktijdig plaatsvinden: onder andere oplossen in regenwater, verdeling over de drie fasen in de bodem (gas-vloeibaar-vast), omzetting en opname door planten. Deze processen worden behandeld en de mate waarin ze van belang zijn voor het gedrag wordt, ter illustratie, voor enkele bekende herbiciden (zoals atrazin en paraquat) aangegeven.

## 10.1 Inleiding

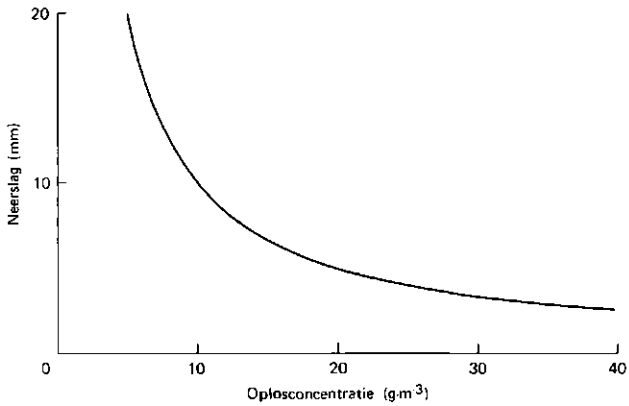
Het gedrag van herbiciden in de bodem is om tal van redenen belangrijk. Bij herbiciden die werken via opname door ondergrondse plantedelen (bodemherbiciden), is het van belang voor de werking op onkruiden. Daarnaast is het voor alle herbiciden van grote betekenis bij het schatten van risico's op schade aan (volg)gewassen en op verontreiniging van het grondwater.

Het gedrag van herbiciden in de bodem wordt bepaald door een reeks van processen (onder andere omzetting, transport, adsorptie, opname door planten).

## 10.2 Processen op het bodemoppervlak

Op het grensvlak tussen bodem en atmosfeer kunnen vier processen optreden: oppervlakkige afstroming, vervluchtiging, fotochemische omzetting en oplossen in water. Oppervlakkige afstroming (runoff) is alleen van belang in hellende gebieden. Vervluchtiging en fotochemische omzetting zijn meestal van ondergeschikt belang voor bodemherbiciden (anders heeft de fabrikant een niet deugdelijke formulering gebruikt). We laten deze processen hier verder buiten beschouwing.

Het oplossen van een herbicide is essentieel voor de werking. De tijd die nodig is om een bepaalde dosering te laten oplossen, is afhankelijk van de neerslaghoeveelheid en van de concentratie waarin de stof oplost in het regenwater dat de bodem binnendringt (deze concentratie noemen we verder oplosconcentratie). Bij een goede formulering kunnen we verwachten dat de oplosconcentratie en de wateroplosbaarheid van het herbicide dicht bij elkaar liggen. De meeste herbiciden hebben wateroplosbaarheden boven de 10 g per $m^3$; simazin en lenacil zijn uitschieters naar beneden met ongeveer 5 g per $m^3$ (Martin & Worthing, 1977). Uit figuur 10.1 kunnen we afleiden dat een vrij kleine regenbui (10 mm of minder) meestal al voldoende is om een dosering van 1 kg per ha op te lossen.




Figuur 10.1. De hoeveelheid neerslag benodigd voor het oplossen van een herbicide-dosering van 1 kg/ha als functie van de oplosconcentratie.

## 10.3 Transport in de bodem

In de bodem treffen we drie fasen aan: gas, vloeistof en vaste bodembestanddelen. We nemen aan dat de vaste bestanddelen niet beweeglijk zijn. Transport vindt dan alleen plaats in de gasfase en in het bodemvocht. Transport in de gasfase treedt alleen op door diffusie (aannemend dat de bodemlucht niet stroomt); we moeten hierbij denken aan gemiddelde transportsnelheden van herbicidemoleculen in de orde van grootte van 10 cm per dag. Transport in het bodemvocht vindt plaats door diffusie of door stroming van het bodemvocht (bijvoorbeeld als gevolg van regenval). Transport door diffusie verloopt in het bodemvocht nogal traag (gemiddelde snelheden van moleculen in de orde van grootte van 1 mm per dag). Zodoende is in de vloeibare fase stroming van het bodemvocht vrijwel steeds het belangrijkste transportmechanisme voor herbiciden.

In welke mate transport in de gasfase van belang is, kunnen we afleiden de grootheid $K_{w/l}$ die gedefinieerd is als de herbicideconcentratie in water gedeeld door die in lucht. $K_{w/l}$ varieert sterk per herbicide (atrazin: $10^7$; bentazon: $>10^{11}$; EPTC: $10^3$; paraquat: $>10^{10}$; methylbromide: $10^1$). Uit berekeningen met simulatiemodellen blijkt dat bij waarden van $K_{w/l}$ boven $10^5$ het transport in de bodemlucht verwaarloosbaar is ten opzichte van dat in het bodemvocht (Leistra, 1979). De $K_{w/l}$-waarden van de meeste herbiciden liggen inderdaad boven $10^5$. Voor het gemak gaan we er in de nu volgende beschouwing vanuit dat we te maken hebben met stoffen waarvan het transport in de bodemlucht verwaarloosbaar is. Het herbicide verdeelt zich in de bodem dan uitsluitend over de vloeibare fase (het bodemvocht) en de vaste fase (de vaste bodemdeeltjes). Op een bepaald punt in de bodem geldt dan:

$$c^* = v\,c + r\,X \qquad (I)$$

waarin $c*$ = totale herbicideconcentratie in de bodem (kg per $m^3$), v = volumefractie bodemvocht ($m^3$ per $m^3$), c = herbicideconcentratie in het bodemvocht (kg per $m^3$), r = droge bulkdichtheid (kg per $m^3$) van de bodem (dit is de massa droge grond gedeeld door het bodemvolume), X = herbicidegehalte (kg per kg) geadsorbeerd aan de vaste bodembestanddelen (dit is de massa geadsorbeerd herbicide gedeeld door de massa droge grond).

Het verband tussen het gehalte geadsorbeerd herbicide, X, en de concentratie in het bodemvocht, c, noemen we een adsorptie isotherm. De adsorptie van een stof wordt gewoonlijk gemeten door een volume van enkele $cm^3$ van een waterige herbicide-oplossing aan een massa van enkele grammen grond toe te voegen, het geheel ongeveer 16 uur te schudden en de concentratiedaling in het water te meten. Uit deze daling kan dan de adsorptie worden berekend. De aldus gemeten adsorptie is een omkeerbaar proces: dat wil zeggen dat er weer volledige desorptie optreedt als de concentratie in het bodemvocht voortdurend blijft dalen (door bijvoorbeeld omzetting of uitspoeling).

Uit metingen blijkt dat we (als een eerste benadering) mogen aannemen dat het verband tussen X en c lineair is:

$$X = S\,c \qquad \text{(II)}$$

waarin S = adsorptiecoëfficiënt (in $m^3$ per kg). Voor vele herbiciden is een goede correlatie aangetoond tussen de adsorptiecoëfficiënt S en het organische-stofgehalte van de grond (Calvet, 1980).

Met behulp van vergelijking (II) kan vergelijking (I) worden geschreven als:

$$c* = c\,(v + r\,S) \qquad \text{(III)}$$

De mate van adsorptie van een herbicide wordt bepaald door het produkt r.S; dit noemen we in het vervolg de adsorptiecapaciteit, A; evenals de volumefractie vloeistof v, is A dimensieloos. De waarde van A kan sterk variëren per herbicide en in mindere mate per grondsoort. Tabel 10.1 geeft A-waarden van enkele bekende herbiciden voor een normale landbouwgrond (Walker, 1972; Abernathy & Wax, 1973; Hance, 1976; Riley et al., 1976; Allen & Walker, 1987).

Met behulp van (III) kunnen we een uitdrukking afleiden voor de geadsorbeerde fractie van de totale concentratie in de bodem:

$$\frac{A\,c}{c*} = \frac{A\,c}{(v + A)\,c} = \frac{A}{v + A} \qquad \text{(IV)}$$

Evenzo vinden we dat de fractie in het bodemvocht gelijk is aan $v/(v + A)$. Tabel 10.1 geeft ter illustratie voor enkele herbiciden de verdeling over de vaste fase en het bodemvocht. Uit tabel 10.1 kunnen we ook meteen de vertragingsfactor aflezen die bij trans-

Tabel 10.1. Verdeling van enkele herbiciden over de vaste bodembestanddelen en het bodemvocht voor een normale landbouwgrond. Er is gerekend met een volumefractie vocht (v) van 0,25 en met waarden van de adsorptiecapaciteit A zoals aangegeven.

| *Herbicide* | *A* $(m^3 \cdot m^{-3})$ | *Fractie geadsorbeerd:* $A/(v + A)$ | *Fractie in bodemvocht:* $v/(v + A)$ |
|---|---|---|---|
| Bentazon | 0 | 0 | 1 |
| Metribuzin | 0,5 | 0,67 | 0,33 |
| Atrazin | 2 | 0,89 | 0,11 |
| Glyfosaat | 50 | 0,995 | 0,005 |
| Paraquat | 20 000 | 0,99999 | 0,00001 |

port in de bodem optreedt als gevolg van adsorptie: deze is namelijk ook gelijk aan $v/(v + A)$. Voor bentazon (dat niet wordt geadsorbeerd) treedt geen vertraging op: $v/(v + A)$ is dan gelijk aan 1. Voor bijvoorbeeld paraquat geldt dat slechts een fractie van $10^{-5}$ van het totaal in het bodemvocht aanwezig is en paraquat zal zodoende $10^5$ maal zo traag bewegen door de bodem als een niet-adsorberende stof.

Voor de beeldvorming een rekenvoorbeeld: het jaarlijks neerslagoverschot in Nederland bedraagt ongeveer 30 cm. Een niet-adsorberende stof (zoals bentazon of TCA) zal zich jaarlijks gemiddeld over een afstand van 120 cm door de bodem verplaatsen (uitgaande van $v = 0{,}25$); een stof als paraquat zal zich dan gemiddeld over slechts 0,01 mm verplaatst hebben ($10^{-5} \times 120$ cm).

In de 'onkruidbestrijdingswereld' bestaat het hardnekkige misverstand dat de wateroplosbaarheid van een stof bepalend is voor de transportsnelheid in de bodem. Deze speelt echter geen rol bij het transport in de bodem en is alleen van belang voor de snelheid waarmee een stof oplost aan het bodemoppervlak. Dit kan worden geïllustreerd aan de hand van paraquat: dit herbicide lost zeer goed op in water, maar is als gevolg van zijn hoge adsorptie, zeer onbeweeglijk in de bodem. Het is voor de meeste stoffen wel zo dat de oplosbaarheid en de adsorptiecapaciteit ruwweg gecorreleerd zijn, maar er is geen sprake van een causaal verband tussen oplosbaarheid en transportsnelheid.

Uit eigen onderzoek van een van de auteurs (Boesten, 1986) is gebleken dat we bij het adsorptieproces van herbiciden in de bodem, drie verschillende klassen adsorptieplekken kunnen onderscheiden: plekken van de eerste klasse komen tot evenwicht op een tijdschaal van minuten, die van de tweede klasse op een tijdschaal van dagen en die van de derde klasse op een tijdschaal van maanden. Ruwweg de helft van de adsorptieplekken in de bodem is van de eerste klasse en ruwweg een kwart is van de tweede klasse en het laatste kwart is van de derde klasse. Dit leidt tot een model dat iets ingewikkelder is dan (I), (II), (III) en (IV).

## 10.4 Omzetting in de bodem

Voor het overgrote deel van de herbicidemoleculen die na een toepassing in de bodem terechtkomen, geldt dat zij in de wortelzone worden omgezet. De omzettingssnelheid is afhankelijk van het herbicide en (in mindere mate) van de grondsoort.

Omzetting vindt zowel chemisch als microbieel plaats. Normaliter zijn omzettingsprodukten minder fytotoxisch dan de moederstof. De afname van de concentratie als gevolg van omzetting kan (bij constante bodemtemperatuur en constant vochtgehalte) veelal goed worden beschreven met een zogenaamde eerste-orde snelheidsvergelijking (Hurle & Walker, 1980):

$$\frac{dc*}{dt} = -k\,c* \qquad (V)$$

waarin t = tijd (d) en k = snelheidscoëfficiënt ($d^{-1}$). Voor een bepaalde grond geldt dat k een functie is van de bodemtemperatuur en het vochtgehalte. Uit metingen aan vele tientallen herbicide-grondcombinaties is gebleken dat k bijna altijd voortdurend toeneemt met toenemende temperatuur (traject 5 – 35 °C) en met toenemend vochtgehalte.

De halfwaardetijd van een stof noemen we de tijd nodig voor 50 % omzetting van de stof. Voor bodemherbiciden zijn halfwaardetijden tussen ruwweg 1 week en 1 maand normaal (veel kortere tijden leveren onvoldoende werking op, langere een kans op schade in volggewassen). Atrazin is een voorbeeld van een bodemherbicide met een langere halfwaardetijd (1 – 2 maanden); deze stof levert in de praktijk dan ook risico's op voor volggewassen. Paraquat is een voorbeeld van een herbicide met een zeer lange halfwaardetijd (ongeveer 20 jaar): dit hangt vermoedelijk samen met de sterke adsorptie van de stof aan de vaste bodembestanddelen waardoor slechts een zeer klein deel van de stof beschikbaar is voor omzetting.

Omzetting wordt gemeten (in het laboratorium) via de afname van het herbicidegehalte dat met een bepaald oplosmiddel (bijvoorbeeld methanol of aceton) geëxtraheerd kan worden. Omzetting houdt dan in dat het moedermolecuul verandert ten gevolge van bijvoorbeeld hydrolyse of dat de stof zo sterk gebonden wordt aan de vaste bestanddelen dat hij er via de extractie niet van losgemaakt wordt. Dit laatste noemen we een gebonden residu. De vorming van gebonden residuen is voor vele herbiciden een belangrijk proces: voor bijvoorbeeld triazinen is het een normale zaak dat tientallen percenten van de moederstof gebonden residu worden (IUPAC Commission on Pesticide Chemistry, 1984).

## 10.5 Opname door planten

Het mechanisme en de wetmatigheden die het opnameproces van herbiciden uit de bodem bepalen, zijn uiteraard afhankelijk van het type herbicide (Van Oorschot,

1983). Hier beperken we ons tot fotosyntheseremmende herbiciden (zoals triazines). Daarvoor geldt dat de opname voornamelijk door het wortelstelsel plaatsvindt. De opname van deze stoffen is passief en het transport naar de bovengrondse delen kan worden beschreven met de volgende wetmatigheid (Hartley & Graham-Bryce, 1980; Briggs et al., 1982):

$$O = F\ V\ c \qquad \text{(VI)}$$

waarin O = massa herbicide (kg) die naar de bovengrondse delen getransporteerd is, F = de zogenaamde transpiratiestroom-concentratiefactor, V = opgenomen volume bodemvocht ($m^3$).

Vergelijking (VI) geeft aan, dat de opname recht evenredig is met het opgenomen volume bodemvocht (en dus de transpiratie) en met de herbicideconcentratie in dat vocht. F kan beschouwd worden als een soort 'zeeffactor': F geeft aan welke fractie van de moleculen, die aan het worteloppervlak worden 'aangeboden', door de plant wordt opgenomen. Waarden van F voor fotosyntheseremmers liggen meestal tussen 0,5 en 1,0.

## 10.6 Effecten op planten via de bodem

Bij de werking van een onkruidbestrijdingsmiddel via de bodem op planten spelen de volgende factoren een rol: 1. het concentratiepatroon van het herbicide in de bodem; 2. het verdelingspatroon van de ondergrondse delen van planten; 3. de mate van opname van het herbicide door de verschillende ondergrondse delen van planten.

Deze factoren worden achtereenvolgens behandeld en geïllustreerd met voorbeelden.

Nadat het herbicide op de bodem is terechtgekomen, wordt het door regen of irrigatiewater (in het algemeen in opgeloste vorm) naar diepere bodemlagen meegenomen. Deze verplaatsing wordt bepaald door de hiervoor beschreven processen. In het algemeen zal kort na de bespuiting de concentratie in de bovenste laag het hoogst zijn en naar beneden snel afnemen.

De invloed van het concentratiepatroon op de ontwikkeling van planten kan worden geïllustreerd aan de hand van eigen onderzoek (R. Zandvoort): in een kasexperiment met bladramenas (*Raphanus sativus* ssp. *oleifera*) werd cyanazin voor opkomst op het bodemoppervlak gespoten en direct daarna kunstmatig ingeregend. Verhogen van de toegediende neerslag van 0 naar 5 mm bleek de verse bovengrondse massa na 20 dagen te verlagen van 71 % naar 21 % van de onbespoten controle.

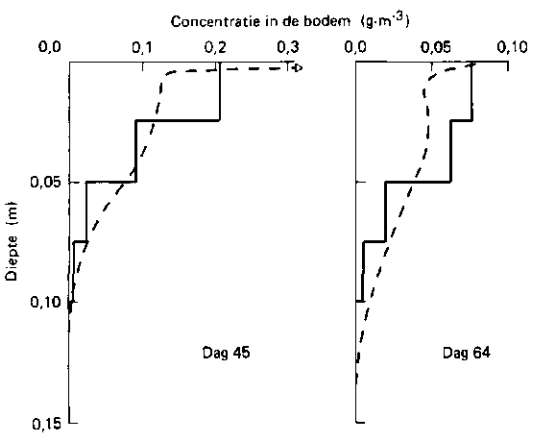
De verdeling van de ondergrondse delen over het bodemprofiel is per plantesoort verschillend. Vogelmuur (*Stellaria media*) bijvoorbeeld heeft een sterk vertakt en weinig diepgaand wortelstelsel. Lucerne (*Medicago sativa*) daarentegen heeft een diepgaande hoofdwortel met zijwortels over de gehele lengte, maar vooral in de diepere grondlagen. Bij tarwe (*Triticum aestivum*) wordt een diepgaande hoofdwortel gevormd en aanvankelijk zijwaartsgroeiende kiembijwortels, maar later tevens zij-

waartsgroeiende kroonwortels (Goedewaagen, 1942; Kutschera, 1960). Het niveau waarop deze wortelpatronen in het profiel voorkomen, wordt beïnvloed door de zaaidiepte en de structuur van de bodem. In het algemeen worden herbiciden zowel door de ondergrondse stengeldelen als door de wortels opgenomen. Voor het verkrijgen van eenzelfde effect is in het algemeen een hogere concentratie rond de ondergrondse stengeldelen nodig dan rond de wortels (Walker, 1973), hoewel ook het omgekeerde voorkomt (bijvoorbeeld bij ethofumesaat en haver, *Avena sativa*; Ostojić & Reisler, 1973). Het belang van de verschillende ondergrondse delen voor de opname kan per plantesoort sterk variëren. Dit kan geïllustreerd worden door proeven met EPTC: erwten (*Pisum sativum*) en maïs (*Zea mays*) reageerden sterker bij toediening aan de ondergrondse stengeldelen dan aan de wortels; kafferkoren (*Sorghum bicolor*) en haver reageerden even sterk op toediening aan ondergrondse stengeldelen en wortels en bij tarwe en gerst (*Hordeum vulgare*) werd de sterkste reactie verkregen bij toediening aan wortels (Eshel & Prendeville, 1967; Oliver et al., 1968).

Zowel droge als voorgeweekte zaden van raap (*Brassica rapa* ssp. *rapa*) kunnen in enkele uren een fytotoxische hoeveelheid atrazin opnemen (Hocombe, 1968). Dit bleek ook uit eigen onderzoek (R. Zandvoort) met cyanazin en zaden van bladramenas.

## 10.7 Simulatiemodellen

In het voorgaande zijn de belangrijkste processen die het gedrag van herbiciden in de bodem bepalen, afzonderlijk besproken. In werkelijkheid (in het veld) vinden al deze processen uiteraard tegelijkertijd plaats. Er zijn de afgelopen 10–20 jaar wiskundige modellen ontwikkeld waarin alle belangrijke processen zijn opgenomen. In deze modellen wordt met alle processen tegelijkertijd rekening gehouden en ze zijn zodoende nuttig om een 'totaalbeeld' van het gedrag van een herbicide in het veld te verkrij-




Figuur 10.2. Voorbeeld van een resultaat van een veldtoets van een simulatiemodel. ____ = gemeten concentratieprofielen van het herbicide cyanazin 45 en 64 dagen na toepassing op een zandgrond; – – – = gesimuleerde profielen (Boesten, 1986).

gen. Ter illustratie wordt in figuur 10.2 een voorbeeld van een veldtoets van zo'n model gegeven.

## Literatuur


Abernathy, J.R. & L.M. Wax, 1973. Bentazon mobility and adsorption in twelve Illinois soils. Weeds Science 21: 224–227.

Allen, R. & A. Walker, 1987. The influence of soil properties on the rates of degradation of metamitron, metazachlor and metribuzin. Pesticide Science 18: 95–111.

Boesten, J.J.T.I., 1986. Behaviour of herbicides in soil: simulation and experimental assessment. Dissertatie Landbouwuniversiteit Wageningen, IOB.

Briggs, G.G., R.H. Bromilow & A.A. Evans, 1982. Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation of non- ionised chemicals by barley. Pesticide Science 13: 495–504.

Calvet, R., 1980. Adsorption-desorption phenomena. In: Hance, R.J. (Ed.): Interactions between herbicides and the soil. Academic Press, Londen: 1–30.

Eshel, Y. & G.N. Prendeville, 1967. A technique for studying root vs. shoot uptake of soil applied herbicides. Weed Research 7: 242–245.

Goedewaagen, M.A.J., 1942. Het wortelstelsel der landbouwgewassen. Departement van Landbouw en Visserij, 's-Gravenhage.

Hance, R.J., 1976. Adsorption of glyphosate by soils. Pesticide Science 7: 363–366.

Hartley, G.S. & I.J. Graham-Bryce, 1980. Physical principles of pesticides behaviour, Volume I. Academic Press, Londen.

Hocombe, S.D., 1968. The uptake of atrazine by germinating seeds of turnip (*Brassica rapa* L.). Weed Research 8: 68–71.

Hurle, K. & A. Walker, 1980. Persistence and its prediction. In: Hance, R.J. (Ed.): Interactions between herbicides and the soil. Academic Press, Londen: 83–122.

IUPAC Commission on Pesticide Chemistry, 1984. Non-extractable pesticide residues in soils and plants. Pure & Applied Chemistry 56: 945–956.

Kutschera, L., 1960. Wurzelatlas mitteleurpaischer Ackerunkrauter und Kulturpflanzen. DLG-Verlag GmbH, Frankfurt am Main.

Leistra, M., 1979. Computing the movement of ethoprophos in soil after application in spring. Soil Science 128: 303–311.

Martin, H. & C.R. Worthing, 1977. Pesticide manual. British Crop Protection Council, Droitwich, Worchestershire.

Oliver, L.R., G.N. Prendeville & M.M. Schreiber, 1968. Species differences in site of root uptake and tolerance to EPTC. Weed Science 16: 534–537.

Oorschot, J.L.P. van, 1983. The influence of transpiration conditions on root absorption and translocation of herbicides. Aspects of Applied Biology 4: 207–216.

Ostojić, Z. & A. Reisler, 1973. Progress report on greenhouse studies with Nortron. I.B.S., Wageningen.

Riley, D., W. Wilkinson & B.V. Tucker, 1976. Biological unavailability of bound paraquat residues in soil. In: Kaufman, D.D., G.G. Still, G.D. Paulson & S.K. Bandal (Eds): Bound and conjugated pesticide residues. American Chemical Society, Washington. ACS Symposium Series 29: 301–353.

Walker, A., 1972. Availability of atrazine to plants in different soils. Pesticide Science 3: 139–148.

Walker, A., 1973. Vertical distribution of herbicides in soil and their availability to plants: shoot compared with root uptake. Weed Research 13: 407–415.

# 11 Toelatingsbeleid

## 11.1 Toelatingsbeleid van herbiciden in Nederland (H. Naber)

De toelating van bestrijdingsmiddelen in Nederland is geregeld in de bestrijdingsmiddelenwet van 1962. Er zijn vier ministeries bij betrokken die ieder op hun eigen terrein (landbouw, volksgezondheid, milieubeheer, arbeidsbescherming) een verantwoordelijkheid hebben. De Plantenziektenkundige Dienst (PD) beoordeelt de deugdelijkheid van de middelen in de ruimste zin van het woord. Specifiek voor herbiciden wordt behandeld welke zaken momenteel de meeste aandacht vragen.

### *11.1.1 Inleiding*

De toelating van bestrijdingsmiddelen in Nederland is geregeld in de Bestrijdingsmiddelenwet van 1962, die in 1975 drastisch is herzien. Behalve landbouwbestrijdingsmiddelen vallen ook desinfectantia, houtconserveringsmiddelen en veterinaire middelen onder deze wet. Niet alleen chemische stoffen maar ook biologische agentia worden aangemerkt als bestrijdingsmiddel, wanneer zij ter bestrijding, wering of regulering worden aangeboden. Zelfs hulpstoffen, zoals uitvloeier, beschermstof en synergist al of niet deel uitmakend van de formulering, worden beschouwd als bestrijdingsmiddelen en de eisen gesteld voor toelating verschillen in beginsel niet van die van werkzame stoffen. Voor biologische bestrijdingsmiddelen zijn onlangs eisen opgesteld die zijn afgestemd op het bijzondere karakter ervan.

Voor landbouwbestrijdingsmiddelen en veterinaire middelen is de minister van Landbouw de eerst verantwoordelijke, voor de overige middelen de minister van Volksgezondheid. In totaal zijn in Nederland vier ministeries betrokken bij het toelatingsbeleid van bestrijdingsmiddelen:

- Landbouw, Natuurbeheer en Visserij;
- Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur;
- Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer;
- Sociale Zaken en Werkgelegenheid.

Met de uitvoering van het toelatingsbeleid is belast de Commissie Toelating Bestrijdingsmiddelen, die wordt bijgestaan door werkgroepen waarin deskundigen van de betrokken ministeries zitting hebben. Het Bureau Bestrijdingsmiddelen is het centrale interdepartementale orgaan dat het geheel coördineert en de toelatingsaanvragen behandelt. Een bestrijdingsmiddel kan maximaal voor een periode van 10 jaar worden toegelaten, daarna is een nieuwe aanvraag nodig. Meestal wordt slechts toelating voor een kortere periode verleend en vindt al of niet onder voorwaarden (bijvoorbeeld ver-

schaffen aanvullende gegevens inzake gedrag in het milieu) verdere verlenging plaats tot maximaal het einde van de 10-jarentermijn.

Na toelating wordt aan een middel een toelatingsnummer toegekend. Onderscheiden worden:
- normale toelating (nieuw produkt op aanvraag toegelaten);
- ambtshalve toelating (produkt met wettelijk voorgeschreven samenstelling en etikettering, toelatingsnummer voor elk handelsmerk hetzelfde);
- administratieve toelating (afgeleid van reeds toegelaten produkt met toestemming eerste aanvrager);
- parallel toelating (uit ander EG-land ingevoerd produkt dat qua samenstelling identiek is aan hier reeds toegelaten middel).

In de Beschikking Uitzonderingen zijn enkele middelen opgenomen, onder andere landbouwzout en zwavelzuur, die wel als bestrijdingsmiddel worden gebruikt, maar grotendeels voor andere toepassingen dienen en om die reden buiten de Bestrijdingsmiddelenwet vallen.

### *11.1.2 Deugdelijkheid*

De Bestrijdingsmiddelenwet zegt dat een bestrijdingsmiddel slechts wordt toegelaten, indien 'op grond van voorafgaande onderzoekingen met redelijke zekerheid mag worden aangenomen, dat het middel deugdelijk is voor het doel waarvoor het is bestemd' (art. 3 lid 1b). De uitvoering van de taak om vast te stellen of een middel geschikt is voor het gestelde doel, is opgedragen aan de Plantenziektenkundige Dienst (PD). Binnen deze dienst worden door de afdeling Onkruidkunde en Onkruidbestrijding de herbiciden gekeurd. De Bestrijdingsmiddelenwet stelt geen specifieke eisen aan herbiciden, maar deze middelen nemen vanwege hun fytocide eigenschappen wel een bijzondere plaats in. Het keuringsonderzoek heeft ten dele tot doel om de reeds door de aanvrager (fabrikant van het middel) verschafte proefgegevens te verifiëren en te objectiveren. Belangrijker is echter de middelen te karakteriseren op hun biologische eigenschappen om naast effectiviteit en selectiviteit ook nevenwerkingsaspecten zoals persistentie in grond en plant in de beoordeling te kunnen betrekken.

Nieuwe stoffen en nieuwe formuleringen worden altijd in veldproeven gekeurd. Reeds bekende stoffen en formuleringen van een tweede en volgende aanvrager worden over het algemeen slechts in het biologisch laboratorium getoetst.

De deugdelijkheid wordt voornamelijk gemeten aan de hand van een referentieprodukt dat reeds is toegelaten en algemeen wordt gebruikt in de praktijk. Een nieuw produkt moet gelijkwaardig zijn aan of beter zijn dan het standaardmiddel, tenzij bijvoorbeeld toxicologische of milieu-eigenschappen zoveel gunstiger zijn dat een iets mindere werking kan worden getolereerd. Een standaardmiddel dient chemisch en biologisch (wijze van opname en werking) zoveel mogelijk gelijk te zijn aan het te onderzoeken middel.

De veldproeven worden uitgevoerd en beoordeeld door de districtsambtenaren van de PD. De proeven worden bezocht en verslagen door medewerkers van de afdeling.

In de vorm van een eindconclusie en een concept toelatingsbeschikking (Wettelijk Gebruiksvoorschrift en Gebruiksaanwijzing) wordt advies uitgebracht aan de Commissie Toelating Bestrijdingsmiddelen.

Voor het uitgevoerde onderzoek wordt een tarief in rekening gebracht bij de aanvrager. Dit tarief zal binnenkort zijn opgetrokken tot 50 % van de werkelijke kosten en is daarmee in 5 jaar meer dan tienvoudig gestegen. Dit is de achtergrond van het feit dat door de industrie is verzocht het keuringsonderzoek zelf uit te mogen voeren 'onder toezicht' van de overheid. De voorwaarden waaraan dit geprivatiseerde keuringsonderzoek is gebonden, zijn in onderling overleg opgesteld. De uitvoering dient plaats te vinden volgens de richtlijnen van EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization).

Omvang van onderzoek en verdere detaillering wordt voor ieder middel tevoren protocollair vastgelegd.

De waarnemingen worden door de industrie uitgevoerd, die ook de verslagen maakt. De PD volgt de proeven zoveel en zovaak zij dit wenst en stelt ook de eindconclusie voor advies aan de Commissie Toelating Bestrijdingsmiddelen op.

### *11.1.3 Gesloten dossier*

Alvorens een aanvraag tot toelating in behandeling wordt genomen moeten landbouwkundige, milieukundige, toxicologische en arbeidshygiënische gegevens worden voorgelegd op basis waarvan een beoordeling over de toelaatbaarheid kan plaatsvinden. In het aanvraagformulier is exact aangegeven welke onderzoekingen dienen te worden uitgevoerd. Een aantal gegevens dient altijd te worden verschaft, ongeacht het toepassingsgebied, andere gegevens zijn meer specifiek voor consumptiegewassen. Voor bijzondere toepassingen als bijvoorbeeld van herbiciden in watergangen zijn de vragen toegespitst op die situatie. Altijd is de overheid gerechtigd aanvullend onderzoek te vragen als het middel of de toepassing daar aanleiding toe geven.

De Bestrijdingsmiddelenwet biedt de fabrikant van een middel geen bescherming van het octrooirecht. In principe kan iedere volgende fabrikant die hetzelfde middel produceert, een toelating verkrijgen. Het is evenwel niet (meer) mogelijk dat de tweede aanvrager naar de gegevens van het middel in het dossier van de eerste aanvrager verwijst. De overheid hanteert sinds 1982 het zogenaamde gesloten-dossierprincipe, tenzij de eerste aanvrager toestemming verleent de gegevens die door hem zijn verschaft te benutten ten behoeve van de tweede aanvrager. Achtergrond van het gesloten dossier is dat, indien de overheid aan een fabrikant gegevens van vaak kostbare onderzoekingen vraagt om de toelaatbaarheid van een middel te kunnen beoordelen, die zelfde overheid ook gehouden is die gegevens te beschermen. Niet de uitkomsten van het onderzoek zijn geheim en ook niet de samenvattingen van het onderzoek, maar wel de originele, volledige rapporten van de proeven.

Het gesloten dosssier geldt voor een periode van 10 jaar voor die gegevens, welke zijn verschaft alvorens toelating werd verleend en gedurende 5 jaar voor de gegevens die voor verlenging van de toelating, dus naderhand, werden verschaft. Dit systeem

werkt naar tevredenheid van overheid en basisindustrie. De kleine bedrijven die kans zagen middelen uit landen te halen waar octrooirechten niet dan wel minder goed beschermd worden, zijn er minder gelukkig mee. We kunnen echter vaststellen dat momenteel ook deze bedrijven, al of niet in onderlinge samenwerking, erin slagen aanvullende gegevens te verschaffen (bijvoorbeeld over mutageniteit of gedrag in water) om te voorkomen dat ze 5 jaar van toelating worden uitgesloten.

### *11.1.4 Vliegtuigtoepassingen*

In het algemeen is de toediening van een bestrijdingsmiddel niet gebonden aan verplicht voorgeschreven apparatuur. De Bestrijdingsmiddelenwet geeft daartoe wel de mogelijkheid, namelijk in art. 5 lid 2, waar staat vermeld: 'Bij de toelating kunnen voorschriften worden gegeven welke betrekking hebben op ..., de wijze waarop en de technische hulpmiddelen waarmede het middel uitsluitend dan wel niet gebruikt mag worden, ...'

De toepassing van bestrijdingsmiddelen met vliegtuigen is geregeld in een apart 'Besluit luchtvaartuigtoepassingen bestrijdingsmiddelen', daterend van mei 1984. Dit besluit geeft nadere voorschriften over de te behandelen objecten, maar noemt ook de omstandigheden waaronder niet mag worden gespoten en de objecten welke niet mogen worden behandeld, alsook informatie aan derden die gegeven moet worden. Daarnaast is een aantal middelen welke zeer giftig zijn voor de mens (doodshoofdmiddelen) of zeer giftig zijn voor waterorganismen, uitgesloten van toepassing met het vliegtuig. In het Wettelijk Gebruiksvoorschrift van de toelatingsbeschikkingen van deze middelen is dit verbod aangegeven. Voor wat betreft de herbiciden zijn dit DNOC, dinoterb, dinoseb, dinosebacetaat, paraquat en endothal. Hoewel andere herbiciden niet worden uitgesloten van toepassing, wordt dit voor verschillende stoffen zoals groeistoffen, glyfosaat en amitrol sterk ontraden. Herbiciden, alsook groeiregulatoren, zijn bij toepassing met het vliegtuig, gezien de risico's van fytotoxiciteit voor aangrenzende gewassen, gevaarlijker dan andere bestrijdingsmiddelen.

### *11.1.5 Waterwingebieden*

Als een bestrijdingsmiddel wordt toegelaten, wordt tevens beslist of het betreffende middel toelaatbaar is voor gebruik in waterwingebieden. De Bestrijdingsmiddelenwet verstaat onder een waterwingebied: 'Een gebied, waar water aan de bodem wordt onttrokken ten behoeve van de drinkwatervoorziening, alsmede de daarbij behorende beschermingszones'. Het waterwingebied in engere zin, het puttenveld, beslaat een oppervlakte met een straal van tenminste 30 m rond iedere put. In de meeste gevallen is de omvang ervan in plaatselijke verordeningen aangegeven. In dit gebied, dat doorgaans in beheer is bij de waterleidingmaatschappij, mogen in het geheel geen bestrijdingsmiddelen worden toegepast. Wanneer wordt geoordeeld over het al of niet toelaatbaar zijn voor gebruik in waterwingebieden, worden de beschermingszones bedoeld.

Het eigenlijke waterwingebied (puttenveld) wordt ook wel 60-dagenzone genoemd. Het betekent dat een waterdeeltje 60 dagen onderweg is van de rand van het puttenveld tot in de pomp van een waterwinput. Evenzo geldt voor de beschermingszones van 10 en 25 jaar dat een waterdeeltje van de rand van deze zones tot de put 10 respectievelijk 25 jaar onderweg is.

Als criterium voor het al dan niet toelaatbaar zijn voor gebruik van een middel in waterwingebieden geldt de mobiliteit in de grond van de werkzame stof, inclusief zijn omzettingsprodukten, in relatie tot de snelheid van afbraak. In concreto: er wordt een schatting gemaakt, aan de hand van de verschafte milieugegevens, van de kans op uitspoeling naar het grondwater. Op deze wijze is een indeling van de middelen tot stand gekomen in een witte en een zwarte lijst. Voor een beperkt aantal middelen van de witte lijst geldt vervolgens nog een gebruiksverbod gedurende het winterseizoen of op zeer lichte gronden (tabel 11.1).

De normstelling ten aanzien van chemische verontreinigingen die in drinkwater mogen voorkomen zijn in EG-verband vastgelegd en bedragen 0,1 microgram per liter per stof en 0,5 microgram per liter voor alle stoffen samen. Het betreft een analytische grens en is niet een toxicologische tolerantie zoals die voor residuen op consumptiegewassen wordt gehanteerd.

In de Milieucriteria-nota die in januari 1989 door de ministers van VROM en Landbouw is aangeboden aan de Tweede Kamer wordt de norm van 0,1 respectievelijk 0,5 microgram ook van toepassing verklaard voor het grondwater.

### *11.1.6 Persistentie in de bodem*

Een aspect dat de laatste jaren nogal de aandacht heeft gehad van de Commissie Toelating Bestrijdingsmiddelen, is de persistentie van middelen in de bodem. Er is een beleidsnota over dit onderwerp opgesteld waarin nader is aangegeven volgens welke normen over persistentie wordt geoordeeld. Actieve stoffen of de relevante metabolie-

Tabel 11.1. Indeling van de herbiciden t.a.v. de gebruiksmogelijkheden in waterwingebieden.

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Herbiciden van de zwarte lijst:* | | | |
| asulam | chloorthal-methyl | endothal-Na | metazachloor |
| benazolin | chloralhydraat | fluroxypyr | metolachloor |
| bentazon | dicamba | hexazinon | propachloor |
| bromacil | dikegulac-Na | lenacil | TCA |
| | | | triclopyr |
| *Herbiciden niet toegestaan van 1 oktober–1 april:* | | | |
| aclonifen | 2,4-D | dinoseb-acetaat | mecoprop |
| alloxydim-Na | dalapon | DNOC | sethoxydim |
| carbeetamide | dimethachloor | fluazifop-butyl | |
| *Herbiciden niet toegestaan op gronden met minder dan 10 % slib en minder dan 2 % organische stof:* | | | |
| metamitron | metribuzin | pyridaat | |

ten worden als persistent in de bodem beschouwd, indien zij in de omstandigheden waarin zij na de toepassing verkeren, zodanig slecht afbreekbaar zijn, dat zij, gemeten over een aantal jaren, niet meer uit de bodem verdwijnen. Het gaat hier dus niet alleen om het bestrijdingsmiddel zelf, maar ook om zijn afbraakprodukten in de grond. Verlangd wordt dat een stof, nadat deze direct of indirect in de grond is terecht gekomen, daaruit weer verdwijnt, althans zich niet ophoopt na toepassing over een aantal jaren.

In de eerder genoemde Milieucriteria-nota wordt als norm voor persistentie genoemd een halfwaardetijd in de bodem van 2 maanden, dat wil zeggen in laboratoriumproeven uitgevoerd bij kamertemperatuur.

Van alle bestrijdingsmiddelen worden tegenwoordig onderzoeksgegevens gevraagd welke inzicht verschaffen in de wijze waarop, de snelheid waarmee en de mate waarin een stof wordt omgezet in de bodem. Deze gegevens worden ook gevraagd als verlenging van toelating aan de orde komt van de oudere middelen.

Naast de persistentie in de hier geschetste betekenis van accumulatie in de bodem, onderscheiden we voor herbiciden een vorm van persistentie die het beste als biologische persistentie kan worden gekwalificeerd. Het betreft een te lange werkingsduur in de grond van de werkzame stof zelf en eventuele fytocide metabolieten ten aanzien van volgende gewassen. Vanzelfsprekend dienen bodemherbiciden voor een optimale werking een zekere persistentie te bezitten.

Indien de afbraak echter zo traag verloopt dat de stof bij de oogst van het gewas nog in belangrijke mate aanwezig is, kan van een te persistente stof worden gesproken. Op de korte termijn, dat wil zeggen voor het volgende of daarop volgende gewas, kunnen dan problemen worden verwacht.

Indien er aanwijzingen zijn dat een herbicide biologisch te persistent is in de grond, wordt in het keuringsonderzoek dit aspect nader bekeken. Uit veldproeven worden tijdens de oogst grondmonsters verzameld en door biotoetsing worden nog aanwezige fytotoxische residuen bepaald. De duur van de teelt kan erg bepalend zijn voor de hoogte van het residu en voor het al of niet toelaatbaar zijn van een middel voor die teelt. Het criterium is steeds dat geen residuen meer in de grond aanwezig mogen zijn die schadelijk zijn voor een volgende teelt.

### *II.1.7 Overige aspecten*

De toelating van bestrijdingsmiddelen is geregeld in de Bestrijdingsmiddelenwet. In deze wet is ook de controle op het gebruik van de middelen in de praktijk geregeld. De Algemene Inspectie Dienst (AID) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij controleert bij de toelatingshouders, de handel, de loonwerkers en bij de land- en tuinbouwers.

Controle vindt plaats op kwaliteit van de middelen, opslag, vervoer en gebruik in de praktijk. Illegaal gebruik kan betrekking hebben op niet-toegelaten middelen, niet-toegestane toepassingsgebieden of gebruik van zwarte-lijstmiddelen in waterwingebieden. Ook de zorgvuldigheid van toepassing die de wet voorschrijft, vormt een aspect van controle.

De Arbeidsinspectie van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid ziet toe op de arbeidsbescherming van zowel de toepassers van de middelen als van degenen die in bespoten gewassen moeten werken. De waarschuwingen en voorschriften inzake beschermende maatregelen worden door het Directoraat Generaal voor de Arbeid van hetzelfde ministerie opgesteld.

Tenslotte is nog de Rijks Keuringsdienst van Waren van het Ministerie voor Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur betrokken bij de controle op het gebruik van bestrijdingsmiddelen. Het aspect wat door deze dienst wordt behartigd, is dat van de controle op residuen van de middelen in consumptiegewassen; bij overschrijding van de residutoleranties, die zijn vastgesteld door de Hoofdinspectie Levensmiddelen van hetzelfde ministerie, volgt optreden.

### *11.1.8 Tot slot*

Bestrijdingsmiddelen zijn regelmatig in het nieuws. Ook de onkruidbestrijdingsmiddelen komen in de media meestal slechts in negatieve zin aan de orde. Of dit ondanks onze goede wetgeving over bestrijdingsmiddelen is, of, dankzij deze zeer hoge eisen stellende wet, is moeilijk na te gaan.

Regelmatig staan bestrijdingsmiddelen, toxicologisch gezien, ter discussie. De interpretatie van de, uit chronisch onderzoek verkregen, uitkomsten levert dikwijls moeilijkheden op. Om elk risico voor de volksgezondheid of de toepasser uit te sluiten wordt nogal eens tot intrekking van de toelating van een middel besloten.

De komende jaren staan vele middelen, met name herbiciden, ter discussie voor wat betreft uitspoeling naar het grondwater en persistentie in de bodem. Indien de nieuwe normen van kracht worden, zullen vele bekende middelen verdwijnen. Echter ook emissie naar oppervlaktewater, waarvoor soms een ecotoxicologische norm, soms de drinkwaternorm gaat gelden, zal zijn tol eisen.

Uiteraard zal alles in het werk gesteld moeten worden om risico's voor de volksgezondheid en belasting van het milieu te voorkomen. De Bestrijdingsmiddelenwet vraagt in deze redelijke zekerheid. We mogen echter uit angst voor kwalijke neveneffecten van bestrijdingsmiddelen de nuttige toepassingen ervan niet uitsluiten.

## 11.2 Toelatingsbeleid van pesticiden in België (W. Dejonckheere)

### *11.2.1 Inleiding*

De erkenning in België van bestrijdingsmiddelen, onder andere herbiciden, is officieel geregeld door het Koninklijk Besluit van 5 juni 1975 en latere wijzigingen (onder andere 25 juli 1985). Onderzoek terzake gebeurt in verschillende proefstations en bij de erkenning zijn verschillende ministeries betrokken om zowel de biologische activiteit als eventuele neveneffecten te beoordelen. Naast bespreking van het toelatingsbeleid worden ook bepaalde voor herbiciden specifieke residuproblemen behandeld.

### *11.2.2 Basisprincipes*

De toelating van bestrijdingsmiddelen wordt in België geregeld door het Koninklijke Besluit (KB) van 5 juni 1975 betreffende het bewaren, het verkopen en het gebruiken van bestrijdingsmiddelen en fytofarmaceutische produkten. Dit Koninklijke Besluit werd gewijzigd door de Koninklijke Besluiten van 22 oktober 1976, 23 maart 1977, 19 februari 1985 en 25 juli 1985.

Bij het opmaken van deze Koninklijke Besluiten en dus bij de toelating van bestrijdingsmiddelen zijn de volgende ministeries of staatssecretariaten betrokken: Landbouw, Volksgezondheid, Leefmilieu, Tewerkstelling en Arbeid, Sociale Zaken en Buitenlandse betrekkingen. Tevens wordt het advies gevraagd van de Hoge Raad voor Veiligheid, Gezondheid en Verfraaiing der werkplaatsen en de Hoge Gezondheidsraad. Verder wordt rekening gehouden met: de aanbeveling van 31 maart 1965 van het Comité van Ministers van de Benelux Economische Unie betreffende de harmonisatie der wetgevingen inzake pesticiden en fytofarmaceutische produkten; de richtlijnen van de EEG betreffende onderlinge aanpassing van de wettelijke bepalingen inzake de indeling, de verpakking en de kenmerken van gevaarlijke preparaten.

In de Koninklijke Besluiten worden onder andere vastgelegd:

- het onderscheid tussen fytofarmaceutische produkten en bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik;
- de procedure voor de erkenning of toelating van deze middelen;
- de erkenning als erkend verkoper;
- de erkenning als erkend gebruiker, beroepsgebruiker of speciaal erkend gebruiker;
- de onderverdeling van de werkzame stoffen en eventueel formuleringen in gevarencategorieën en klassen.

Deze verschillende, algemene regels worden in dit overzicht aangevuld met een bespreking van:

- de rol en de werking van het Erkenningscomité;
- de rol en de werking van de Hoge Gezondheidsraad;
- beperkingen bij het gebruik van bestrijdingsmiddelen;
- nevenaspecten en residuproblemen;
- het Fytofarmaceutisch Fonds.

De basisgegevens van de Koninklijke Besluiten luiden als volgt: Het is verboden fytofarmaceutische produkten of bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik in de handel te brengen, te verwerven, aan te bieden, ten toon of te koop te stellen, in bezit te houden, te bereiden, te vervoeren, te verkopen, af te staan onder bezwarende titel of kosteloos, in te voeren of te gebruiken, die niet vooraf, respectievelijk door de Minister die de Landbouw of de Volksgezondheid onder zijn bevoegdheid heeft, zijn erkend.

Een aanvullende erkenning is vereist bij elke wijziging van de samenstelling, van de benaming of van het gebruik. De erkenning of toelating van een fytofarmaceutisch produkt of een bestrijdingsmiddel wordt verleend voor ten hoogste tien jaar maar kan een onbeperkt aantal keren vernieuwd worden, terwijl ook een voorlopige erkenning

van beperkte duur mogelijk is. Elke erkenning kan op elk ogenblik ingetrokken worden indien dit om biologische of toxicologische redenen gewenst is.

De Koninklijke Besluiten zijn dus van toepassing op fytofarmaceutische produkten en bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik. Het onderscheid tussen beide en de soort stoffen die hiermee bedoeld worden, blijkt uit de definities van de stoffen en preparaten:

'Bestrijdingsmiddelen zijn stoffen en preparaten ter vernietiging of afwering van schadelijke dieren, planten, micro-organismen of virussen.'

'Fytofarmaceutische produkten' zijn:

(a) bestrijdingsmiddelen voor landbouwkundig gebruik;

(b) stoffen en preparaten ter bevordering of ter regeling van de plantengroei of tot bewaring van planten, delen van planten en plantaardige produkten;

(c) stoffen en preparaten voor onkruid-, korstmossen- en algenbestrijding;

(d) stoffen en preparaten ter vernietiging van planten en delen van planten of ter voorkoming of remming van ongewenste groei;

(e) stoffen en preparaten voor het bestrijden of verdelgen van ectoparasieten van fok- en gebruiksdieren, duiven inbegrepen;

(f) micro-organismen en virussen die gebruikt worden voor de bestrijding van parasieten;

(g) uitvloeiers en hechtmiddelen of andere toevoegingsmiddelen die de werking van de onder a, b, c, d, e en f genoemde stoffen en preparaten bevorderen, voor zover zij tot dat doel in de handel worden gebracht.

Bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik zijn stoffen en preparaten, alsmede micro-organismen en virussen, bestemd om te worden gebruikt buiten de landbouwsector voor:

- het bestrijden of verdelgen van dieren welke schade kunnen berokkenen aan plantaardige en dierlijke produkten
- het voorkomen van bederf van plantaardige en dierlijke produkten
- het bestrijden of verdelgen van schadelijke dieren, planten of micro-organismen in woningen, gebouwen, vervoermiddelen, zwembaden, op vuilnisbelten en in riolen
- het behandelen van materialen en voorwerpen ter bestrijding of verdelging van dieren, planten of micro-organismen
- het behandelen van planten, grond of water, ter bestrijding of verdelging van organismen die ziekten kunnen veroorzaken bij de mens of bij dieren
- het bestrijden of verdelgen van ectoparasieten van kleine huisdieren.

Hieruit blijkt dat niet alleen bestrijdingsmiddelen sensu stricto worden bedoeld maar ook onder andere groeiregulatoren, hulpstoffen en synergisten en dit zowel voor gebruik in als buiten de landbouw. Voor de praktische uitvoering van de Koninklijke Besluiten zijn verantwoordelijk:

- het Erkenningscomité, bestaande uit ambtenaren van de ministeries van Landbouw, Volksgezondheid en Tewerkstelling en Arbeid, dat de erkenning voor fytofarmaceutische produkten regelt eventueel na advies van de Hoge Gezondheidsraad voor de toxicologische aspecten;

– de Hoge Gezondheidsraad, bestaande uit ambtenaren van het ministerie van Volksgezondheid, dat de toxicologische dossiers beoordeelt en de toelating verleent voor bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik.

Beide doen daarenboven beroep op de medewerking van andere bevoegde instanties of personen.

*11.2.3 Rol en werking van het Erkenningscomité*

Het Erkenningscomité onderzoekt de aanvragen voor het in de handel brengen van een fytofarmaceutisch produkt. In de praktijk betekent dit de beoordeling van de biologische werking en de fysico-chemische eigenschappen.

11.2.3.1 Eerste erkenning van een nieuwe werkzame stof

Voordat een nieuwe werkzame stof voor het eerst in de handel mag worden gebracht eist het Erkenningscomité van de betreffende firma dat veldproeven worden uitgevoerd voor:

– de beoordeling van de biologische werking, dus de effectiviteit van de verbinding, tegen de bedoelde insekten, parasieten, onkruiden of andere organismen;
– de beoordeling van de selectiviteit of veiligheid ten opzichte van het gewas;
– het vastleggen van de dosis en de gebruiksmodaliteiten of het goed landbouwkundig gebruik.

Deze veldproeven worden zoveel mogelijk uitgevoerd door het Rijksstation voor Fytofarmacie te Gembloux maar dit kan eventueel ook gebeuren, voor specifieke gewassen of specifieke doelorganismen, door andere onderzoeksinstellingen van het Ministerie van Landbouw of erkend door het Ministerie van Landbouw en onder andere verbonden aan de universiteiten zoals centra van het Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw (IWONL). Dit gebeurt de laatste jaren meer en meer en de verantwoordelijken van dit onderzoek worden tevens regelmatig uitgenodigd op de vergaderingen van het Erkenningscomité. In feite betreft dit het veel meer toepassen van de mogelijkheid om, naast de vaste leden van het Erkenningscomité, ook andere ter zake bevoegde personen bij de beoordeling van de veldproeven te betrekken.

Het erkenningscomité vraagt eveneens aan de firma om analyses te laten uitvoeren van het produkt voor het bepalen van de aard en het gehalte van de werkzame stof en zekere fysico-chemische eigenschappen die verschillend kunnen zijn naar gelang de aard van de formulering. Deze analyses kunnen normaal worden uitgevoerd door het Laboratoire d'Analyse de l'Etat in Luik, het Rijksstation voor Fytofarmacie te Gembloux en ook door andere laboratoria, die hiervoor door het Ministerie van Landbouw erkend zijn. Het onderzoek is in feite gecentraliseerd in Luik en Gembloux en alleen in probleemgevallen wordt beroep gedaan op andere laboratoria onder andere verbonden aan universiteiten.

Tenslotte moet de firma ook een toxicologisch dossier indienen. Dit wordt op vraag

van de vertegenwoordiger van het Ministerie van Volksgezondheid voorgelegd aan de Hoge Gezondheidsraad voor de beoordeling van de toxicologische gegevens en het opstellen van residutoleranties. Door het Erkenningscomité worden op basis van deze gegevens en na advies van de Hoge Gezondheidsraad, de specifieke voorwaarden voor de erkenning vastgelegd zoals de gebruiksmodaliteiten, de veiligheidstermijnen tussen de laatste toepassing en de oogst, de residutoleranties, de gevaarsymbolen en de veiligheidsvoorschriften bij het gebruik.

11.2.3.2 Erkenning van een nieuw gebruik van reeds erkende werkzame stof

Deze aanvragen moeten gebaseerd zijn op biologische gegevens zoals bij een eerste aanvraag voor erkenning en tevens is een beperkt toxicologisch dossier vereist. In de praktijk beoordeelt alleen het Erkenningscomité deze aanvragen en treden de ambtenaren van het Ministerie van Volksgezondheid in het Erkenningscomité op als vertegenwoordigers van de Hoge Gezondheidsraad onder andere voor het opstellen van de residutoleranties. Indien de nieuwe gegevens van het toxicologisch dossier echter voldoende belangrijk zijn, kunnen deze wel aan de Hoge Gezondheidsraad worden voorgelegd voor beoordeling en advies.

*11.2.4 Rol en werking van de Hoge Gezondheidsraad*

De Hoge Gezondheidsraad heeft een dubbele taak: de toelating van bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik en het beoordelen en het verlenen van een advies betreffende de toxicologische aspecten bij de erkenning van fytofarmaceutische produkten en het opstellen van residutoleranties.

11.2.4.1 Toelating van bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik

De toelatingen van bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik worden alleen en uitsluitend verleend door de Hoge Gezondheidsraad. Dit betekent dat deze raad in feite zowel het toxicologische dossier als de biologische werking zou moeten beoordelen. Meestal worden werkzame stoffen echter eerst erkend als fytofarmaceutische produkten, zodat de Hoge Gezondheidsraad reeds over een toxicologisch dossier beschikt wanneer een toelating voor niet-landbouwkundig gebruik wordt aangevraagd. Bij deze aanvraag kan hier dus naar worden verwezen. Nochtans moet steeds, zoals bij de fytofarmaceutische produkten, een beperkt toxicologisch dossier worden ingediend en wordt een analyse gevraagd van de werkzame stof in de voorgestelde formulering. Deze analyses gebeuren in hiervoor door het Ministerie van Volksgezondheid erkende laboratoria. Indien het een nieuwe verbinding betreft wordt hetzelfde toxicologisch dossier gevraagd als voor de fytofarmaceutische produkten.

Aan de beoordeling van de biologische werking wordt weinig aandacht besteed hoewel recent toch de vraag gesteld wordt of er geen duidelijke procedure opgesteld moet worden om ook dit aspect van de bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik te beoordelen.

11.2.4.2 Beoordeling van de toxicologische dossiers

Het indienen van een toxicologisch dossier is in principe vereist bij elke aanvraag tot erkenning van een fytofarmaceutisch produkt of tot toelating van een bestrijdingsmiddel voor niet-landbouwkundig gebruik. Hiervoor is recent een duidelijke procedure opgesteld waaruit blijkt dat dit dossier moet bestaan uit:
- de oorspronkelijke verslagen van de proeven;
- een samenvatting van de proefverslagen en de resultaten.

Voor het opstellen van deze samenvatting zijn voorschriften voorzien waaruit in detail is af te leiden welke gegevens beschikbaar moeten worden gesteld. Deze omvatten onder andere:

(a) Gegevens over de formulering:
- fysico-chemische eigenschappen;
- toxicologische gegevens (acuut, irritatie);
- gegevens over het gebruik en de werking;
- gegevens over de verpakking.

(b) Gegevens over de aktieve stof:
- identiteit;
- fysico-chemische eigenschappen;
- registratie in andere landen en evaluatie door internationale instanties (FAO, WHO, enz.);
- toxiciteit: acuut, irritatie, subacuut, subchronisch, chronisch, carcinogeen, teratogeen, mutageen, metabolisme;
- gedrag in bodem en water;
- toxiciteit voor vogels, aquatische organismen, bodemorganismen;
- residugegevens.

Voor elk preparaat of werkzaam bestanddeel van een preparaat dat reeds in België erkend of toegelaten is, volstaat een beperkter toxicologisch dossier met de volgende gegevens:
- bewijs van de identiteit en voorleggen van een conformiteitsanalyse;
- beslissingen die inzake de erkenning van het preparaat of het werkzaam bestanddeel in het buitenland zijn genomen;
- alle bekende gegevens in verband met de toxiciteit voorleggen, zeker degene die werden beschreven nadat de vorige erkenning of toelating verleend werd;
- indien het geen absoluut identiek produkt is, gegevens verstrekken betreffende de formulering zoals vermeld, in het bijzonder wat betreft de acute toxiciteit van de formulering.

Dit beperkt dossier wordt voor de fytofarmaceutische produkten normaal niet voorgelegd aan de Hoge Gezondheidsraad maar wordt beoordeeld door de vertegenwoordigers van het Ministerie van Volksgezondheid in het Erkenningscomité.

### *11.2.5 Indeling in gevarencategorieën*

De preparaten, dus de formuleringen van fytofarmaceutische produkten en bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik, worden ingedeeld in drie gevarencategorieën, namelijk zeer giftig, giftig en schadelijk. Deze indeling is gegeven in tabel 11.2.

De basis voor deze indeling is:
- de orale $LD_{50}$-waarde in mg per kg lichaamsgewicht bij orale opname door de rat voor vaste preparaten, vloeistoffen en lokasen of preparaten in tabletvorm;
- de orale $LC_{50}$-waarde in mg per liter lucht bij inhalatie gedurende 4 uur door de rat voor gasvormige preparaten en poeders met deeltjes kleiner of gelijk aan 50 $\mu$m;
- de dermale $LD_{50}$-waarde in mg per kg lichaamsgewicht bepaald door een huidtest op de rat en of het konijn indien deze duidelijk lager is dan de orale $LD_{50}$- of de $LC_{50}$-waarde bij preparaten die via de huid kunnen worden geresorbeerd.

In de praktijk betekent dit dat voor preparaten die meer dan één werkzame stof bevatten de $LD_{50}$- of $LC_{50}$-waarde experimenteel bepaald wordt om een indeling in één van deze gevarencategorieën mogelijk te maken.

Voor preparaten die maar één werkzame stof bevatten kan de $LD_{50}$-waarde berekend worden met de volgende formule:

$$\frac{L \times 100}{C} = V$$

Tabel 11.2. Indeling in de verschillende gevarencategorieën.

| | *Zeer giftig* | *Giftig* | *Schadelijk* |
|---|---|---|---|
| Vaste preparaten | | | |
| $LD_{50}$ oraal | < 5 | 5 – 50 | 50 – 500 |
| Vloeistoffen | | | |
| Lokasen | | | |
| Tabletten | | | |
| $LD_{50}$ oraal | < 25 | 25 – 200 | 200 – 2000 |
| Gasvormige preparaten | | | |
| Poeder < 50 $\mu$m | | | |
| $LC_{50}$ | < 0,5 | 0,5 – 2 | 2 – 20 |
| Vaste preparaten | | | |
| $LD_{50}$ dermaal | < 10 | 10 – 100 | 100 – 1000 |
| Vloeistoffen | | | |
| Lokasen | | | |
| Tabletten | | | |
| $LD_{50}$ dermaal | < 50 | 50 – 400 | 400 – 4000 |

L = conventionele waarde van de $LD_{50}$-waarde (oraal of dermaal) van de werkzame stof bij de rat zoals vermeld in Bijlage V van het Koninklijk Besluit
C = concentratie van de werkzame stof in gewichtsprocenten
V = $LD_{50}$-waarde van het preparaat.

Bijlage V van het Koninklijk Besluit omvat een betrekkelijk volledige officiële lijst van de $LD_{50}$-waarden van de werkzame stoffen. Voor verbindingen die niet in deze lijst voorkomen kan worden verwezen naar gegevens uit de literatuur of eigen onderzoek.

Naast deze algemene regels kunnen nog andere toxicologische gegevens in aanmerking worden genomen voor het indelen in de gevarencategorieën onder andere indien de rat niet het geschikte dier is voor een toxiciteitsproef of andere gegevens dan de $LD_{50}$- of $LC_{50}$-waarde wijzen op gevaren voor de mens zoals carcinogene, teratogene en mutagene gegevens.

### *11.2.6 Indeling in klassen*

Als basis voor de wetgeving betreffende de verkoop en het gebruik worden de preparaten van fytofarmaceutische produkten en bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik ingedeeld in de klassen A of B. Deze indeling is gebaseerd op de hierboven vermelde indeling in gevarencategorieën en op gegevens betreffende corrosie en irriterende eigenschappen. Tot klasse A behoren: de preparaten die ingedeeld zijn in de gevarencategorieën zeer giftig en giftig of die corrosief zijn. Tot klasse B behoren: de preparaten die ingedeeld zijn in de gevarencategorie schadelijk of die irriterend zijn. In bijlage II van het K.B. is in dit verband een aantal pesticiden vermeld, die behoren tot de klasse A en de klasse B.

Deze officiële lijst is echter zeer onvolledig en werd niet meer aangepast sedert 1975. In de praktijk wordt nu bij elke erkenning of toelating eventueel de gevarenklasse aangeduid en vermeld op het betreffende formulier.

Tenslotte is een aantal produkten, opgenomen in een speciale lijst bijlage III van het K.B. Dit zijn giftige gassen of produkten die deze afgeven zoals methylbromide, blauwzuur enz. en andere produkten zoals aldicarb, terbufos en thiofanox.

### *11.2.7 Maatregelen ter bescherming van de gezondheid bij de verkoop en het gebruik*

Deze maatregelen betreffen zowel de etikettering en verpakking als de eigenlijke verkoop en het gebruik.

#### 11.2.7.1 Etikettering en verpakking

Op elke verpakking of op een aan de verpakking gehecht vouwblad moet naast administratieve gegevens onder andere worden vermeld:
- de handelsnaam;
- de naam van de werkzame stof;

- het gehalte;
- het erkenningsnummer of het toelatingsnummer;
- het gebruiksdoel;
- de dosis, de gebruiksaanwijzing en eventueel de veiligheidstermijnen;
- gevaarsymbolen en aanduiding van bijzondere gevaren;
- veiligheidsaanbevelingen;
- aanduidingen betreffende de eerste hulp of bestemd voor de arts;
- geschikte methode om de verpakkingen en overschotten te vernietigen;
- de benaming van alle zeer giftige, giftige, schadelijke oplossingen of corrosieve toevoegsels indien de concentratie een bepaald gehalte overschrijdt;
- het verbod om de verpakkingen die zeer giftige, giftige en schadelijke produkten hebben bevat opnieuw te gebruiken tenzij deze hiervoor speciaal bestemd zijn.

Opschriften als niet giftig of niet schadelijk zijn verboden. Tevens zijn voorschriften voorzien betreffende de grootte van het etiket, het materiaal en de sluitingen van de verpakkingen en de aard, de kleur en de grootte van de gevaarsymbolen.

11.2.7.2 De begrippen erkend verkoper, erkend gebruiker en speciaal erkend gebruiker

Om als erkend verkoper of erkend gebruiker te worden aanvaard, moet onder andere aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

(a) Opleiding:
- universitair diploma (landbouw, apotheker, licentiaat scheikunde);
- andere hogere studies met vakken als insektenleer, fytopathologie, fytofarmacie, enz.
- of bewijs leveren van voldoende kennis zoals vereist door het Ministerie van Volksgezondheid (examen).

(b) Beschikking hebben over lokalen, geschikt materiaal en uitrusting zoals vastgelegd in de Besluiten.

Voor een erkenning als speciaal erkend gebruiker moet steeds het bewijs worden geleverd dat men voldoende kennis bezit zoals vereist door de Ministeries van Volksgezondheid en Tewerkstelling en Arbeid.

11.2.7.3 Verkoop en gebruik van fytofarmaceutische produkten en bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik

De verkoop en het gebruik van fytofarmaceutische produkten en bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik is geregeld op basis van de indeling in de klassen A, B en bijlage III van het K.B. en de erkenning als erkend verkoper, erkend gebruiker of speciaal erkend gebruiker.

Fytofarmaceutische produkten en bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik ingedeeld in de klassen A en B en bijlage III mogen enkel door erkende verkopers worden ingevoerd, bewaard of verkocht worden.

Tabel 11.3. Regeling van de verkoop en het gebruik.

| | *Klasse A* | *Klasse B* | *Bijlage III* | *Niet geklasseerd* |
|---|---|---|---|---|
| *Fytofarmaceutische produkten* | | | | |
| Verkoop door | erkende verkoper | erkende verkoper | erkende verkoper | iedereen |
| Verkoop aan | erkende gebruiker<br>beroepsgebruiker | iedereen | erkende verkoper<br>speciaal erkende gebruiker | iedereen |
| Gebruik door | erkende gebruiker<br>beroepsgebruiker | iedereen | speciaal erkende gebruiker | iedereen |
| *Bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik* | | | | |
| Verkoop door | erkende verkoper | erkende verkoper | erkende verkoper | iedereen |
| Verkoop aan | erkende gebruiker<br>beroepsgebruiker | erkende gebruiker<br>beroepsgebruiker | erkende verkoper<br>speciaal erkende gebruiker | iedereen |
| Gebruik door | erkende gebruiker<br>beroepsgebruiker | erkende gebruiker<br>beroepsgebruiker | speciaal erkende gebruiker | iedereen |

Fytofarmaceutische produkten van klasse A en bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik van de klassen A en B mogen alleen worden verkocht aan en worden gebruikt door erkende gebruikers en beroepsgebruikers of personen die als hoofd- of bijberoep een bedrijf exploiteren of beheren dat het gebruik van deze middelen verantwoordt. Dit soort bedrijven is vermeld in een afzonderlijk besluit en omvat onder andere land- en tuinbouwuitbatingen.

Produkten vermeld in bijlage III mogen alleen worden verkocht door en aan erkende verkopers en aan speciaal erkende gebruikers. Dit betekent onder andere dat produkten voor landbouwkundig gebruik die zeer giftig of giftig of corrosief zijn niet aan iedereen mogen verkocht of door iedereen mogen worden gebruikt.

Bij niet-landbouwkundig gebruik zijn de voorschriften duidelijk strenger en mogen alle herbiciden uit de klasse B niet aan iedereen verkocht of door iedereen worden gebruikt.

Het geheel van de regels betreffende de verkoop en het gebruik zijn weergegeven in tabel 11.3.

### *11.2.8 Beperkingen bij het gebruik van bestrijdingsmiddelen*

#### 11.2.8.1 Algemeen

In de Koninklijke Besluiten zijn algemene regels vermeld betreffende het veilig gebruik van bestrijdingsmiddelen. Deze regels luiden:

– de nodige maatregelen moeten worden genomen om te vermijden dat nadeel wordt

berokkend aan de gezondheid van de mens en van nuttige dieren en dat schade wordt toegebracht aan naburige gewassen en in het algemeen aan het milieu;
– de oorspronkelijke verpakkingen moeten onmiddellijk na het ledigmaken onschadelijk worden gemaakt volgens de aanduidingen die op de verpakking vermeld zijn;
– het waswater, de behandelingsoverschotten en het bezinksel in vaten moeten zodanig worden opgevangen en behandeld dat zeewater, waterlopen, bronnen, vijvers, poelen, drinkplaatsen, grondwater en waterputten niet kunnen worden verontreinigd.

Het is duidelijk dat dit een voorbeeld is van hoe via een wet alles en niets kan worden geregeld. Dit blijkt onder andere uit een aantal voorbeelden van vermeldingen op de verpakkingen betreffende geschikte methoden om verpakkingen en overschotten te vernietigen.
– 'Ledige verpakkingen vernietigen. Het eventuele overschot aan spuitoplossing of spoelwater niet in waterlopen of in de nabijheid van bronnen storten.'
– 'Lege verpakkingen verpletten en begraven op ongeveer 30 cm diepte op minstens 50 meter van bronnen, waterlopen enz. Niets vermeld betreffende overschotten.'
– 'Overschot van de behandeling in holen van 30 cm diep begraven. Deze holen vervolgens weer met aarde aanvullen. Deze behandelingen tenminste 50 meter van water of waterbron verrichten.'
– 'Onbruikbaar maken van de verpakking zo gauw deze leeg zijn, ze vernietigen door verbranding of begraving.'
– 'Verdere storting in de hierna opgesomde plaatsen is volstrekt verboden: aangrenzende culturen, woonplaatsen, aangrenzende parken en tuinen, gebouwen, kwekerijen, putten, waterlopen of waterbewaarplaatsen, riolering, bijenkorven en bijenstallen, wildreservaten, parken en natuurreservaten.'

De algemene regels zijn dus inderdaad op zich zeer streng maar zijn in de praktijk alleen uitvoerbaar indien ook specifieke regels en maatregelen genomen worden, zoals:
– het duidelijk bepalen met welke middelen en via welk gebruik (plaats, hoeveelheid, frequentie van de toepassingen) het milieu schade kan worden aangebracht en hierover bijzondere voorbehoedende maatregelen vastleggen;
– het voorschrijven van officiële regels betreffende het vernietigen van de verpakkingen onder andere door een systeem van terug inleveren bij de verkoper waardoor een gecentraliseerd onschadelijk maken kan worden opgebouwd waarbij hergebruik niet uitgesloten is. Dit kan onder andere door het invoeren van een statiegeld voor de verpakking;
– het opzetten van een systeem waarbij resten van bestrijdingsmiddelen ofwel geregeld worden ingezameld ofwel terug aan de leverancier moeten worden bezorgd waarna ze op een verantwoorde wijze kunnen worden vernietigd onder andere door verbranding bij hoge temperatuur.

11.2.8.2 Specifieke beperkingen bij het gebruik van pesticiden op bermen enz.

In België behoort het natuurbehoud sedert 1980 tot de bevoegdheid van de gewesten,

in casu Vlaanderen en Wallonië, en beide gewesten kunnen terzake wettelijke regels voorschrijven onder andere wat betreft de beperking van het gebruik van biociden en onkruidbestrijdingsmiddelen. Deze regels komen blijkbaar afzonderlijk tot stand zonder consultatie van het andere gewest met als gevolg dat besluiten met verschillende inhoud genomen worden.

*a. Besluit van de Vlaamse Executieve van 27.6.1984 (VL)*

Dit besluit luidt samengevat als volgt: in het kader van het natuurbehoud is het gebruik van biociden verboden op bermen en taluds gelegen langs wegen, waterlopen en spoorwegen in zoverre publiekrechterlijke rechtspersonen hierover bevoegd zijn.

*b. Besluit van de Waalse Gewestexecutieve van 27.1.1984 (W)*

Dit besluit luidt samengevat als volgt: in het kader van het natuurbehoud is het gebruik van onkruidverdelgingsmiddelen verboden op die plaatsen die behoren tot het openbaar domein of door een openbare overheid gebruikt worden, namelijk:

- bermen, taluds en andere terreinen die deel uitmaken of grenzen aan wegen;
- openbare parken;
- terreinen die tot nut van het algemeen gebruikt worden (onder andere reservaten);
- terreinen die grenzen aan gebouwen dit tot nut van het algemeen gebruikt worden (onder andere scholen);
- waterlopen, vijvers en meren en de oevers daarvan.

Het gebruik van onkruidverdelgingsmiddelen is wel toegelaten:

- op bestrate ruimten of ruimten die met grint bedekt zijn;
- op ruimten gelegen minder dan één meter van een spoorweg;
- op de lanen van kerkhoven.

Vier maanden na dit besluit (14.05.84) werden gezien 'het dringend geboden was het gebruik van onkruidverdelgingsmiddelen toe te laten daar in sommige gevallen het onderhoud moeilijker zou zijn indien de groei van de planten niet snel wordt gestopt', de volgende bijkomende uitzonderingen toegestaan:

- voor het uitvoeren van voorbereidingswerken voor het zaaien van kruidachtige gewassen en de aanplanting van houtachtige gewassen;
- voor het uitvoeren van onderhoud van de houtachtige gewassen gedurende twee jaar na het planten;
- op begraafplaatsen;
- op een afstand van 20 cm van de basis van het wegmeubilair onder andere verkeerstekens, verlichtingspalen, enz.;
- voor het onderhoud van sportpleinen, stadions en sportcomplexen;
- voor het onderhoud van bosjes en perken in de openbare parken.

De eerste drie van deze uitzonderingen werden op 24.04.86 verlengd tot 15.04.88 en de drie volgende tot 31.12.86, met tevens een verhoging van de afstand van 20 cm tot 60 cm.

*c. Bespreking van beide besluiten*

Beide besluiten verschillen van elkaar op een aantal belangrijke punten zoals:
– de aard van de verboden middelen: biociden (VL) en onkruidbestrijdingsmiddelen (W);
– het toepassingsgebied: bermen en taluds langs wegen, waterlopen en spoorwegen (VL), idem maar ook allerlei andere terreinen en duidelijk omschreven uitzonderingen (W).

Beide besluiten gelden niet voor de privé-sector maar alleen indien:
– publiekrechterlijke personen bevoegd zijn (VL);
– de plaatsen behoren tot het openbaar domein of door een openbaar bestuur gebruikt worden (W).

In het Belgisch Staatsblad van 17.06.1987 wordt via een rondzendbrief van de Vlaamse Gemeenschapsminister voor Volksgezondheid en Leefmilieu nadere informatie verstrekt betreffende de toepassing van het Bermbesluit. Hierin worden verduidelijkt de begrippen bermen, wegen, waterlopen en spoorwegen, begraasde bermen, publiekrechterlijke personen, biociden en maaibeheer. Tevens wordt gesteld: 'Bij de toepassing van het bermbesluit dient de verantwoordelijke overheid echter rekening te houden met andere taken, met name het instaan voor verkeersveiligheid, de bestrijding van voor de menselijke economie schadelijke organismen, het beheersen van de grondwaterhuishouding en het voorkomen van wateroverlast'. Dit kan onder andere betekenen dat bermen wel of gedeeltelijk behandeld worden met onkruidbestrijdingsmiddelen indien dit door de overheid aangezien wordt als noodzakelijk, gewenst of economisch meer verantwoord.

### *11.2.9 Het Fytofarmaceutisch Fonds*

Aangezien het ontwikkelen van nieuwe werkzame stoffen een vrij langdurige en kostbare onderneming is, worden deze middelen vooral uitgetest op gewassen met een groot areaal om zodoende door een hoog gebruik de kans tot terugwinnen van de kosten voor onderzoek en ontwikkeling te verhogen. Bovendien zijn er steeds kosten verbonden aan het opstellen van een biologisch dossier voor andere gewassen en aan het aanvragen van een erkenning voor gebruik. Dit heeft tot gevolg dat de aanvragen voor gebruik in gewassen met klein areaal, zoals bepaalde groenten, vrij beperkt zijn. Dit is vooral het geval met herbiciden omdat bij deze verbindingen, veel meer dan voor insekticiden en fungiciden, de juiste toepassingsdosis moet worden bepaald via veldproeven om een doelmatig effect te bereiken tegen de onkruiden, zonder fytotoxiciteit te veroorzaken bij het gewas.

In België is dit probleem mogelijk nog scherper gesteld om verschillende redenen zoals:
– een verzoek om erkenning voor gebruik kan alleen door een firma of privépersonen worden ingediend en niet door bijvoorbeeld het Ministerie van Landbouw of Onderzoeksinstellingen zoals in veel andere landen;
– het officiële biologisch onderzoek was tot voor kort vrijwel volledig geconcen-

treerd in het Rijksstation voor Fytofarmacie te Gembloux en er werd weinig of geen rekening gehouden met de resultaten van onderzoek in andere officiële of semi-officiële instellingen, in het bijzonder wat betreft herbiciden;
– door beperkte mogelijkheden voor biologisch onderzoek werd in Gembloux vooral aandacht besteed aan de gewassen met groot areaal en minder aan groenten en dergelijke.

Om deze en andere problemen te ondervangen en financiële mogelijkheden te verwerven werd bij Koninklijk Besluit van 11.12.1981 een Fytofarmaceutisch Fonds opgericht met onder andere als doel onderzoek te verrichten betreffende: de fytosanitaire bescherming van de gewassen waarvoor geen erkende fytofarmaceutische produkten beschikbaar zijn.

De gelden voor dit fonds zijn afkomstig van:
– vergoedingen bij de aanvraag voor een erkenning van een fytofarmaceutisch produkt: normaal 25 000 BEF en 15 000 BEF voor een vernieuwing, 10 000 BEF voor een aanvulling en 3000 BEF voor een wijziging van de handelsnaam;
– aanvullende vergoedingen voor erkenningen waarvoor geen biologische proeven hoeven worden uitgevoerd in een Belgisch onderzoekingsstation: 5000 BEF voor produkten waarvan de werkzame stof voor het eerst erkend is vóór 1959, 15 000 BEF bij een eerste erkenning in de periode 1959-1965, 30 000 BEF bij eerste erkenning in de periode 1966-1970, 60 000 BEF bij een eerste erkenning na 1970;
– jaarlijkse vergoeding per erkenning: 10 000 BEF voor de giftige tot zeer giftige produkten, 5000 BEF voor de schadelijke of corrosieve produkten, 2500 BEF voor de andere.

Een vermindering of vrijstelling van deze vergoedingen bij de erkenning kan worden toegestaan voor een fytofarmaceutisch produkt dat uitsluitend bestemd is voor gewassen waarvoor geen geschikte middelen voor gewasbescherming voorhanden zijn of voor gewassen met gering areaal. Theoretisch zou dit dus een stimulans moeten zijn voor het sneller erkennen van middelen voor deze gewassen. Nochtans is gebleken dat dit systeem in te geringe mate begeleid wordt en er een duidelijke procedure ontbreekt om de situatie ter zake snel te verbeteren, waarbij ook de vraag moet worden gesteld in welke mate de industrie hierin geïnteresseerd is. Het gevolg is uiteraard dat nogal wat middelen gebruikt worden die niet erkend zijn, maar via officieuze voorlichting bekend gemaakt en zelfs gepropageerd worden.

### *11.2.10 Samenvatting*

Een overzicht van de wettelijke regeling betreffende de toelating, de verkoop en het gebruik van bestrijdingsmiddelen is een nuttig gegeven om aan te tonen dat deze verbindingen inderdaad niet zomaar kunnen worden gebruikt. Niettegenstaande deze uitgebreide wetgeving heerst er toch een zeker gevoel van onbehagen betreffende bestrijdingsmiddelen. Regulering kan inderdaad niet vermijden dat door onoordeelkundig gebruik neveneffecten tot uiting komen die uiteindelijk meer aandacht krijgen dan de nuttige aspekten.

Algemeen kan worden gesteld dat in België zeer veel onderzoek verricht wordt naar de doeltreffendheid en bruikbaarheid van chemische bestrijdingsmiddelen, maar dat dit onderzoek vrij sterk is versnipperd over allerlei onderzoeksinstellingen.

Door een betere coördinatie en samenwerking zouden heel wat meer nuttige gegevens kunnen doorstromen naar de gebruiker van chemische bestrijdingsmiddelen en zeker ook naar de officiële instanties, waardoor het beleid hieraan zou kunnen worden aangepast. Dit betreft zowel de snellere erkenning van middelen die onder andere reeds in Nederland erkend zijn op gewassen die ook in België geteeld worden, als de noodzaak tot nemen van meer specifieke maatregelen tot bescherming van het milieu en het grondwater.

# 12 Geïntegreerde onkruidbestrijding

F.G. Wijnands

Op het proefbedrijf OBS te Nagele (Nederland) wordt onder meer een geïntegreerd akkerbouwbedrijfssysteem ontwikkeld, gericht op kostenbesparing en minimale belasting van het milieu door een hoge inzet van kennis en alternatieve methoden en technieken. Onderdeel van deze experimentele bedrijfsstrategie is geïntegreerde onkruidbestrijding. Op doel en middelen, alsmede voorlopige resultaten wordt nader ingegaan, onder andere door bespreking van de gevolgde werkwijze in enkele belangrijke gewassen.

## 12.1 Inleiding

In de jaren vijftig en zestig bleek dat het grootschalig gebruik van pesticiden ongewenste effecten had, zoals milieuvervuiling, resistentie-ontwikkeling en nivellering van flora en fauna. In 1959 werd als antwoord hierop het concept van geïntegreerde bestrijding geïntroduceerd, met name ten aanzien van insekten (Stern et al., 1959). Aan dit concept werd in de daarop volgende jaren wereldwijd veel aandacht besteed, onder andere door de FAO (Smith & Reynolds, 1966; Steiner, 1966) en de IOBC (International Organisation for Biological Control). Pas vanaf het begin van de jaren zeventig werd deze benadering ook voor onkruiden en ziekten aanbevolen.

In 1975 vond in Tokyo het eerste internationale symposium plaats over geïntegreerde onkruidbestrijding (Fryer & Matsunaka, 1977). Recenter werd onderkend dat voor een efficiënte en grondige aanpak van de geïntegreerde gewasbescherming de gehele bedrijfsvoering dient te worden aangepast, zodat men beter kan streven naar een volledig geïntegreerd produktiesysteem. (Anonymus, 1977; Koch, 1979; Vereijken et al., 1986). In Nederland vindt sinds 1979 onderzoek plaats naar de ontwikkeling van een geïntegreerd akkerbouwsysteem op het proefbedrijf 'Ontwikkeling Bedrijfs Systemen' (OBS) te Nagele (Noordoostpolder). De opzet, werkwijze en voorlopige resultaten van dit proefbedrijf zijn elders uitvoerig beschreven (Spiertz & Vereijken 1988; Wijnands 1988). De aanpak en resultaten van de onkruidbestrijding op dit bedrijf in de periode 1985–1987 worden hier besproken.

## 12.2 Geïntegreerde onkruidbestrijding: doel en strategie

De geïntegreerde onkruidbestrijding heeft tot doel met zomin mogelijk kosten en milieubelasting de onkruiden zodanig te beheersen dat geen economisch belangrijke schade optreedt aan gewasgroei, opbrengst en kwaliteit. De onkruidbestrijding is onderdeel van een geïntegreerde bedrijfsvoering. Dit laatste kan als volgt worden geka-

rakteriseerd: accentverschuiving van opbrengstverhoging naar kostenbeheersing en kwaliteitsverbetering van produkt en produktieproces door beperking van kunstmestgebruik en vervanging van bestrijdingsmiddelen door kennisintensieve en niet-chemische methoden voor zover mogelijk (Spiertz & Vereijken, 1988). Van deze aanpak mag op het terrein van de onkruidbestrijding verwacht worden dat het risico van ongewenste resistentie-ontwikkeling en verschuivingen in de onkruidflora naar moeilijker te bestrijden soorten geringer is. Dit omdat veel meer 'niet-selectieve' mechanische methoden worden toegepast. Tevens mag verwacht worden dat de milieubelasting en de kosten sterk teruggedrongen kunnen worden.

In tabel 12.1 staat in hoofdlijnen de bestrijdingsstrategie weergegeven. Allereerst dient buiten de gewasfase de zaadvoorraad en onkruiddichtheid zoveel mogelijk te worden verminderd. Dat kan onder meer door de teelt van sterk onderdrukkende groenbemesters in de stoppel en/of door gerichte grondbewerkingen. De bedrijfsinrichting speelt ook een belangrijke rol bij het beheersen van onkruidpopulaties. Zo kan door de vruchtwisseling een zodanige opvolging van gewastypen gecreëerd worden, dat er voldoende mogelijkheden voor verschillende typen bestrijding zijn en daardoor de selectiedruk op de populaties geringer is.

Door verschuiving (vaak verlating) van het zaai- of planttijdstip kan voor een deel worden ontsnapt aan de potentiële onkruiddruk. De zaaibedbereiding fungeert dan tevens als onkruidbestrijding. De relatieve concurrentiekracht van het gewas kan worden versterkt door een gerichte rassenkeuze en een aangepaste bemesting. Bovendien dient de teelt zo ingericht te zijn dat ook niet-chemische methoden zo effectief mogelijk uitgevoerd kunnen worden.

Bij de bestrijding hebben mechanische en thermische technieken de voorkeur. Als sluitpost worden herbiciden ingezet. Bij de keuze van een middel spelen naast het wer-

Tabel 12.1. Strategie voor de geïntegreerde onkruidbestrijding (naar Vereijken, 1987).

*1. Bedrijfsvoering, -inrichting*
1a. vruchtwisseling
1b. groenbemesters met snelle grondbedekking en grote bladrijkdom tegen onkruiden in de stoppels

*2. Teeltechniek*
2a. cultivars met snelle grondbedekking en grote bladrijkdom
2b. zaaitijdstip (late zaai; zaaibedbereiding annex onkruidbestrijding)
2d. rijenafstand (mogelijkheden voor mechanische bestrijding)

*3. Bestrijdingsmethoden*
3a. mechanisch (eggen, schoffelen, aanaarden, hakken)
3b. thermisch (vóór opkomst gewas, loofdoding aardappel)
3c. chemisch
- rijenbespuiting (eenjarige onkruiden)
- pleks- en/of plantsgewijs (met name overblijvende onkruiden)
- keuze van middel (criteria ten aanzien van effectiviteit en milieubelasting)
- dosering, toepassingstechniek en -tijdstip

kingsspectrum en de effectiviteit, de humaantoxische en milieutechnische eigenschappen een doorslaggevende rol. Middelen die als giftig, mobiel en/of persistent bekend staan, worden zoveel mogelijk gemeden. Bij de toepassing heeft een rijenbehandeling veruit de voorkeur boven een volveldstoepassing. Tenslotte is de spuittechniek, de dosering en het tijdstip van behandeling van groot belang voor een optimaal resultaat. Ook bij mechanische technieken is een juiste keuze en afstelling van de apparatuur belangrijk. Overblijvende onkruiden worden bij voorkeur plek- en/of plantgewijs aangepakt. Regelmatige gewasinspectie is daartoe een eerste vereiste.

## 12.3 Problematiek, methoden en technieken per gewas

Het bouwplan van het geïntegreerde en gangbare bedrijfssysteem op de OBS is weergegeven in tabel 12.2. In tabel 12.3 wordt een schematisch overzicht gegeven van de gebruikte elementen voor de onkruidbestrijding in de verschillende gewassen. Hieronder worden deze besproken in vergelijking met een gangbare aanpak.

Tabel 12.2. Bouwplan van het geïntegreerde en gangbare bedrijf op de OBS te Nagele, van 1985 t/m 1987.

1. ½ consumptie-, ½ pootaardappelen
2. ½ droge groene erwten, ¼ winterpeen, ¼ zaaiuien
3. Suikerbieten
4. Wintertarwe

Tabel 12.3. Globaal overzicht van de gebruikte elementen in de geïntegreerde onkruidbestrijding in diverse gewassen.

| | *Winter-tarwe* | *Aard-appelen* | *Suiker-bieten* | *Erwten* | *Zaai-uien* | *Winter-peen* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Rassenkeuze (concurrentievermogen) | x | – | x | – | – | – |
| Zaaidatum | x | – | – | – | – | – |
| Rijenafstand | – | – | – | x | – | – |
| Mechanische bestrijding | | | | | | |
| eggen | x | – | – | x | – | – |
| aanaarden | – | x | x | x | – | x |
| verlate rugopbouw | – | x | – | – | – | – |
| schoffelen | – | – | x | x | x | x |
| Thermische bestrijding | | | | | | |
| onkruid | – | – | – | – | x | x |
| loof | – | x | – | – | – | – |
| Chemische bestrijding | | | | | | |
| volvelds | x | – | – | x | x | – |
| rij | – | – | x | – | – | x |
| verlaagde dosering | – | – | x | – | – | – |
| Groenbemester in stoppel | x | x | – | x | – | – |

### *12.3.1 Wintertarwe*

In deze teelt vergt de onkruidbestrijding verreweg het grootste aandeel van de totale inzet aan chemisch werkzame stof. Veel van in de handel zijnde herbiciden zijn mengsels uit twee, drie of zelfs vier verschillende actieve stoffen. De meeste van deze stoffen zijn echter zeer mobiel en matig tot behoorlijk persistent (dicamba, benazolin, bentazon, fluroxypyr, mecoprop, 2,4-D, DNOC en aclonifen). Deze vormen dan ook indirect of direct een bedreiging voor de drinkwaterkwaliteit. De kleurstoffen DNOC en dinoterb zijn bovendien giftig voor de mens, bijen en waterorganismen.

In de praktijk is naast een voorjaarsbehandeling met herbiciden met name in het noordelijk en zuidwestelijk kleigebied van Nederland een herfstbestrijding noodzakelijk met 1–2 bodemherbiciden. De meeste van deze middelen, zoals isoproturon, chloortoluron en metoxuron, zijn aan te merken als uitspoelingsgevoelig. De kosten van bestrijding zijn in de laatste 10 jaar met zo'n *f* 150,– per ha gestegen. Probleemonkruiden zijn duist (*Alopecurus myosuroides*), windhalm (*Apera spica-venti*), muur (*Stellaria media*), kleefkruid (*Galium aparine*) en dergelijke.

Tabel 12.4 geeft schematisch de verschillen weer tussen de gangbare en geïntegreerde benadering. Het uitstellen van de grondbewerking en zaai tot na 1 november heeft in het algemeen geen negatief effect op de opbrengst (centrale zeeklei; Darwinkel, 1981). Na verlate zaai kiemen in de regel nog slechts weinig dicotyle onkruiden. Daarmee is bestrijding in de herfst overbodig en heeft het gewas in het voorjaar een voorsprong op het onkruid. Ondanks het onkruidonderdrukkend vermogen van het gekozen tarweras, gebaseerd op bladrijkdom en vroegheid van grondbedekking, is één voorjaarsbestrijding van eenjarige onkruiden op de OBS noodzakelijk geworden (vanaf 1986). Als groenbemester werd een gras/klaver-mengsel ondergezaaid, indien nodig begeleid door een keer extra eggen. Echter vanaf 1987 wordt organische mest op de tarwestoppel uitgereden en direct ingewerkt. Dit inwerken vernietigt onkruid en fungeert als zaaibedbereiding voor de groenbemester. Veel eenjarig onkruid kiemt dan nog en verstikt vervolgens onder de snelgroeiende groenbemester. In de komende tijd

Tabel 12.4. Hoofdelementen van de onkruidbestrijding in wintertarwe.

| | *Gangbaar Systeem* | *Geïntegreerd Systeem* |
|---|---|---|
| Rassenkeuze | opbrengst belangrijkst | resistenties en onkruidonderdrukking |
| Zaaidatum | 1e helft oktober | ca. 1 november |
| Mechanische bestrijding | niet | stoppelbewerking |
| Groenbemester | onderzaai: gras | náteelt goed dekkende groenbemester: gele mosterd |
| Chemische bestrijding gewas + stoppel | breedwerkend, volvelds | selectief, pleksgewijs indien mogelijk |

zullen de mogelijkheden onderzocht worden voor een teeltsysteem met ruimere rijenafstanden en mechanische onkruidbestrijding.

### *12.3.2 Suikerbieten*

Verreweg de grootste hoeveelheid werkzame stof aan pesticiden die gebruikt wordt in de suikerbietenteelt, wordt ingezet voor de bestrijding van onkruiden. Met name de graminiciden zoals alloxydim-natrium, fluazifop-butyl en sethoxydim zijn uitspoelingsgevoelig. Metamitron is op lichte, humusarme gronden uitspoelingsgevoelig en ethofumesaat is matig persistent. In de praktijk lopen de kosten van de onkruidbestrijding uiteen van *f* 100,– tot *f* 600,– per ha. Naast een bodemherbicide voor opkomst worden 1 tot 2 curatieve middelen na opkomst toegepast.

Recent zijn er ontwikkelingen gaande in de richting van rijenbehandelingen enerzijds en lage doseringssystemen anderzijds. Probleemonkruiden zijn de eenjarige grassen en de overblijvende soorten zoals veelknopigen (*Polygonum*) spp. en zwarte nachtschade (*Solanum nigrum*).

In de geïntegreerde teelt wordt geen bodemherbicide voor opkomst toegepast (tabel 12.5). Na opkomst wordt een rijenbespuiting uitgevoerd en indien nodig herhaald (per keer ⅓ van de middelkosten en de werkzame stof). Een ras dat bladrijk is en een vroege grondbedekking geeft, kan de periode van opkomst tot het sluiten van het gewas verkorten en onderdrukt het onkruid in de rij effectiever. Tussen de rijen wordt naar behoefte geschoffeld met een zogenaamde trilschoffel of strokencultivator en/of vlakke schoffel. De trilschoffel werkt dieper, aardt beter aan en ontwortelt het onkruid meer dan de vlakke schoffel, zeker op zwaardere gronden respectievelijk onder nattere omstandigheden. Veelal is een herhaling van de rijenbespuiting overbodig. Wanneer de bieten voldoende groot zijn, kan een laatste keer worden aangeaard, waarbij de keuze van het tijdstip van groot belang is voor het effect. Aanvullend handwieden en pleksgewijze inzet van een onkruidbestrijker completeren het geheel. In nader onderzoek zal het effect van rijenbemesting op de onkruidpopulatie bestudeerd worden, evenals de toepassing van lage doseringen in rijenbehandeling. Dit laatste kan de kosten en de middeleninzet nog verder reduceren.

Tabel 12.5. Hoofdelementen van de onkruidbestrijding in suikerbieten.

| | *Ganghaar Systeem* | *Geïntegreerd Systeem* |
|---|---|---|
| Rassenkeuze | suikeropbrengst doorslaggevend | suikeropbrengst en onkruidonderdrukking |
| Mechanische bestrijding | zonodig vlakschoffelen | trilschoffelen en aanaarden |
| Chemische bestrijding | vóór opkomst: volvelds, ná opkomst: volvelds of rijenbespuiting | ná opkomst: rijenbespuiting |
| Dunnen/wieden | minimaal | minimaal |

### *12.3.3 Aardappelen*

Herbiciden vormen slechts een gering aandeel in het totale pakket pesticiden dat ingezet wordt in de aardappelteelt. Echter een niet onbelangrijk aandeel, gezien de grote schaal waarop met name in de pootaardappelteelt het loof chemisch gedood wordt. De beschikbare middelen hiervoor zijn of worden verboden vanwege hun persistentie of giftigheid (diquat, paraquat, dinoseb). Daarnaast vormen vele herbiciden een bedreiging voor het drinkwater, zoals aclonifen, metobromuron en metribuzin, of zijn zeer giftig, zoals dinoterb. Daarmee zijn de milieuveilige, chemische alternatieven zeer beperkt. De kosten voor onkruidbestrijding zijn gering in relatie tot de totale teeltkosten. Meestal wordt een herbicide ingezet op de ruggen vóór opkomst. Bij droog weer valt het resultaat vaak tegen. De probleemonkruiden zijn duizendknoopsoorten, zwarte nachtschade en kleefkruid.

Bij de rassenkeuze van aardappelen heeft naast het opbrengstvermogen en de kwaliteit vooral ook de resistentie tegen aardappelcystenaaltjes, aardappelziekte (*Phythophthora*) en virusziekten een absolute prioriteit. Snelheid van grondbedekking en bladrijkdom zijn bij de rassenkeuze dus van secundair belang. De ruggen worden pas vlak na de opkomst met een frees en aanaardplaat opgebouwd (tabel 12.6). Hierbij wordt het aanwezige eenjarige onkruid vernietigd. Hierna is de periode tot het sluiten van het gewas dusdanig kort, dat het gewas doorgaans het onkruid voldoende kan onderdrukken.

Bij de teelt van consumptie-aardappelen wordt meestal niet-voorgekiemd pootgoed gebruikt, waardoor het langer duurt tot sluiting van het gewas bereikt wordt. Hierdoor

Tabel 12.6. Hoofdelementen van de onkruidbestrijding in aardappelen.

| | *Gangbaar Systeem* | *Geïntegreerd Systeem* |
|---|---|---|
| Mechanische bestrijding | geen | verlate rugopbouw |
| Chemische bestrijding | bodem/contact herbicide, eventueel onderbladbespuiting | geen, eventueel onderbladbespuiting |
| Loofdoding | doodspuiten, al dan niet in combinatie met loopklappen (consumptie) of -trekken (pootgoed) | loofklappen (consumptie) of -trekken (pootgoed) al dan niet in combinatie met loofbranden, in noodgevallen doodspuiten (pootgoed) |
| Preventie opslag in volggewassen | niet-kerende grondbewerking (cultivateren na oogst) | niet-kerende grondbewerking (cultivateren na oogst) |
| Groenbemester | geen | ná pootaardappelen en indien mogelijk ná consumptie-aardappelen goed-dekkende groenbemester zoals gele mosterd |

kan bij consumptie-aardappelen een extra aanaardbewerking of een onderbladbespuiting noodzakelijk zijn. In plaats van chemische loofdoding wordt het aardappelloof in principe geklapt en getrokken (pootgoed), al dan niet in combinatie met loofbranden. Het laatste geschiedt met een nieuw ontwikkelde brander op propaangas, waarbij onder een gesloten kap van 3 meter breed en 1,5 meter lang een grote hitte wordt ontwikkeld door een serie stootbranders, begeleid door infrarood uitstralend gaas. De loofbrander wordt echter alleen ingezet als het gewas aangetast is door *Phythophthora.* Onder te natte omstandigheden is bij pootaardappelteelt een chemische loofdoding vooralsnog onontkoombaar. Een groenbemester als nateelt kan de onkruiden die nog kiemen na de zaaibedbereiding goed onderdrukken. Dit kan echter conflicteren met de eis van niet-kerende grondbewerking voor opslagbestrijding. Gele mosterd kan een compromis vormen, doordat deze gemakkelijk doodvriest en daarom bij uitsluitend cultivateren (over de vorst) meestal niet meer tot hergroei komt.

### *12.3.4 Overige gewassen*

De teelt van zaaiuien vereist een hoge inzet van herbiciden, omdat het gewas zelf nauwelijks concurrentiekrachtig is. Het meest gebruikte bodemherbicide propachloor is uitspoelingsgevoelig, pendimethalin is nogal persistent, difenoxuron zeer duur en qua werking sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Andere middelen en/of toepassingen zijn in meer of mindere mate fytotoxisch. Een geïntegreerde aanpak is nog niet uitgekristalliseerd in de afgelopen jaren. Wel is systematisch het gebruik van propachloor en pendimethalin vermeden. Voor opkomst van het traag kiemende uiengewas is in 1985 en 1987 de loofbrander ingezet om het onkruid te vernietigen, na opkomst werd geschoffeld (1985 en 1986) en een duur contactherbicide (difenoxuron) ingezet. Aanvullend was meer handwerk nodig dan gangbaar (zowel in eigen beheer als in loonwerk) om het onkruid de baas te blijven. Verder onderzoek onder andere naar de combinatie van schoffelapparatuur en rijenbespuitingen zal moeten uitwijzen wat de ideale aanpak is.

Bij de teelt van droge erwten is het onkruid ook moeilijk te beheersen, door de geringe concurrentiekracht van het gewas. Bentazon is uitspoelingsgevoelig en aan dinoseb kleven humaantoxische bezwaren, bovendien blijken vrijwel alle triazinen uitspoelingsgevoelig te zijn. Simazin, dinoseb en dinoseb-acetaat zijn vanaf 1989 dan ook niet meer toegelaten. Eigenlijk is chemische onkruidbestrijding, zeker in waterwingebieden, vrijwel onmogelijk aan het worden in dit gewas. In de afgelopen jaren is gepoogd de genoemde stoffen niet te gebruiken.

In 1988 is geëxperimenteerd met ruimere afstanden om mechanische onkruidbestrijding de ruimte te geven. Dit zowel op de OBS als te Borgerswold (Boerma & Wijnands, 1988) als in deelonderzoek op een zestal lokaties. Dit onderzoek dat nu ook voor gangbare systemen urgent is, zal tot bedrijfszekere en kosteneffectieve alternatieven moeten leiden.

De onkruidbestrijding in winterpeen veroorzaakt minder problemen voor het milieu. Gebruikelijk is een bodemherbicide in de periode tussen opbouw van de ruggen

Tabel 12.7. Hoofdelementen van de onkruidbestrijding in winterpeen.

| | *Gangbaar Systeem* | *Geïntegreerd Systeem* |
|---|---|---|
| Thermische bestrijding | geen | vóór opkomst |
| Mechanische bestrijding | geen | afaarden met afploegschijven, 1 à 2 maal 'trilschoffelen', aanaarden |
| Chemische bestrijding | vóór en ná opkomst, volvelds | enkel ná opkomst, rijenbespuiting |

en opkomst van het gewas. Eventueel wordt een contactmiddel voor opkomst ingezet, indien de werking van het bodemherbicide tegenvalt (toelating voor diquat en paraquat staat ter discussie). Na opkomst wordt volvelds een herbicide ingezet, veelal metoxuron. De kosten zijn ongeveer *f* 300,– per ha, soms meer. In de geïntegreerde aanpak is toepassing van een bodemherbicide voor opkomst weggelaten. In plaats daarvan werd voor opkomst de brander ingezet en na opkomst een herbicide gebruikt, vooraleerst echter nog volvelds (1985 en 1987). Schoffelen tussen de rijen completeerde deze aanpak. Aanvullend handwerk was met name in 1985 en 1987 nodig. Gebaseerd op deze ervaringen is voor de daarop volgende jaren de volgende aanpak geformuleerd: tussen zaai en opkomst van de traag kiemende winterpeen is er voor onkruid voldoende gelegenheid om te kiemen. Dit onkruid wordt net voor opkomst van de winterpeen volvelds met een onkruidbrander afgebrand (tabel 12.7). Na opkomst worden, afhankelijk van gewas- en onkruidstadium, de ruggen afgeëgd met schijven, waardoor onkruid tussen de rijen vernietigd wordt. Een rijenbespuiting completeert dit. Naar behoefte wordt dan de trilschoffel ingezet tussen de rijen. Vrij laat in het seizoen worden de ruggen weer aangeaard, waardoor zowel onkruid bestreden wordt, als het risico van groene koppen tegengegaan wordt. Met deze aanpak zijn in 1988 goede resultaten behaald.

## 12.4 Voorlopige resultaten

Alle hieronder te bespreken resultaten zijn jaarlijkse gemiddelden per ha over de periode 1985–1987. In de hoofdgewassen werden 1,7 chemische maatregelen per perceel uitgevoerd op het geïntegreerde bedrijf tegen 3,6 op het gangbare bedrijf (tabel 12.8). Over het gehele bouwplan was dit respectievelijk 2,0 en 3,4. Uitgedrukt in kg werkzame stof per ha werd de inzet van herbiciden over de hoofdgewassen verlaagd van 4,3 tot 1,25 (71 % reductie) en gemiddeld over het hele bouwplan van 4,61 tot 1,75 (61 % reductie).

Uit tabel 12.9 blijkt dat het aantal gebruiksuren van de veldspuit in het geïntegreerde bedrijf met 60–70 % gereduceerd is. Daar staat een lichte toename (25 %) tegenover van het gebruik van de rijenspuit en van de schoffelapparatuur. Aan handwerk werd

Tabel 12.8. Gemiddelde herbicidegebruik over de jaren 1985-1987 in het gangbare (GA) en geïntegreerde (GI) systeem (relatieve waarden tussen haken).

| *Gewassen* | *Aantal maatregelen/perceel* | | *Werkzame stof (kg/ha)* | |
|---|---|---|---|---|
| | *GA* | *GI* | *GA* | *GI* |
| Consumptie-aardappel | 2,3 | 0,0 | 2,9 | 0,0 ( 0) |
| Pootaardappel | 3,0 | 0,7 | 4,0 | 0,9 (23) |
| Suikerbieten | 4,3 | 2,7 | 4,7 | 1,8 (38) |
| Wintertarwe | 3,7 | 2,0 | 4,8 | 1,5 (31) |
| Hoofdgewassen gemiddeld | 3,6 | 1,7 | 4,3 | 1,3 (29) |
| Erwten | 4,0 | 4,3 | 4,7 | 4,2 (89) |
| Uien | 2,7 | 2,7 | 9,7 | 2,9 (30) |
| Winterpeen | 1,7 | 0,7 | 2,9 | 1,6 (55) |
| Bouwplan gemiddeld | 3,4 | 2,0 | 4,6 | 1,8 (39) |

Tabel 12.9. Gemiddelde inzet per jaar over de jaren 1985–1987 in de onkruidbestrijding van (1) eigen arbeid en machines (uren/ha) en (2) loonwerk (guldens/ha).

| | *Gangbaar Systeem* | | *Geïntegreerd Systeem* | |
|---|---|---|---|---|
| | *totaal* | *hoofdgewassen* | *totaal* | *hoofdgewassen* |
| *1. Eigen arbeid en machines* | | | | |
| Veldspuit | 1,70 | 1,39 | 0,73 | 0,37 |
| Rijenspuit | 0,25 | 0,33 | 0,42 | 0,56 |
| Schoffel (+ aanaarden) | 0,93 | 0,97 | 1,24 | 1,14 |
| Handwieden | 5,07 | 4,03 | 7,34 | 5,86 |
| Pleksgewijs chemisch | 0,78 | 0,56 | 0,73 | 0,50 |
| Subtotaal 1 | 8,73 | 7,28 | 10,46 | 8,43 |
| *2. Loonwerk* | | | | |
| Schoffelen | 2,60 | 0 | 19,06 | 0 |
| Loofdoding* | 31,38 | 41,83 | 30,81 | 41,08 |
| Wieden | 15,25 | 20,33 | 37,40 | 12,89 |
| Spuiten | 5,00 | 6,75 | 0 | 0 |
| Thermisch (onkruidbestrijding) | 0 | 0 | 12,71 | 0 |
| Subtotaal 2 | 54,23 | 68,91 | 99,98 | 53,97 |

* Thermisch (aardappel) inclusief gaskosten, chemisch of mechanisch.

in het geïntegreerde systeem bijna 50 % meer tijd besteed (2,5 uur per ha). Het aantal bestede uren aan plekgewijze bestrijding van overblijvende onkruiden daarentegen verschilde niet. In de hoofdgewassen waren de loonwerkkosten voor loofdoding en wieden nauwelijks verschillend. In de kleinere gewassen daarentegen was met name het loonschoffelen en wieden duurder, waardoor de totale loonwerkkosten voor het geïn-

Tabel 12.10. Toegerekende kosten (guldens/ha) en eigen arbeid (uren/ha) van de onkruidbestrijding per jaar, gemiddeld over de jaren 1985–1987, in het gangbare (GA) en geïntegreerde (GI) systeem voor diverse gewassen.

| | *Consumptie-aardappel* | | *Pootaardappel* | | *Suikerbiet* | | *Wintertarwe* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *GA* | *GI* | *GA* | *GI* | *GA* | *GI* | *GA* | *GI* |
| Herbiciden | 230 | 0 | 282 | 69 | 424 | 244 | 164 | 102 |
| Loonwerk* | 169 | 145 | 123 | 102 | 61 | 39 | 0 | 0 |
| Totaal toegerekende kosten | 399 | 145 | 405 | 171 | 485 | 283 | 164 | 102 |
| Arbeidsuren | 1,42 | 1,17 | 2,58 | 0,58 | 18,33 | 23,42 | 1,50 | 1,00 |

* Thermisch inclusief gas.

tegreerde bouwplan ongeveer *f* 50,– per ha hoger uitvielen. Het wieden in loonwerk dient echter kritisch te worden bekeken, aangezien dit wellicht in een praktijksituatie in eigen arbeid verricht zou kunnen worden.

In de uienteelt was de experimentele benadering duurder, echter zeer veel milieuvriendelijker (tabel 12.8). In de erwtenteelt leidde de aanpak, mede door achterstallige bestrijding van overblijvende onkruiden, in 1985 tot hogere kosten en werd het herbicidengebruik amper gereduceerd. In de winterpeenteelt werden de middelenkosten en de milieubelasting sterk gereduceerd, echter deze besparingen werden door de kosten van schoffelbewerkingen en wieden in loonwerk ongedaan gemaakt (inmiddels met eigen machine).

Tabel 12.10 illustreert dat de toegerekende kosten van de onkruidbestrijding (herbiciden en loonwerk) in de consumptie-aardappelen-, pootaardappelen-, suikerbieten- en tarweteelt respectievelijk *f* 254,–; *f* 234,–; *f* 202,– en *f* 62,– lager waren in het geïntegreerde systeem. Daar stonden alleen in de suikerbietenteelt extra eigen arbeidsuren (5 per ha) tegenover.

Uit tabel 12.11 tenslotte blijkt dat voor het OBS-bouwplan de gemiddelde kosten over de hoofdgewassen *f* 170,– per ha per jaar lager waren in het geïntegreerde

Tabel 12.11. Toerekende kosten (guldens/ha) en eigen arbeid (uren/ha) van de onkruidbestrijding per jaar, gemiddeld over de jaren 1985–1987.

| | *Gangbaar Systeem* | | *Geïntegreerd Systeem* | |
|---|---|---|---|---|
| | *hoofdgewassen* | *bouwplan* | *hoofdgewassen* | *bouwplan* |
| Herbiciden | 281 | 282 | 127 | 177 |
| Loonwerk | 69 | 54 | 54 | 100 |
| Totaal toegerekende kosten | 350 | 336 | 181 | 277 |
| Arbeidsuren | 7,28 | 8,73 | 8,43 | 10,46 |

systeem met 1,1 uur per ha meer arbeid en dat dit voor het totale bouwplan respectievelijk *f* 60,– en 1,7 uur per ha bedroeg. De financiële resultaten van de gehele bedrijfsvoering waren voor het geïntegreerde bedrijf over de periode eveneens beter dan voor het gangbare bedrijf, dankzij kostenbesparingen die meer dan voldoende compenseerden voor de meestal lagere opbrengsten (Meijer & Lalkens, 1988).

## 12.5 Discussie

Uit de resultaten blijkt dat door een geïntegreerde aanpak van de onkruidbestrijding, de inzet van herbiciden en daarmee de milieubelasting, drastisch gereduceerd kan worden, zonder dat dit tot hogere kosten leidt. Integendeel, over de hoofdgewassen (1985–1987) werd gemiddeld *f* 170,– per ha per jaar bespaard. Daar stond een toename van de arbeidsbehoefte van 1,1 uur per ha op jaarbasis tegenover. Over het algemeen was het effect van de bestrijdingsstrategie goed, zowel op korte als lange termijn.

In de aardappelteelt doet mogelijk het verlate tijdstip van rugopbouw schade door beschadiging van wortels en wordt mogelijk het risico vergroot voor verspreiding van ziekten. Met ingang van 1987 is dit tijdstip vervroegd om hieraan tegemoet te komen. Daardoor nemen echter de risico's voor veronkruiding en daarmee de noodzaak van corrigerende ingrepen toe. In de suikerbietenteelt is de juiste keuze van het tijdstip van rijenbespuitingen essentieel. Onvolkomenheden hierin noodzaakten tot een hogere inzet van eigen arbeid in de afgelopen jaren.

De selectiedruk op de onkruidpopulaties is geringer in de geïntegreerde teelt dan in de gangbare. Verschuivingen in onkruidpopulaties tussen de systemen beginnen zichtbaar te worden. Dit zal in de komende jaren gekwantificeerd dienen te worden. Een definitief beeld van een machinepark van een geïntegreerd systeem is nog niet te geven. Wel is duidelijk dat een deugdelijke rijenspuit en goede schoffelapparatuur daarin niet mogen ontbreken. Ook bij geïntegreerde onkruidbestrijding is bedrijfszekerheid belangrijk. Mechanische onkruidbestrijding is immers sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Daarom wordt chemische bestrijding altijd als eventuele noodmaatregel achter de hand gehouden. Regelmatige gewasinspectie en een deskundig, slagvaardig optreden met goed afgestelde en verzorgde apparatuur is onontbeerlijk bij deze curatief gerichte aanpak. Er worden dus hoge eisen aan het vakmanschap van de ondernemer gesteld.

Binnen een geïntegreerde bedrijfsvoering kunnen aspecten van de onkruidbestrijding strijdig zijn met andere teeltmaatregelen. De gehele teeltmethode dient echter zo ingericht te zijn dat maatregelen op verschillende terreinen elkaar versterken. Zo kan de gewenste bladrijkdom, voor de onderdrukking van onkruid, indirect de ziektegevoeligheid van het gewas stimuleren. Indien echter de onkruidonderdrukking van een gewas onvoldoende blijkt te zijn om chemische ingrepen te vermijden en er geen mechanische mogelijkheden zijn door een te nauwe rijenafstand, dan dient gezocht te worden naar een teeltwijze met een ruimere rijenafstand. Onkruidonderdrukking in de rij blijft dan echter belangrijk (snelheid begingroei, bladrijkdom) en wel des te meer naarmate het betreffende gewas en grondtype minder mogelijkheden biedt om

te eggen of aan te aarden. Een vergroting van de rijenafstand kan bovendien de bladnatperiode van het gewas en daarmee de ziektekansen verminderen. Dit wordt momenteel onderzocht voor granen, graszaad en erwten. Het intensieve gebruik van groenbemesters in de stoppel, mede ter onderdrukking van eenjarig onkruid, kan een gerichte stoppelbewerking of chemische behandeling tegen overblijvende onkruiden in de weg staan. Dit laatste onkruid wordt in een geïntegreerde bedrijfsvoering in iedere teelt plekgewijs chemisch behandeld (glyfosaat). Daardoor is een aanvankelijke toename van deze onkruiden tot staan gebracht en vermindert de druk de laatste twee jaren weer. Door uitstel van het zaaien vooral van wintertarwe ontsnapt men niet alleen aan onkruiden, maar ook aan ziekten en plagen.

Voor de kleinere akkerbouwgewassen zijn in tegenstelling tot de genoemde hoofdgewassen nog geen bedrijfszekere scenario's tot stand gekomen. De elementen voor deze scenario's zijn echter deels voorhanden en deels in onderzoek bij gewas- en onkruiddeskundigen. De huidige apparatuur voor mechanische, thermische en ook chemische bestrijding kan nog aanzienlijk worden verbeterd, waarbij effectiviteit van de bewerking en flexibiliteit van de afstelling van groot belang zijn. De belangstelling van de landbouwwerktuigenindustrie neemt toe. Nieuwe machines worden in deelonderzoek beproefd.

Het aantal betrouwbare elementen van een geïntegreerde benadering zal zich verder uitbreiden. Deze dienen dan op teelt- en bedrijfsniveau ingepast en getoetst te worden. Dit gebeurt zowel op de OBS als op de twee andere lokaties voor bedrijfssystemenonderzoek, Borgerswold bij Veendam en het ROC Vredepeel. Dit onderzoek naar onkruidbestrijdingssystemen die minder afhankelijk zijn van chemische middelen, wordt sterk gestimuleerd door de toenemende bewustwording en informatiestroom over de milieubelasting die met name herbiciden veroorzaken, zeker voor wat betreft de drinkwaterkwaliteit (Martijn & Kreutz, 1988).

Gezien deze problematiek en de beschreven toenemende kosten voor een niet altijd meer even effectieve beheersing van onkruidpopulaties, lijkt geïntegreerde onkruidbestrijding een perspectiefrijk onderdeel van een innovatieve, op de toekomst gerichte, duurzame, 'geïntegreerde' landbouw.

## Literatuur

Anonymus, 1977. Vers la production agricole integrée par la lutte integrée. An approach towards integrated agricultural production through integrated plant protection. IOBC/WPRS Bulletin 1977/4.

Boerma, J. & F.G. Wijnands, 1988. Het bedrijfssystemenonderzoek op het proefproject Borgerswold te Veendam: opzet en eerste resultaten. Themaboekje Geïntegreerde Bedrijfssystemen. PAGV, Lelystad: 29–43.

Darwinkel, A., 1981. Kanttekeningen bij de zaaizaadhoeveelheid en zaaitijd van wintertarwe. Bedrijfsontwikkeling 6: 623–625.

Koch, W., 1979. Establishment of integrated control systems. Eppo Bull. 9: 107–118.

Fryer, J.D. & S. Matsunaka (Eds), 1977. Integrated control of weeds. University of Tokyo Press, Tokyo.

Martijn, Th.G. & R.H.F. Kreutz, 1988. Bestrijdingsmiddelen: een plaag voor de drinkwatervoorziening. $H_2O$ 22: 659–661.

Meijer, B.J.M. & R.H. Lalkens, 1988. Economische analyse van de bedrijfssystemen op het proefbedrijf OBS. Themaboekje Geïntegreerde Bedrijfssystemen. PAGV, Lelystad: 57–72.

Smith, R.F., & H.T. Reynolds, 1966. Principles, definition and scope of integrated pest control. Symp. on Integrated Pest Control (Roma, 1965), FAO, 1: 11–17.

Spiertz, H.J.H. & P.H. Vereijken, 1988. Geïntegreerde produktiesystemen: oplossing voor een meervoudige landbouwproblematiek. Landbk. Tijdschr. 100: 27–28.

Steiner, H., 1966. General techniques of integration. Symp. on Integrated Pest Control (Roma, 1965), FAO, 2: 13–20.

Stern, V.M., R.F. Smith, R. van den Bosch, & K.S. Hagen, 1959. The integrated control concept. Hilgardia 29: 81–101.

Vereijken, P., C. Edwards, A. El Titi, A. Fougeroux, & M. Way, 1986. Report of the study group 'Management of farming systems for integrated control'. IOBC/WPRS Bull. 1986/2.

Vereijken, P., 1987. Van geïntegreerde bestrijding naar geïntegreerde landbouw. Landb. Tijdschr. 5: 19–21.

Wijnands, F.G., 1988. Proefbedrijf Ontwikkeling Bedrijfs Systemen (OBS), opzet onderzoek en resultaten. Themaboekje Geïntegreerde Bedrijfssystemen, PAGV, Lelystad: 12–28.

# 13 Watergangen

Hogere waterplanten omvatten vier functionele groepen, namelijk: submerse, in de bodem wortelende planten met drijfbladeren, drijvende en emerse planten. Hun groeisnelheid is afhankelijk van hun levenswijze, die bepaalt of de planten meer of minder gemakkelijk over voldoende licht en voedingsstoffen kunnen beschikken. De planten die veel biomassa in de waterkolom produceren, veroorzaken de meeste weerstand ten aanzien van waterstroming en kunnen daarom een risico betekenen voor de waterkwantiteitsbeheerder. De taak van de waterkwaliteitsbeheerder wordt juist vaak verlicht door de nutriëntenbindende en andere functies van waterplanten. Beheersing van de groei van waterplanten heeft vooral mechanisch en in mindere mate biologisch en chemisch plaats. Er wordt gezocht naar mogelijkheden om de onderhoudskosten van watergangen te beperken.

## 13.1 Waterplanten en hun rol in watergangen (E.P.H. Best)

### *13.1.1 Waterplanten en hun belangrijkste groeifactoren*

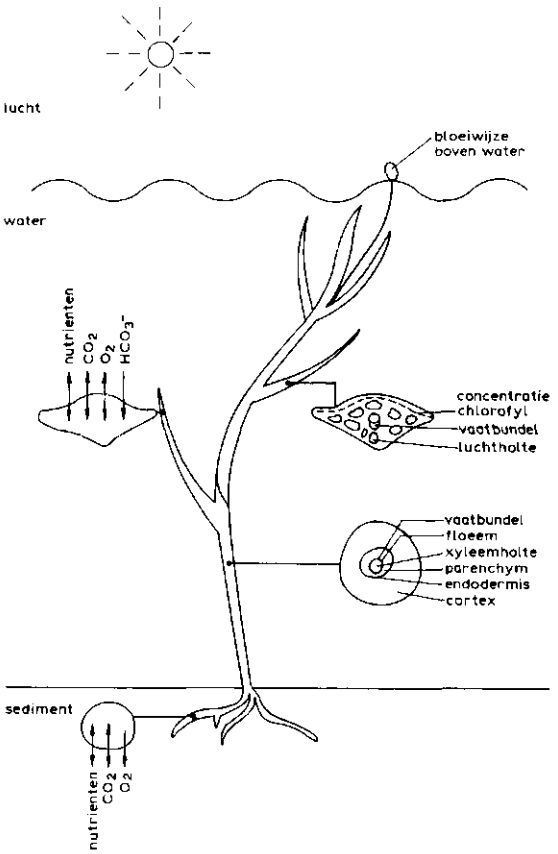
#### 13.1.1.1 Waterplanten

Onder hogere waterplanten verstaat men gewoonlijk de macroscopisch zichtbare, in het water levende bloemplanten. Ook macroscopisch en in het water levend, maar apart onderscheiden, zijn lagere waterplanten zoals draadwieren, macro-algen en mossen. Daarnaast zijn er vele lagere waterplanten die alleen microscopisch zichtbaar zijn.

De hogere waterplanten worden in verschillende functionele groepen ingedeeld, afhankelijk van hun levenswijze (figuur 13.1):

- in de bodem wortelende ondergedoken (submerse) waterplanten;
- in de bodem wortelende planten met drijfbladeren;
- drijvende planten;
- in de bodem wortelend met bladeren boven het wateroppervlak uitstekend of emerse waterplanten.

Submerse waterplanten betrekken hun nutriënten uit het omringende water en uit de bodem. Van deze kunnen de rizofyten, waterplanten met een in de bodem doordringend wortelstelsel, beschikken over de nutriënten in (het poriewater van) de bodem. De pleustofyten zweven in het water. De haptofyten hebben weliswaar organen om zich in de bodem te verankeren, maar deze organen hebben geen opnamefunctie. De drijvende waterplanten nemen nutriënten uit het water op. Alle andere waterplanten




Figuur 13.1. Schematische weergave van het fysisch-chemisch milieu van submerse, drijvende en emerse waterplanten.

nemen nutriënten uit de bodem op, maar het voor hun fotosynthese benodigde $CO_2$ (grotendeels) uit de lucht.

### 13.1.1.2 Het fysisch milieu

Licht bepaalt in sterke mate de groei van planten. De kleur reguleert de uiteindelijke vorm van de plant, terwijl de lichthoeveelheid de groei in sterke mate stuurt. Het lichtklimaat onder water wordt niet alleen bepaald door bijvoorbeeld breedtegraad, seizoen en eventuele onderschepping door omringende bomen, evenals bij landplanten, maar ook door het water zelf. In het water zorgen levende dan wel dode deeltjes (algen en detritus) voor kleurschifting en lichtdoving. Binnen de diverse waterplantenvegetatietypen wordt het licht nog verder uitgedoofd door het perifyton en door de planten zelf. Perifyton is het met de waterplant geassocieerde complex van levende en dode deeltjes (bacteriën, algen en detritus).

Temperatuur beïnvloedt vele biologische processen, elk met hun eigen specifieke

optimum. Temperatuurverhoging kan de groei versnellen van een plant die beneden zijn optimale temperatuur groeit. Hogere temperaturen vertragen de groei echter. Groei is het nettoresultaat van onder andere de opname, het interne verbruik en de afgifte van koolstof (fotosynthese, koolstofmetabolisme en ademhaling). De ademhaling is van deze processen het gevoeligst voor wisselingen in temperatuur: deze verdubbelt met elke 10 °C temperatuurverhoging. De temperatuur fluctueert in het water meestal minder dan op het land.

Waterbewegingen bepalen in sterke mate de verspreiding van onder water groeiende planten. Bij hoge snelheden (>5 m per s) komen alleen haptofyten voor. Bij lagere stroomsnelheden (<1 m per s) overheersen nog steeds de haptofyten, niet zozeer vanwege de stroomsnelheid zelf, als wel door het ontbreken van geschikt sediment om in te wortelen. Bij stroomsnelheden variërend van 0,5–1 m per s komen vele verschillende soorten rizofyten voor. De stroomsnelheid bepaalt niet alleen de wijze waarop de waterplanten in de bodem verankerd zijn, maar ook de beschikbaarheid van nutriënten voor zover deze uit het vrije water opgenomen worden. Lage stroomsnelheden, zoals tussen 0–0,5 m per s, veroorzaken dikke, ongemengde waterlagen waarbinnen langzame diffusieprocessen de opnamesnelheid van de nutriënten beperken.

De zuurstof in het water is essentieel voor alle ademhalende organismen. De zuurstofconcentratie is een resultante van uitwisseling aan het wateroppervlak, fotosynthese en ademhaling van waterplanten, en van andere zuurstofverbruikende processen. In dichte waterplantenvegetatietypen treden aanzienlijke fluctuaties in zuurstofconcentratie op als gevolg van stofwisselingsactiviteit van de planten en hun perifyton. Hoge zuurstofconcentraties verlagen de nettofotosynthese door bevordering van de lichtademhaling. Waterplanten zijn in staat om korte zuurstofloze perioden te overleven door opslag en transport van zuurstof in hun gasholtesysteem of door appelzuur als koolstofbron voor hun fotosynthese te gebruiken. Of langdurige zuurstofloosheid alléén de afwezigheid van waterplanten kan veroorzaken, is niet duidelijk, daar deze situatie vaak samen gaat met ophoping van het voor planten giftige sulfide en afnemende helderheid van het water – beide schadelijke factoren.

### 13.1.1.3 Nutriënten

Onder water groeiende planten zijn voor de koolstof voor hun fotosynthese grotendeels aangewezen op het water. In water is de anorganische koolstof aanwezig in de vorm van koolzuurgas ($CO_2$), bicarbonaat ($HCO_3^-$) en carbonaat ($CO_3^{--}$), die in pH-afhankelijk evenwicht met elkaar zijn. De concentratie van koolzuur in water is 20 maal lager (bij 15 °C) en de diffusiesnelheid $10^4$ maal langzamer dan in lucht. Om de plant heen bevindt zich een grenslaag die de koolstofdeeltjes moeten passeren om de plant te bereiken. De uitwendige weerstand die deze grenslaag voor de koolstofopname van de submerse waterplant vormt, is veel hoger dan de gasvormige grenslaag bij de overige water- en landplanten. De effectieve dikte van deze grenslaag is afhankelijk van de stroomsnelheid van het water en de ruwheid van het plantoppervlak. Bij zeer lage stroomsnelheden is deze grenslaag dik. De koolstofbeschikbaarheid in het

water is afhankelijk van de totaal anorganische koolstofconcentratie en pH. Bij hoge pH is de koolstof grotendeels in de vorm van bicarbonaat aanwezig, bij lage pH als koolzuur. De onder water groeiende planten kunnen in principe beide vormen opnemen, maar hebben wel voorkeur: er is een bicarbonaat- en een $CO_2$-minnende groep. Binnen deze groepen zijn ook nog voorkeuren voor bepaalde concentratiebereiken te onderscheiden. Boven water uitgroeiende planten nemen $CO_2$ uit de lucht op, terwijl planten met drijvende bladeren vaak zowel koolstof uit het water als uit de lucht betrekken.

Andere nutriënten, zoals stikstof (N) en fosfaat (P), worden uit oplossingen opgenomen. De nutriëntenconcentraties zijn meestal lager in het omringende water dan in het poriewater en in het sediment is de waterverplaatsing veel langzamer (diffusie) dan in het oppervlaktewater (massatransport). Bovendien is de bodem vaak zuurstofloos, waardoor de zuurstofvereisende opname van nutriënten in niet-groene plantedelen belemmerd wordt.

Het celmateriaal van alle planten heeft een min of meer constante verhouding tussen de elementen koolstof, stikstof, waterstof en fosfor, namelijk C:H:N:P=106:20:16:1. Dit betekent dat, als deze elementen in een andere verhouding in de omgeving van de plant voorkomen, één ervan het eerst uitgeput raakt en dus groeibeperkend wordt (Best, 1982).

### *13.1.2 Overlast veroorzakende waterplanten in watergangen*

#### 13.1.2.1 Watergangen en hun functies

De meeste watergangen zijn min of meer begroeid met waterplanten, die door hun aanwezigheid de functies van de watergang beïnvloeden.

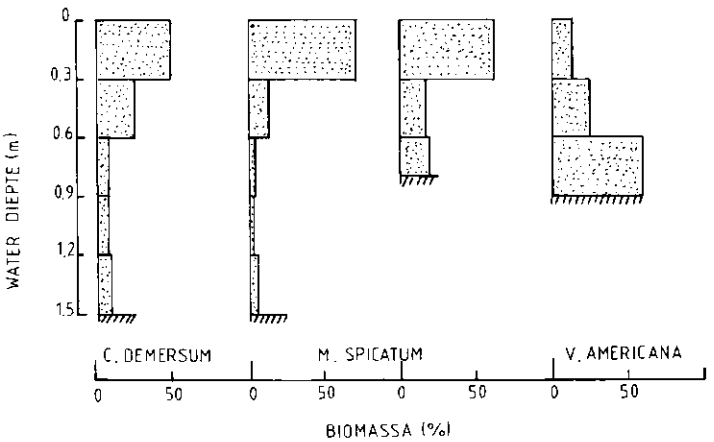
De belangrijkste functies van watergangen zijn:
- transport van water van een acceptabele kwaliteit en
- dienst doen als waardevol landschapselement.

De afvoer van water komt veelal op de eerste plaats. Daarnaast is de aanvoer van water in droge perioden ook van belang. Op de technische aspecten van het watertransport in watergangen wordt nader ingegaan in paragraaf 13.2. De waterpeilen variëren gedurende het jaar: ze zijn laag in de winter om voldoende afvoer te garanderen en worden verhoogd in het voorjaar om het water te conserveren voor de verwachte droge perioden in de zomer.

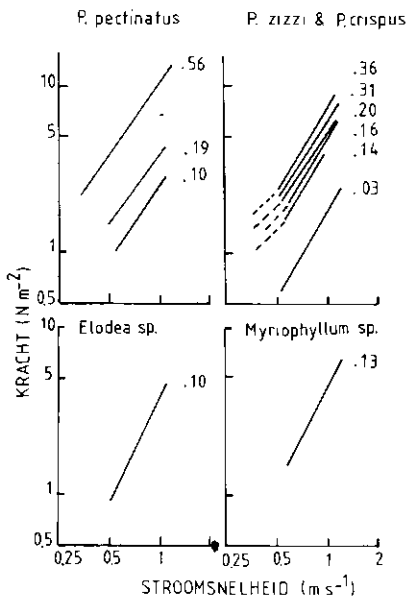
#### 13.1.2.2 Waterplanten en waterstroming

De watervoering wordt relatief het sterkst geremd door waterplanten die zich geheel of grotendeels onder het wateroppervlak bevinden. Dit betreft de groep van de submerse waterplanten. Voor elke groep geldt echter dat naarmate de begroeiing dichter is, de weerstand toeneemt. Dit houdt in dat omstandigheden die een hoge biomassavorming bevorderen, ook de weerstand in de watergang doen toenemen.

De weerstand die submerse planten ten aanzien van de waterstroming veroorzaken, is soortspecifiek en afhankelijk van de aanstroomsnelheid van het water en van de omvang van de vegetatie. De soortspecificiteit wordt bepaald door de morfologie van de plant (Westlake, 1964), de diepteverdeling van de plantenmassa (figuur 13.2) en de elasticiteit van het planteweefsel (figuur 13.3). De twee laatstgenoemde eigenschappen




Figuur 13.2. Verdeling van de biomassa over de waterkolom van drie ondergedoken waterplanten: hoornblad (*Ceratophyllum demersum* L.), aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum* L., bij twee verschillende waterdieptes) en Vallisneria (*Vallisneria americana*) (naar Titus, 1977).



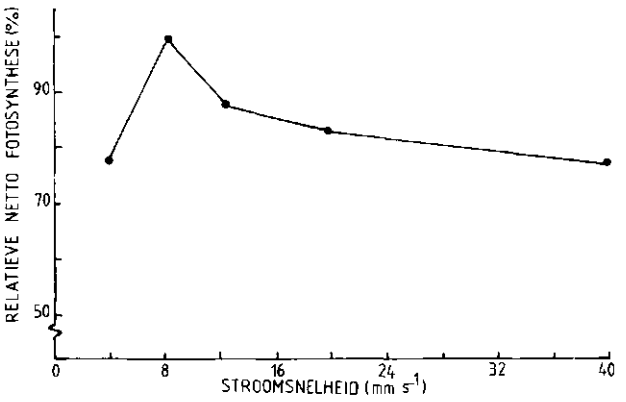

Figuur 13.3. Het verband tussen de stroomsnelheid en de kracht die op een plant werkt (N $m^{-2}$) gemeten bij verschillende soorten ondergedoken waterplanten. Het effect van variaties in biomassa binnen de soort werd bovendien bestudeerd bij fonteinkruiden (*Potamogeton pectinatus*, *P. zizzi* en *P. crispus*) (naar Dawson & Robinson, 1984).

van de plant variëren met het groeistadium ofwel de leeftijd van de plant (Dawson, 1978; Best & Visser, 1987).

Bij hogere stroomsnelheden kan overstroming van de vegetatie optreden waardoor de weerstand weer afneemt, hetgeen sneller gebeurt bij buigzame, grasachtige groeivormen dan bij stugge, veelvuldig vertakte planten (bijvoorbeeld gedoornd hoornblad, *Ceratophyllum demersum*). Vaak echter, zoals bij de laatstgenoemde soort, treden dan ook andere verschijnselen op zoals 'ontworteling', waardoor de planten zich in nauwe doorgangen ophopen en de transportbaan verstoppen.

De stroomsnelheid beïnvloedt op haar beurt ook de groei van submerse waterplanten. Dit gebeurt door middel van effecten op de snelheid waarmee de nutriënten de plant passeren en opgenomen worden (figuur 13.4) en op de morfologie van de plant.

Hoewel de submerse waterplanten vermoedelijk een relatief hogere weerstand hebben dan drijvende planten en in de bodem wortelende planten met drijfbladeren of emerse bladeren (Zwietering, 1986), kan de weerstand van beide laatstgenoemde groepen ook aanzienlijk zijn en variëren met het groeiseizoen en de waterafvoer (tabel 13.1). Bovendien bezitten de stengels van de emerse planten meestal meer steunweefsel dan de andere onderscheiden groepen planten, dat moeilijker en dus langzamer biologisch afbreekbaar is (Meulemans, 1989). De restanten van deze vegetaties, de zogenoemde stoppels (bijvoorbeeld riet, *Phragmites australis*), dragen ook buiten het groeiseizoen en nog enige tijd na het jaar waarin ze gevormd werden bij tot de weerstand ten aanzien van de watervoering (Van Ieperen & Herfst, 1985).




*Figuur 13.4.* Het verband tussen stroomsnelheid en netto fotosynthesesnelheid (relatieve waarden) bij moerassterrekroos (*Callitriche stagnalis* Scop.). De temperatuur was 10 °C, de lichtflux 300 $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, de vrije $CO_2$-concentratie 640 $\mu$mol/l. De maximum fotosynthesesnelheid was 1040 $\mu$mol C per g D.S. per uur (naar Madsen & Sondergaard, 1983).

Tabel 13.1 Weerstandscoëfficiënten berekend bij een waterdiepte van ca. 0,6 m en twee verschillende afvoeren voor vegetaties van witte waterlelie (*Nymphaeae alba*), drijvend fonteinkruid (*Potamogeton natans*) en riet (*Phragmites australis*) met stengeldichtheden van resp. 60, 200 en 64 per $m^2$ (naar Van Ieperen & Herfst, 1985).

| *Vegetatie* | *Afvoer (Q)* $(m^3 \cdot s^{-1})$ | *Verhang* $(S_H)$ $(\times 10^3)$ | *Reynolds getal* $(\times 10^2)$ | *Weerstandscoëfficiënt plantemateriaal* $(\vartheta)$ |
|---|---|---|---|---|
| *N. alba* | 0,030 | 0,0552 | 1,824 | 9,3 |
| | 0,130 | 0,2983 | 6,101 | 4,8 |
| *P. natans* | 0,030 | 1,2034 | 0,528 | 26,1 |
| | 0,130 | 0,5458 | 1,767 | 7,9 |
| *P. australis* | 0,030 | 0,5724 | 1,135 | 37,2 |
| | 0,130 | 1,6140 | 3,543 | 17,5 |

### 13.1.2.3 Waterplanten en de kwaliteit van oppervlaktewater en van de watergangen zelf

Het voorkomen van waterplanten wordt in sterke mate bepaald door de kwaliteit van de bodem en van het oppervlaktewater, waarvan de laatstgenoemde sterk onder invloed van beheersmaatregelen staat.

Soortenrijkdom en het veelvuldig voorkomen van zeldzame soorten worden in het algemeen als indicatoren voor een hoge natuurwaarde beschouwd. Natuurgebieden worden hier dan ook door gekarakteriseerd. De standplaatsen in deze gebieden hebben gewoonlijk een voedselarme bodem, een lage mineralisatiesnelheid en relatief voedselarm water. Watergangen kunnen zeer diverse vegetatietypen herbergen. De hier voorkomende soorten belemmeren de watervoering in het algemeen slechts in geringe mate, daar ze niet overmatig veel biomassa vormen. Landbouwgebieden worden in de regel gekarakteriseerd door een lage soortendiversiteit en algemene soorten. De standplaatsen zijn relatief homogeen, hebben een eutrofe bodem, hoge mineralisatiesnelheden en eutroof water. Hier kunnen de waterplanten de watervoering juist in sterke make belemmeren door hun vaak excessieve biomassavorming.

Enerzijds bepaalt het milieu het voorkomen en de groei van waterplanten maar anderzijds beïnvloeden de planten ook hun omgeving in fysisch opzicht (lichtuitdoving, temperatuur, waterbewegingen, uitbreiding kolonisatie-oppervlak), in chemisch opzicht (opname en afgifte van zuurstof, anorganische en organische koolstof, en nutriënten) en biologisch opzicht (onderdak voor epifyten, grazers, detrituseters en vissen). Veranderingen in het waterplantenbestand hebben dus ook veranderingen in deze functies tot gevolg.

Zo kan onder relatief voedselarme omstandigheden de vervanging van bloemplanten door watermossen ten gevolge van verzuring leiden tot lagere afbraaksnelheden in het ecosysteem en een toename in de diffusie van fosfaat, ijzer- en andere metaalionen naar de waterkolom. De toename in fosfaat kan de groei van pelagische en vastgehechte algen stimuleren, waarbij de laatste groep mogelijk door zijn afdekkende eigen-

schappen deze diffusie weer grotendeels te niet doet. Het vrijkomen van metaalionen in de waterkolom kan echter deze groeistimulerende effecten op algen maskeren door de toxische werking ervan.

Een toename in de biomassa van submerse waterplanten kan leiden tot een toename in produktiviteit van het hele aquatische ecosysteem door stimulering van de fosforcirculatie vanuit het poriewater van het sediment en door effecten op vissen. Het fosfaat wordt door de planten opgenomen vanuit het sediment, komt in de loop van het jaar weer uit de afstervende plantedelen vrij in de waterkolom en stimuleert zo de groei van pelagische en vastgehechte algen. Meer plantebiomassa houdt betere paaimogelijkheden voor vissen in, en dus meer vis, waardoor meer zoöplankton en algengrazende macrofauna wordt weggegeten. Ook hierdoor wordt de algengroei gestimuleerd. Het omgekeerde gebeurt bij het regelmatig verwijderen van biomassa, zoals bij het schonen. Dit zal dus uiteindelijk leiden tot een verarming van het aquatische ecosysteem, tenzij van buiten het systeem nutriënten, maar dan wel in de juiste proporties, worden toegevoerd.

Onder voedselrijke omstandigheden kunnen emerse planten, zoals riet (*Phragmites australis*) en biezen (*Scirpus* spp.), effectief nutriënten uit het water verwijderen en daardoor een kwaliteitsverbetering teweegbrengen. Door hun wortelactiviteit op het grensvlak bodem-water zorgen ze voor een volledige afbraak van stikstof bevattende componenten en uiteindelijke verwijdering uit het water in de vorm van elementaire stikstof, die naar de lucht ontwijkt. Bovendien doen ze fosfaat neerslaan in onoplosbare zouten in het sediment, waardoor het ook uit de waterkolom verdwijnt.

Veranderingen in het milieu zijn, althans in dichtbevolkte gebieden, vaak het gevolg van menselijk ingrijpen. De momenteel toegepaste en onderzochte beheersmaatregelen ten aanzien van waterplanten in watergangen, en de daaraan verbonden kosten in Nederland worden besproken in paragraaf 13.2.

**Samenvatting**

Hogere waterplanten omvatten vier functionele groepen, namelijk: submerse, in de bodem wortelende planten met drijfbladeren, drijvende en emerse planten. Hun groeisnelheid is afhankelijk van hun levenswijze, die bepaalt of de planten meer of minder gemakkelijk over voldoende licht en voedingsstoffen kunnen beschikken.

De planten, die veel biomassa in de waterkolom produceren veroorzaken de meeste weerstand ten aanzien van de waterstroming en kunnen daarom een risico betekenen voor de waterkwantiteitsbeheerder. De taak van de waterkwaliteitsbeheerder wordt juist vaak verlicht door de nutriëntenbindende en andere functies van waterplanten.

## 13.2 Beheer van waterlopen (R.H. Pitlo)

### *13.2.1 Inleiding*

Het beheer van waterlopen wordt van oudsher uitgevoerd om de watertransportfunctie te waarborgen. De inzichten met betrekking tot de wijze van onderhoud zijn echter de laatste jaren aan het veranderen. Het idee dat een waterloop altijd 'schoon' (lees: vrij van begroeiing) moet zijn om water te kunnen transporteren is onjuist en uit oogpunt van natuurbehoud ongewenst. Er zijn tegenwoordig meerdere belangengroepen die vaak tegenstrijdige eisen ten aanzien van het onderhoud stellen. Deze groepen zijn: landbouw; natuur en landschap; recreatie; waterwinning en visserij. De beherende instantie – in Nederland vaak het Waterschap – heeft tot taak om een compromis te vinden tussen de verschillende belangen. Historisch gezien en wat betreft de oppervlakte is de landbouw de voornaamste belanghebbende bij het onderhoud van waterlopen. De peilbeheersing is doorgaans dan ook afgestemd op een optimale gewasgroei op de akker en op handhaving van de berijdbaarheid van het land voor bewerking en oogst. De intensivering van de landbouw leidde tot frequenter onderhoud en tot strengere eisen ten aanzien van peilbeheersing.

Vooral de hiermee gepaard gaande toename van de onderhoudskosten heeft bij veel beherende instanties geleid tot onderzoek naar andere onderhoudsmethoden van waterlopen en oeverkanten. Aanvankelijk leek chemisch onderhoud mogelijkheden te bieden. Vooral door ernstige milieubezwaren is het gebruik van chemische middelen sterk verminderd. Momenteel wordt gewerkt aan de ontwikkeling en verbetering van biologische en mechanische onderhoudsvormen. Het is hierbij van groot belang om te weten welke plantesoorten de doorstroming belemmeren en in welke mate. Dit wil zeggen, dat groeivoorwaarden en groeiomstandigheden moeten worden onderzocht en bovendien de stromingsweerstand veroorzaakt door verschillende soorten vegetaties. Onderzoek op dit terrein is in de zeventiger jaren op gang gekomen en op enkele aspecten hiervan zal worden ingegaan. Verder komen verschillende onderhoudsmethoden en de kosten van onderhoud aan de orde.

### *13.2.2 Onderzoek naar groeibeïnvloeding van waterplanten*

De groei van (water)planten en de ontwikkeling van soorten is afhankelijk van een groot aantal factoren (De Lyon & Roelofs, 1986). Verschillende van deze factoren, zoals bodemgesteldheid, zijn op een bepaalde lokatie gegeven, andere kunnen door inrichtings- en/of beheersmaatregelen worden beïnvloed. Hierdoor is een zekere sturing in de vegetatie-ontwikkeling mogelijk. Van enkele van deze factoren wordt in de praktijk al gebruik gemaakt (zie paragraaf 13.2.4.2), andere worden nog onderzocht. Het zijn vooral de abiotische factoren licht en dimensies, en de biotische factoren concurrentie, vraat en onderhoud die in aanmerking komen bij regulering van overtollige waterplantengroei (Pitlo, 1986c).

### 13.2.2.1 Licht

Lichtinterceptie is een effectieve manier om de groei van waterplanten te beperken (Zonderwijk & Van Zon, 1978). Aangezien submerse soorten in het algemeen de grootste belemmering voor de doorstroming van water veroorzaken, is getracht de groei van deze soorten te beperken door beschaduwing. Hiervoor is gebruik gemaakt van waterplanten met drijvende bladeren. Onderzocht werden waterlelie (*Nymphaea alba*); gele plomp (*Nuphar lutea*); watergentiaan (*Nymphoides peltata*) en drijvend fonteinkruid (*Potamogeton natans*) (Pitlo, 1978, 1982). Enkele conclusies uit dit onderzoek waren, dat de groei van submerse soorten door lichtinterceptie wordt vertraagd en dat de stromingsweerstand van waterlelie lager was dan van gele plomp. De totale weerstand, opgeroepen door soorten met drijvende bladeren en de resterende submerse vegetatie, bleef echter voor de praktijk aan de hoge kant. In combinatie met andere (beheers)maatregelen is toepassing in sommige gevallen denkbaar.

### 13.2.2.2 Overdimensioneren

Het vergroten van een slootprofiel boven de voor het transport van water vereiste afmetingen betekent een grotere afvoercapaciteit van de sloot. Hierdoor ontstaat ruimte voor enige plantengroei. Overdimensioneren in de diepte veroorzaakt bovendien vermindering van licht op de bodem en minder snelle opwarming van het water in het voorjaar. De plantengroei komt daardoor trager op gang.

Een voorbeeld van een proef op dit gebied vormt een waterloop bij Hedel in de Bommelerwaard. De waterdiepte bedroeg 0,6 m. In 1984 werd een gedeelte over een lengte van 100 verdiept tot 1,2 m.

Waarnemingen in 1985 en 1986 toonden aan, dat het leidingvak van 1,2 m diep in het voorjaar procentueel gezien minder waterplanten (= meer 'open' water) bevat dan het vak van 0,6 m diep (tabel 13.2). Onderhoud kan daardoor op een later tijdstip worden uitgevoerd.

Een extra voordeel ontstaat doordat bij overdimensioneren de afvoercapaciteit van de waterloop toeneemt (Wesseling, 1982). In de waterloop bij Hedel bedroeg deze capaciteitsvergroting zelfs een factor 3. De stromingsweerstand mag dan met dezelfde factor toenemen zonder dat dit de afvoer beïnvloedt. Ook op andere lokaties worden soortgelijke waarnemingen verricht.

Tabel 13.2. Ontwikkeling plantengroei bij overdimensioneren uitgedrukt als percentage open water (vrij van begroeiing).

| *Datum* | *Ondiep water (0,6 m)* | *Diep water (1,2 m)* |
|---|---|---|
| 27 – 05 – 1986 | 50 | 70 |
| 17 – 06 – 1986 | 30 | 50 |
| 29 – 07 – 1986 | 15 | 30 |

### 13.2.2.3 Concurrentie

Vermindering van verstoppende begroeiing door onderlinge concurrentie kan mogelijk worden bereikt door de betreffende watergang minder frequent te schonen. Gebleken is, dat sommige soorten zoals waterpest door een maaibeurt in een bepaalde periode juist in groei worden gestimuleerd (onderzoek Vakgroep Vegetatiekunde, Plantenoecologie en Onkruidkunde van de Landbouwuniversiteit te Wageningen). In voedselrijk water kan herhaaldelijk verwijderen van waterplanten de ontwikkeling stimuleren van *Cladophora* en *Vaucheria*: draadwieren (flab). Het effect van concurrentie bij minder frequent onderhoud op het verloop van de stromingsweerstand wordt sedert 1984 onderzocht.

### 13.2.2.4 Vraat

Het gebruik van de Chinese graskarper is een duidelijke toepassing van een zoögene, biotische factor bij de bestrijding van waterplanten (hoofdstuk 7).

### 13.2.2.5 Onderhoud (verschralen)

Onderzoek aan de Katholieke Universiteit te Nijmegen toonde aan, dat aanvoer van nutriënten een belangrijke invloed op de plantengroei heeft. Gebleken is dat in voedselrijk water de bovenste 10 cm van de bodemlaag een enorm reservoir van voedingsstoffen kan zijn. Alhoewel een groot deel van de hier aanwezige nutriënten niet in een direct opneembare vorm aanwezig is, vormt die bovenste laag potentieel een zeer geschikte voedingsbron voor wortelende planten (Brock et al., 1983). Het regelmatig verwijderen van zowel waterplanten als bovenste bodemlaag kan daarom verschralend werken. Een sterke groei van planten wordt hierbij tijdelijk afgeremd. In tabel 13.3 is het effect van enkele beheersvormen op de verwijdering van nutriënten weergegeven (Brock, persoonlijke mededeling).

Tabel 13.3. Effecten van beheersvormen op verwijdering van nutriënten (naar Brock, persoonlijke mededeling, 1983).

| *Beheersvorm* | *Bodem* | *Waterplanten* |
|---|---|---|
| Handkracht | + | + |
| Slootbak | + | + |
| Maaikorf | +/− | + |
| Maaien en oogsten | − | + |
| Maaien zonder oogsten | − | − |
| Graskarper | − | +/− |
| Beschaduwing | − | − |
| Chemisch | − | − |

+ = gunstig effect, − = geen effect.

### *13.2.3 Waterplanten en stromingsweerstand*

Stroming door een waterloop wordt in belangrijke mate bepaald door:
- de afmetingen van de waterloop (breedte, diepte, taludhelling);
- het beschikbare 'verval' (hoogteverschil van de waterspiegel);
- de optredende weerstand (wandruwheid, plantengroei).

De eerste twee factoren zijn voor een bestaande waterloop in het algemeen betrekkelijk weinig aan verandering onderhevig. De laatste factor kan gedurende het jaar sterk variëren. Gedurende de winterperiode zijn de meeste planten uit de waterloop verdwenen; de weerstand die het stromende water dan ondervindt door wrijving langs bodem en taluds, is relatief laag.

's Zomers echter kan door plantengroei de stroming van het water zodanig worden belemmerd, dat wateroverlast of – in een aanvoersituatie – watertekort het gevolg is. Deze verschijnselen treden niet overal in dezelfde mate op en zijn sterk afhankelijk van de aanwezige plantesoorten en de hoeveelheden hiervan.

Om het verband weer te geven tussen stroomsnelheid en stromingsweerstand in open leidingen, wordt in de hydraulica (waterloopkunde) nog veel gebruik gemaakt van de formule van Manning. Voorwaarde hierbij is wel, dat – althans bij benadering – sprake is van een zogenaamde eenparige stroming. Dit wil zeggen: dat de stroomsnelheid van het water in een bepaald punt van het profiel constant blijft gedurende de tijd ($\delta v/\delta t = 0$) en dat er geen versnelling in de stroomrichting optreedt ($\delta v/\delta s = 0$). De formule van Manning luidt:

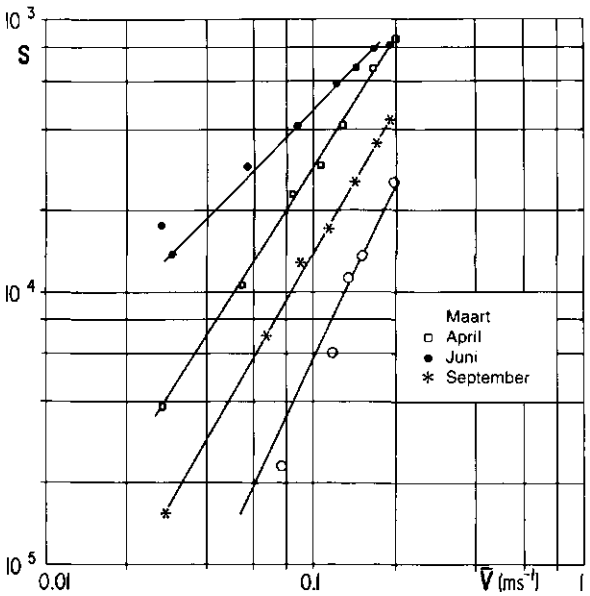
$$\bar{v} = Q/A = (c_1/n) \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \qquad (1)$$

$\bar{v}$ = gemiddelde stroomsnelheid over de doorsnede ($m \cdot s^{-1}$)
$Q$ = debiet ($m^3 \cdot s^{-1}$)
$A$ = natte doorsnede ($m^2$)
$c_1$ = constante = 1,0 in SI-eenheden ($m^{1/2} \cdot s^{-1}$)
$n = 1/K_m$ = coëfficiënt van Manning (–)
$R = A/P$ = hydraulische straal (m)
$P$ = natte omtrek (m)
$S$ = verhang (–)

Deze empirische betrekking geldt voor de situatie dat de weerstand is geconcentreerd aan de omtrek (wanden en bodem) van de waterloop. Met andere woorden: de mate waarin de stroming wordt afgeremd hangt af van de ruwheid van wanden en bodem; n is dus een weerstandscoëfficiënt.

Bij metingen in een watergang zonder begroeiing blijkt bij een constant gehouden hydraulische straal (R) inderdaad dat de gemiddelde stroomsnelheid (v) evenredig is met het verhang (s) tot de macht ½ (zie figuur 13.5: maand maart).

De benodigde afmetingen van een watergang om een bepaalde hoeveelheid water te kunnen transporteren, zijn dan met formule (1) te berekenen. Treedt plantengroei




Figuur 13.5. Verband tussen gemiddelde stroomsnelheid ($\overline{V}$) en verhang (S) van een begroeide waterloop bij constante hydraulische straal (R).

op in de watergang, dan kunnen afwijkingen ontstaan in het verband tussen v en S dat volgt uit formule (1) (Pitlo, 1978). De formule van Manning geeft dan onjuiste resultaten. In figuur 13.5 is dit duidelijk te zien voor de maand juni.

Bij het ontwerpen wordt een waarde van n gekozen, rekening houdende met de vraag of sprake is van de zomer- of wintersituatie met de daarbij te verwachten gemiddelde begroeiings- casu quo onderhoudstoestand. Dit leidde tot invoer van een 'ruwheidsfactor', waarvan de waarde varieert met de plantengroei. Aangezien het effect van de wandruwheid relatief vermindert bij toenemende natte doorsnede, wordt n tevens bepaald als een functie van de waterdiepte:

$$1/n = \gamma \cdot h^{\delta} \qquad (2)$$

$\gamma$ = een ruwheidsfactor die afhangt van de vegetatie en varieert tussen 34 in de winter en 23 in de zomer

$\delta$ = $\frac{1}{3}$

h = waterdiepte (Werkgroep Afvoerberekeningen, 1979)

Het invoeren van een reeks waarden voor $\gamma$ gedurende het groeiseizoen om het veranderende effect van de plantengroei op n te compenseren, geeft niet het gewenste resultaat. In de praktijk bleek dat de 'zomerwaarde' van n niet alleen gedurende het seizoen verandert, maar dat de relatie tussen v en S in feite afhangt van morfologie, elasticiteit en ruimtelijke verdeling van de vegetatie (Dawson & Robinson, 1985). Zo blijkt de elasticiteit van *Ranunculus calcareus* onder meer af te hangen van de ouder-

dom van de plant (Dawson, 1978). Gezocht wordt daarom naar een factor die n kan vervangen. Een verband dat waarschijnlijk bestaat tussen de stromingsweerstand en het Reynoldsgetal, kan hiertoe dienen, mits het mogelijk zal blijken te zijn om de plantenmassa in de waterloop te vertalen naar parameters die relevant zijn in de hydraulica, zoals onder andere aantal, diameter en lengte van de stengels (Van Ieperen & Herfst, 1985, 1986). Gebleken is, dat de traditionele plantopname (groeihoogte en bedekking) onvoldoende aanknopingspunten biedt om het gedrag en de dichtheid van planten bij stroming te beschrijven.

Een meer praktijkgerichte benadering van het weerstandsvraagstuk gaat uit van een mogelijk verband tussen de stromingsweerstand en het percentage van het dwarsprofiel dat onbegroeid is. De stroomsnelheid door een dichte plantenmassa bedraagt vaak minder dan 10 % van die in de onbegroeide gedeelten van de waterloop (Marshall & Westlake, in druk). De bepaling van het gedeelte van het dwarsprofiel waarin de stroming ernstig door planten wordt belemmerd is echter in de praktijk niet altijd eenvoudig. Op een proeflokatie kon door het maaien van een baan in een dichte vegetatie van watergentiaan *Nymphoides peltata*, een nauwkeurige schatting van de gedeelten van het dwarsprofiel zonder, en met begroeiing worden verkregen. Een voor de praktijk aanvaardbare stromingsweerstand (n = ongeveer 0,05) werd bereikt, indien tenminste 65 % van het dwarsprofiel vrij was van begroeiing (Pitlo, 1986a, 1986b).

### *13.2.4 Beheersmaatregelen en methoden van onderhoud*

#### 13.2.4.1 Beheersmaatregelen

In een uitgave over het onderhoud van waterlopen (Unie van Waterschappen, 1986) worden omstandigheden genoemd die bepalend zijn voor de keuze van toe te passen beheersmaatregelen en de methoden van onderhoud benevens de frequentie hiervan. Allereerst speelt de functie van de waterloop een grote rol. Zo zal een waterloop die alleen dient om water af te voeren, minder onderhoud vragen dan een waterloop die ook dient voor de aanvoer van water. Naast functionele eisen spelen ook factoren van fysieke aard, zoals de grondsoort, het grondgebruik, de dichtheid van het waterlopenstelsel en de topografie van het gebied een belangrijke rol. Verder zijn de kosten van invloed op de gekozen onderhoudsmethode.

Bij het uitvoeren van beheersmaatregelen moet onderscheid worden gemaakt tussen zogenaamd groot en klein onderhoud.

- Groot onderhoud omvat het periodiek (eenmaal in de 5 – 10 jaar) herstellen van het profiel (herprofileren) van een waterloop. Naast uitbaggeren kan onderhoud aan oever- en taludvoorzieningen nodig zijn.
- Klein onderhoud betreft het periodiek (één of enkele malen per jaar) verwijderen van de begroeiing uit de waterloop.

In het onderstaande zal voornamelijk het klein onderhoud worden behandeld.

Het aantal malen dat een waterloop wordt schoongemaakt, hangt, zoals al werd aangegeven, nauw samen met zijn functie. Hiernaast speelt de methode van onder-

houd een rol. Zo wordt bij gebruik van een veegboot, waarbij de vegetatie niet te zwaar mag zijn, soms wel om de veertien dagen 'geveegd'. Andere factoren die de onderhoudsfrequentie beïnvloeden, zijn de groeisnelheid van de vegetatie, de afmetingen van de waterloop, het gebruik van het aangrenzende land (in verband met bereikbaarheid voor machines) en de mate van bebouwing. Voor waterlopen die niet door een instantie, zoals een waterschap, zelf worden onderhouden, maar die wel een functie hebben bij de afwatering, worden vaak 'schouwdata' vastgesteld. Dit wil zeggen dat op de schouwdatum door het Waterschap wordt gecontroleerd of de waterloop voldoende vrij van begroeiing is. De tijdstippen van het schouwen zijn historisch bepaald en verschillen van plaats tot plaats, maar in het algemeen is dit tweemaal per jaar, namelijk in de voorzomer en in het najaar. De 'tertiaire' waterlopen, veelal de schei-, kavel- of wegsloten, worden het minst vaak schoongemaakt. Meestal wordt éénmaal in het najaar (vóór 1 november) geschouwd.

Bij het uitvoeren van beheersmaatregelen zijn twee begrippen van belang in verband met een stabiele vegetatie-ontwikkeling: continuïteit en variatie. Continuïteit wil zeggen dat jaarlijks op dezelfde wijze en bij dezelfde ontwikkeling van de vegetatie het onderhoud moet worden uitgevoerd. De moeilijkheid hierbij is het ontbreken van een norm hoe 'vol' de sloot mag zijn. Inzicht in de vegetatie dient op een bepaalde plaats in feite de onderhoudsfrequentie te bepalen.

Variatie betekent diversiteit in de methode van onderhoud op verschillende plaatsen of in verschillende gebieden.

### 13.2.4.2 Methoden van onderhoud

Bij het onderhoud van waterlopen en taluds kunnen de volgende methoden worden onderscheiden:
- handkracht;
- mechanisch;
- chemisch;
- biologisch.

In het verleden werd het onderhoud vrijwel uitsluitend in handkracht uitgevoerd. Door de gestegen loonkosten en de vermindering van ter zake kundige handwerkslieden, alsmede door bezwaren van de forse lichamelijke inspanning (rugklachten), is deze onderhoudsmethode vrijwel verdwenen. Kleine oppervlakten en plaatsen die niet of moeilijk voor machines bereikbaar zijn, worden nog wel met de hand 'geschoond'. Gereedschappen: zeis, walmes, krozer, baggerbeugel en voor het verwijderen van begroeiing uit smalle watergangen de draagbare bos(motor)maaier. Voor het verwijderen van bodembegroeiing in bredere waterlopen wordt het schakel- of kettingmes gebruikt. Het maaisel wordt met de hand op de oever gedeponeerd.

De meeste waterlopen worden tegenwoordig mechanisch geschoond. Er is een grote verscheidenheid aan werktuigen, zowel voor rijdend als varend onderhoud. Beide methoden van onderhoud hebben geleid tot aanpassing van de waterlopen. Voor rijdend onderhoud is een onderhoudspad vereist aan één of twee zijden van de waterloop

Tabel 13.4. Werktuigen voor het schonen van sloten.

| *Werktuigtype* | *Profielonderdeel* | | | *Afvoer in zelfde werkgang* | *Voordelen* | *Nadelen* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *droog talud* | *nat talud* | *bodem* | | | |
| *Rijdend* | | | | | | |
| cirkelmaaier | + | – | – | –/(+) | maaisel op richel, weinig storingsgevoelig | wegslingeren stenen, eenzijdige werkgang |
| klepelmaaier | + | – | – | –/(+) | snelle werkgang, geen afvoer maaisel | bemesting bodem, nadelig voor de natuur |
| maaibalk | + | + | (+) | –/(+) | eenvoudige bediening | storingsgevoelig, eenzijdige werkgang |
| korfmaaier met open maaikorf | + | + | + | + | tweezijdige werkgang, grote werkbreedte, precies en flexibel, milieuvriendelijk, diervriendelijk | relatief geringe werksnelheid |
| bodemhark | – | (+) | + | + | nog in onderzoek, geschikt voor ondergedoken soorten | |
| *Varend* | | | | | | |
| maaiboot | – | (+) | + | – | geen onderhoudspad, kan zware begroeiing aan | storingsgevoelig, maaisel moet verwijderd worden |
| met zijmes | + | + | – | | | |
| veegboot | – | (+) | + | – | geen verwijdering maaisel | sterke storing milieu |

+ = goed, (+) = matig, – = slecht.

en passeermogelijkheden bij zijwaterlopen. Bij varend onderhoud moeten voorzieningen voor het passeren van kunstwerken worden aangebracht. Voor alle vormen van mechanisch onderhoud is het van belang dat taluds zo gelijkmatig mogelijk verlopen. In tabel 13.4 is een aantal veel gebruikte werktuigen voor het maaien van de begroeiing vermeld. Daarbij is aangegeven welke profielonderdelen meer of minder goed worden gemaaid en hoe het maaisel wordt verzameld.

Rond de zestiger jaren is er een sterke toename in het gebruik van herbiciden om de begroeiing in waterlopen te reduceren. Het gebruik van deze stoffen leek voordelen te hebben, zoals een snelle werking en goedkoop in toepassing. Hiertegenover staat een aantal belangrijke nadelen. Vaak betreft het moeilijk afbreekbare (persistente) stoffen met een lange nawerking (ophoping in weefsels van bijvoorbeeld vissen). Daarnaast is de werking weinig selectief: naast lastige worden ook nuttige planten (en dieren) gedood. De afbraak van grote hoeveelheden afstervend plantenmateriaal veroorzaakt zuurstofonttrekking aan het water, waardoor andere organismen kunnen sterven en stankbezwaar kan optreden. Doordat hogere plantesoorten worden vernietigd kunnen lagere plantesoorten zich soms explosief ontwikkelen. Uit oogpunt van waterkwaliteit en natuurbescherming kan de verspreiding van bestrijdingsmiddelen in een waterloop ongewenst zijn. Hoewel er nog toelatingen voor enkele chemische middelen bestaan, hebben de genoemde bezwaren geleid tot een duidelijke afname van chemisch onderhoud in waterlopen. Het beleid is erop gericht om in de toekomst het gebruik van herbiciden voor dit doel geheel af te schaffen.

Het biologisch onderhoud maakt gebruik van natuurlijke mogelijkheden om overlast van waterplanten te verminderen. Een noodzakelijke factor bij plantengroei is licht. Door beperking van de hoeveelheid licht in een waterloop zal de groei van waterplanten verminderen. Beschaduwing door een oeverbegroeiing met bomen en struiken (onder meer bekend door de houtwalbeken in Oost-Nederland) is één mogelijkheid. Het effect op de groei van waterplanten hangt af van de mate van beschaduwing. Een bepaalde stroomsnelheid is noodzakelijk om afgevallen blad en takken te kunnen afvoeren. Een andere vorm van beschaduwing kan worden bereikt met waterplanten met drijvende bladeren, zoals waterlelie, gele plomp, watergentiaan en drijvend fonteinkruid. Hoewel de stengels van deze planten de doorstroomcapaciteit zullen verminderen, is de stromingsweerstand in het algemeen lager dan van submerse (ondergedoken) soorten (zie ook 13.2.2.1). Voor praktische toepassingen wordt gedacht aan combinatie met bijvoorbeeld overdimensioneren. Sinds ongeveer 10 jaar worden in Nederland Chinese graskarpers ingezet bij de bestrijding van waterplanten. Deze van oorsprong uit China afkomstige vissen zijn planteneters die bij een voldoende bezetting in staat zijn om overtollige plantengroei te beteugelen. Het uitzetten is aan overheidsvoorwaarden gebonden. Het gedrag van de graskarper is in de praktijk in een vrij groot aantal proefopjecten onderzocht; de resultaten van dit onderzoek zijn in een rapport vermeld (Werkgroep Graskarper NRLO, 1984). Hoewel indirect, kan ook overdimensioneren van waterlopen onder biologisch onderhoud worden gerangschikt. Door verruiming van het profiel in de diepte worden abiotische factoren als licht en temperatuur beïnvloed (zie paragraaf 13.2.2.2). Overdimensioneren als beheersmaat-

regel wordt momenteel op bescheiden schaal in de praktijk toegepast.

De methode van onderhoud is – afhankelijk van de stand van de techniek en de veranderende inzichten – voortdurend aan wijziging onderhevig. Momenteel ziet het er naar uit dat combinaties van beheersmethoden – zoals overgedimensioneerde waterlopen die slechts gedeeltelijk mechanisch worden geschoond of beschaduwing in combinatie met graskarpers – zowel ecologisch gezien als uit een kostenoogpunt aantrekkelijke resultaten kunnen opleveren.

### *13.2.5 Kostenaspecten*

De in deze paragraaf vermelde kosten hebben betrekking op het jaarlijkse zogenaamd 'klein onderhoud' ter verwijdering van overtollige plantenmassa. Buiten beschouwing blijft groot onderhoud, zoals baggeren, herprofileren en herstel van oeverbeschadiging.

In 1980 werd door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) een enquête gehouden onder 127 waterschappen in Nederland naar het onderhoud aan watergangen (CBS, 1983). Zowel kwalitatieve als kwantitatieve aspecten van het onderhoud zijn hierbij onderzocht. Inzicht wordt gegeven in de factoren die op de onderhoudskosten van invloed zijn. Op de belangrijkste van deze factoren zal hier nader worden ingegaan.

In totaal wordt jaarlijks 150 – 200 miljoen gulden uitgegeven aan het onderhoud van waterlopen. Hiervan komt 75 miljoen gulden ten laste van de waterschappen. Van een in totaal becijferde lengte van 244 000 km te onderhouden waterlopen, nemen de waterschappen 55 000 km voor hun rekening. Gemiddeld komt dit jaarlijks neer op ongeveer f 1,50 per strekkende meter (Siefers, 1986). Het hanteren van een gemiddeld bedrag geeft echter geen goed beeld van de werkelijke kosten op een bepaalde lokatie. De jaarlijkse onderhoudskosten variëren – afhankelijk van de afmetingen van de waterloop, de onderhoudsfrequentie, de bodemgesteldheid, de bereikbaarheid en de toegepaste onderhoudsmethode – tussen ongeveer *f* 0,25 en *f* 4,– per strekkende meter. Prijsvergelijkingen tussen verschillende objecten zijn soms onmogelijk en kunnen elders alleen inzicht verschaffen na een vergaande onderverdeling van de kostenbepalende factoren. Zo kunnen de kosten worden gerangschikt naar de onderhoudsmethode:

- mechanisch onderhoud;
- chemisch onderhoud;
- biologisch onderhoud;
- handkracht.

Per onderhoudsvorm zijn de kosten vervolgens weer opgebouwd uit één of meer van de volgende posten:

- loonkosten;
- machinekosten;
- overige kosten;
- overheadkosten.

Hierbij vallen onder 'overige kosten' bijvoorbeeld aankoop chemische bestrijdingsmiddelen, aankoop graskarpers, kosten van voorzieningen zoals visroosters, enz. (Unie van Waterschappen, 1986).

Belangrijke kostenbepalende factoren zijn verder profielafmetingen en bodemgesteldheid (grondsoort). In tabel 13.5 (ontleend aan: Unie van Waterschappen, 1986) zijn de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten weergegeven voor verschillende grondsoorten. Het betreft hier zogenaamde 'gewogen' cijfers, dat wil zeggen dat rekening is gehouden met de totale lengtes waarover de onderhoudsmethoden zijn toegepast.

De verschillen in kosten zoals vermeld in tabel 13.5 blijken aanzienlijk kleiner te worden als wordt gecorrigeerd voor het aantal onderhoudsbeurten per jaar (tabel 13.6).

Uit dit voorbeeld valt af te leiden, dat de gemiddelde onderhoudskosten zowel per jaar als per onderhoudsbeurt op zandgronden over het algemeen hoger zullen uitkomen dan op andere grondsoorten. Opgemerkt moet echter worden, dat hierbij geen rekening is gehouden met de onderhoudsmethode. Doet men dit wel, dan blijken de kosten sterk te variëren met de verschillende onderhoudsmethoden (tabel 13.7).

De hoogste bedragen in tabel 13.7 worden onder meer veroorzaakt door onderhoud in handkracht of door moeilijk bereikbare waterlopen, bijvoorbeeld in hellende gebieden, waar vaak speciaal onderhoudsmateriaal benodigd is.

Tabel 13.5. Gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten in guldens per meter waterloop bij drie grondsoorten.

| *Bodembreedte (m)* | *Zand* | *Klei* | *Veen (weidegebied)* |
|---|---|---|---|
| 0 – 1 | 1,19 | 0,66 | 1,17 |
| 1 – 2 | 1,68 | 0,99 | 0,82 |
| 2 – 4 | 2,47 | 1,66 | 1,08 |
| >4 | 2,58 | 0,89 | 1,55 |

Tabel 13.6. Gemiddelde kosten per onderhoudsbeurt in guldens per meter waterloop bij drie grondsoorten.

| *Bodembreedte (m)* | *Zand* | *Klei* | *Veen* |
|---|---|---|---|
| 0 – 1 | 0,80 | 0,60 | 0,64 |
| 1 – 2 | 0,67 | 0,71 | 0,55 |
| 2 – 4 | 0,90 | 0,90 | 0,77 |
| >4 | 0,92 | 0,59 | 0,70 |

Tabel 13.7. Kostenvariatie van toegepaste onderhoudsmethode per onderhoudsbeurt in guldens per meter waterloop bij drie grondsoorten.

| *Bodembreedte (m)* | *Zand* | *Klei* | *Veen* |
|---|---|---|---|
| 0 – 1 | 0,37 – 3,50 | 0,11 – 1,62 | 0,35 – 1,68 |
| 1 – 2 | 0,55 – 2,18 | 0,11 – 1,60 | 0,36 – 0,75 |
| 2 – 4 | 0,54 – 1,92 | 0,41 – 1,31 | 0,36 – 1,75 |
| >4 | 0,57 – 2,14 | 0,24 – 1,31 | 0,70 |

## Samenvatting

Het in stand houden van de watertransportfunctie is de voornaamste reden voor het beheer van waterlopen. Onderhoud geschiedde aanvankelijk bijna geheel in handkracht. Veranderende inzichten, strengere eisen ten aanzien van peilbeheersing en vooral sterke toename van de onderhoudskosten, hebben geleid tot onderzoek naar andere vormen van onderhoud. Toepassing van chemische middelen bleek om diverse redenen geen goede oplossing te zijn. Momenteel worden mechanische en biologische onderhoudsvormen verder ontwikkeld. Bij biologisch onderhoud wordt soms getracht factoren te benutten die de groei van waterplanten beperken. Op enkele van deze factoren wordt ingegaan. Aspecten met betrekking tot de stromingsweerstand veroorzaakt door waterplanten worden behandeld. De voorkomende methoden van onderhoud: handkracht, mechanisch, chemisch en biologisch komen aan de orde en aandacht wordt besteed aan de kostenaspecten. De onderhoudskosten van waterlopen blijken af te hangen van een groot aantal factoren. Hierdoor ontstaat een grote variatie in prijzen van de jaarlijkse onderhoudskosten. Een directe onderlinge vergelijking van deze kosten is meestal niet mogelijk.

## Literatuur

### *13.1 Waterplanten en hun rol in watergangen*

Best, E.P.H., 1982. Effects of water pollution on freshwater submerged macrophytes. In: Varshney, C.K. (Ed.): Water pollution and management reviews 1982. South Asian Publ. Pvt. Ldt., New Delhi: 27-56.

Best, E.P.H. & H.W.C. Visser, 1987. Seasonal growth of the submerged macrophyte *Ceratophyllum demersum* L. in mesotrophic Lake Vechten in relation to insolation, temperature and reserve carbohydrates. Hydrobiologia 148: 231-243.

Carpenter, S.R. & D.M. Lodge, 1986. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. Aquat. Bot: 26: 325-341.

Dawson, F.H., 1978. The seasonal effects of aquatic plant growth on the flow of water in a stream. Proc. EWRS 5th Symp. on Aquatic Weeds: 71 – 78.

Dawson, F.H. & W.N. Robinson, 1984. Submerged macrophytes and the hydraulic roughness of a lowland stream. Verh. Internat. Verein. Limnol. 22: 1944 – 1948.

Ieperen, H.J. van & M.S. Herfst, 1985. Stromingsweerstand van slootvegetaties: metingen 1984. Nota 70, Vakgroep Hydraulica & Afvoerhydrologie, Landbouwhogeschool Wageningen.

Madsen, T.V. & M. Sondergaard, 1983. The effects of current velocity on the photosynthesis of *Callitriche*

*stagnalis* Scop. Aquat. Bot. 15: 187–193.
Meulemans, J.T., 1989. A two-year study on *Phragmites australis* (common reed) in Lake Maarsseveen I (The Netherlands). Archiv. Hydrobiol. (in druk).
Titus, J.E., 1977. The comparative physiological ecology of three submersed macrophytes. Univ. of Wisconsin-Madison, PhD. Thesis.
Westlake, D.F., 1964. Light extinction, standing crop and photosynthesis within weed beds. Verh. Internat. Verein. Limnol. 15: 415–425.
Zwietering, F.W., 1986. Onderhoud, vegetatie en stromingsweerstand van watergangen. CABO-rapport, Wageningen.

## *13.2 Beheer van waterlopen*

Brock, T.C.M., M.C.M. Bongaerts, G.J.M.A. Heynen & J.H.F.G. Heythuysen, 1983. Nitrogen and Phosphorus accumulation and cycling by *Nymphoides peltata*. Aquatic Botany 17: 189–214.
Centraal Bureau voor de Statistiek, 1983. Onderhoud Watergangen 1980. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
Dawson, F.H., 1978. Seasonal effects of aquatic plant growth on the flow of water in a small stream. European Weed Research Society, 5th International Symposium on Aquatic Weeds: 71–78.
Dawson, F.H. & W.N. Robinson, 1985. Submerged macrophytes and the hydraulic roughness of a lowland chalkstream. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie 22: 1944–1948.
Ieperen, H. van & M.S. Herfst, 1985. Stromingsweerstand van slootvegetaties, metingen 1983. Nota 69, Vakgroep Hydraulica & Afvoerhydrologie, Landbouwhogeschool, Wageningen.
Ieperen, H. van & M.S. Herfst, 1986. Laboratory experiments on the flow resistance of aquatic weeds; Proceedings 2nd International Conference on Hydraulic Design in Water Resources Engineering. Land Drainage: 281–291.
Lyon, M.J.H. de & J.G.M. Roelofs, 1986. Waterplanten in relatie tot waterkwaliteit en bodemgesteldheid. Laboratorium voor Aquatische Oecologie, Katholieke Universiteit Nijmegen (in opdracht van de Landinrichtingsdienst): Deel 1 en Deel 2.
Marshall, E.J.P. & D.F. Westlake, in druk. Watervelocities around plants in chalk streams. In: Hammer, L. (Ed.): Proceedings First International Workshop on Aquatic Plants, Illmitz, May 1981. Cramer, Braunschweig.
Pitlo, R.H., 1978. Regulation of aquatic vegetation by interception of daylight. European Weed Research Society 5th International Symposium on Aquatic Weeds: 91–100.
Pitlo, R.H., 1982. Flow resistance of aquatic vegetation. European Weed Research Society 6th International Symposium on Aquatic Weeds: 225–234.
Pitlo, R.H., 1986a. Natuurvriendelijke onderhoudsmethoden. Waterschapsbelangen 71: 23–26.
Pitlo, R.H., 1986b. Towards a larger flow capacity of vegetated channels. European Weed Research Society 7th International Symposium on Aquatic Weeds: 245–250.
Pitlo, R.H., 1986c. Effecten van het beheer van wegbermen, sloten en slootkanten op vegetatie. PHLO-cursus Waterkwaliteit landelijk gebied, Wageningen.
Siefers, H.J., 1986. Kosten van onderhoud. Waterschapsbelangen 71: 27–31.
Unie van Waterschappen, 1986. Methoden en kosten van het onderhoud van waterlopen. Unie van Waterschappen.
Werkgroep Afvoerberekeningen, 1979. Richtlijnen voor het berekenen van afwateringsstelsels in landelijke gebieden. Sectie en Studiekring voor Cultuurtechniek.
Werkgroep Graskarper NRLO, 1984. Graskarper in Nederland. Werkgroep Graskarper NRLO, Wageningen.
Wesseling, J., 1982. Ontwerpnormen en kosten van overdimensionering van open waterlopen. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding: Nota 1361.
Zonderwijk, P. & J.C.J. van Zon, 1978. Aquatic weeds in the Netherlands: a case of management. European Weed Research Society 5th International Symposium on Aquatic Weeds: 101–106.

# 14 Vegetatiebeheer in wegbermen

K.V. Sykora en P. Zonderwijk

## 14.1 Inleiding

In het begin van de Middeleeuwen namen de soortenrijkdom en de rijkdom aan plantengemeenschappen sterk toe. Dit was het gevolg van het kappen van bossen en het extensieve hooiland- en weidebeheer. De grootste diversiteit werd bereikt in het voor industriële cultuurlandschap van de negentiende eeuw. Na de opkomst van de industriële techniek en de intensieve landbouw nam de diversiteit zeer sterk af. Een groot deel van de plantensoorten en plantengemeenschappen is tegenwoordig bedreigd. Nog slechts een zeer klein deel van het Nederlandse grondoppervlak bestaat uit hoogwaardig natuurgebied. De wilde en halfwilde graslanden hadden in 1972 nog slechts een totaal oppervlak van 3000 ha, dat wil zeggen een half procent van het totale oppervlak aan grasland. Met het verdwijnen van de extensief beheerde elementen uit het landschap nam, naast het belang van natuurreservaten, het belang van de door de mens aangelegde lijnvormige elementen voor het behoud van de wilde flora toe. De laatste jaren wordt deze refugiumfunctie in de wetenschappelijke wereld onderkend en benadrukt (zie literatuurlijst). Doordat aanvankelijk vooral de zeker ook reële, negatieve effecten van de weg werden benadrukt, kreeg de natuurbeschermingswereld veel later belangstelling voor de 52 000 ha beslaande bermen.

## 14.2 Vegetaties in wegbermen

Een wegberm heeft een aantal civieltechnische functies als verhoging van het weglichaam, bevordering verkeersveiligheid en ruimte voor het leggen van kabels. Daarnaast kunnen wegbermen van belang zijn uit esthetisch en recreatief oogpunt (secundaire wegen, parkeerplaatsen met picknickgelegenheid). De bermvegetatie verhoogt de diversiteit van het landschap en kan zo bijdragen tot de verhoging van de stabiliteit daarvan. Onder bepaalde voorwaarden kan een wegberm dienst doen als migratieroute voor bepaalde soorten planten en dieren. Een grote diversiteit aan grazige vegetaties is van belang voor de (entomo)fauna en daarmee ook voor de imkerij.

Om gewenste vegetatieontwikkelingen te bevorderen of om reeds aanwezige waardevolle vegetaties te handhaven is een aangepast beheer nodig. Dit beheer kan gericht zijn op handhaving of ontwikkeling van waardevolle vegetatietypen, op bevordering van visueel aantrekkelijke bermen, van waardevolle soorten of van de (entomo)fauna en op een juiste inpassing in het landschap.

Bij een toename van de vruchtbaarheid neemt de produktiviteit van de vegetatie toe, terwijl de soortsdiversiteit afneemt. 'Waardevolle', zeldzame soorten worden onder

deze omstandigheden weggeconcurreerd door ruige, zeer algemene soorten. Ook bij extreem lage vruchtbaarheid is het aantal soorten per $m^2$ gering. Het wegbermbeheer zal in bijna alle gevallen gericht zijn op de verschraling van de bodem dat wil zeggen op het aan de bodem onttrekken van voedingsstoffen door afvoer van bovengronds plantenmateriaal. De beheerder beïnvloedt hierbij bewust de stikstofkringloop.

Behalve met het nutriëntenniveau varieert de soortsdiversiteit met de zuurgraad van de bodem. Beneden een pH van 4,5 komen nog uitsluitend soortenarme vegetaties voor, terwijl op kalkrijke gronden bij een goed beheer zeer soortenrijke vegetaties groeien.

Het wegbermmilieu heeft een aantal specifieke relaties met de omgeving die het bevorderen van een soortenrijke vegetatie bemoeilijken. De vegetatie in de wegbermen ondervindt invloed vanaf de weg, vanuit het achterland en vanuit de aanliggende sloot. In het algemeen leidt dit tot eutrofiëring, verdichting, mechanische verstoring en ophoping van toxische stoffen. Verder dragen deze landschapselementen bij tot de dispersie van soorten en de uitwisseling van genetisch materiaal. Gladheidsbestrijding met zout heeft tot gevolg dat in de bermen plantensoorten voorkomen die van oorsprong vooral op zilte standplaatsen groeien. Behalve van zoutverrijking is sprake van verontreiniging met zware metalen (lood, cadmium). Deze factoren hebben de grootste invloed bij smalle bermen en bij grote verkeersintensiteit.

Door al deze storende invloeden komen in wegbermen vooral fragmentarische plantengemeenschappen voor. Soorten met een nauwe oecologische amplitudo en daarmee samenhangende grote indicatiewaarde voor milieu-omstandigheden ontbreken vrijwel geheel. De vegetatie valt hierdoor zelden op associatieniveau in te delen. Toch blijken ook de fragmentgemeenschappen nog indicatief voor bepaalde bodemomstandigheden.

### 14.3 Soortensamenstelling van wegbermvegetaties

Tijdens het onderzoek van de Vakgroep Vegetatiekunde, Plantenoecologie en Onkruidkunde van de Landbouwuniversiteit in Wageningen naar de syntaxonomie en de synoecologie van de wegbermvegetatie zijn tot nu toe 441 soorten hogere planten aangetroffen dat wil zeggen ongeveer 31 % van de totale Nederlandse flora. Volgens de Standaardlijst van de Nederlandse flora (Arnolds & Van der Meijden, 1983) is 8 % van deze soorten zeldzaam tot vrij zeldzaam, terwijl 92 % vrij tot zeer algemeen is. Dat deze aan de uurhokmethode ontleende gegevens een vertekend beeld geven, blijkt uit het grote aantal als vrij algemeen of algemeen opgenomen soorten die in werkelijkheid lang niet zo algemeen blijken te zijn. Dit is het gevolg van het feit dat ook een enkel, in een uurhok aangetroffen, individu al meetelt.

Van de oecologische soortengroepen die bij een vergelijking tussen 1930 en 1980 meer dan 50 % zijn achteruitgegaan, vonden wij in ons onderzoek tot nu toe 17 soorten van de kalkarme akkers, 6 pionierplanten van matig voedselarme, vochtige grond, 16 soorten van kalkgraslanden, 23 soorten van droge, zure graslanden, 1 soort van kalkmoerassen, 3 soorten van blauwgraslanden, 8 soorten van natte heiden, 17 soorten

van droge heiden en 4 soorten van kalkrijke zomen.

Het is zeer waarschijnlijk dat de komende jaren nog veel soorten zullen worden gevonden en het is aannemelijk dat dan zal blijken dat ongeveer 50 % van de totale Nederlandse wilde flora in wegbermen voorkomt.

Met behulp van het boek Plantengemeenschappen in Nederland (Westhoff & Den Held, 1975) kan worden nagegaan wat het aandeel is van de kensoorten van de verschillende plantengemeenschappen. Het meest werden aangetroffen (in afnemende volgorde):

- soorten van vochtige min of meer bemeste graslanden (Molinio-Arrhenatheretea, 55 soorten);
- akkeronkruiden van hakvruchtakkers en ruderaalgemeenschappen bestaande uit een- of tweejarige soorten (Chenopodietea, 49 soorten);
- soorten van zandige, droge graslanden (Koelerio-Corynephoretea, 37 soorten);
- meerjarige tredplanten en planten van langdurig waterverzadigde, verdichte bodem (Plantaginetea, 24 soorten);
- ruigtekruiden van humeuze, stikstofrijke bodem (Artemisietea, 23 soorten);
- soorten van rietzomen en grote-zeggenvegetaties (Phragmitetea, 19 soorten);
- heischrale graslanden en heiden (Nardo-Callunetea, 15 soorten);
- onkruiden van graanvruchtakkers (Secalietea, 13 soorten).

Daarnaast kwamen elementen van andere plantengemeenschappen voor met elk minder dan 10 soorten.

De eutrofiëring en het dynamische milieu met zijn sterke antropogene invloed komen duidelijk in dit overzicht tot uiting.

### 14.4 Milieufactoren en soortensamenstelling

Voornaamste milieufactoren verantwoordelijk voor de soortensamenstelling van de verschillende gemeenschappen zijn:

- voedselrijk, vochtig grasland → Glanshavergrasland;
- voedselarm, drassig hooiland → Dotterverbond;
- weinig bemest, onregelmatig beheerd → Moerasspireaverbond;
- kalkrijke, droge bodem → Klasse van de droge kalkgraslanden;
- meso- tot eutroof, wisselende waterstand → Zilverschoonverbond;
- kalkarme, zure, zandige bodem → Zilverhaververbond;
- tred → Weegbreeverbond;
- zeer sterke tred → Varkensgrasverbond (veel eenjarige soorten);
- pioniergemeenschap op arme, zure, beweeglijke zandgrond → Buntgrasverbond;
- pioniergemeenschap van $NH_4$-rijke, natte bodem → Moerasandijvieverbond;
- zure, uitgeloogde, arme zandgrond → heide;
- verzuurde, lemige bodem → Borstelgrasverbond;
- warme, droge, kalkrijke zomen → Marjoleinverbond;
- ruderale, voedselrijke, droge graslanden → Klissenverbond;
- ruderale, vochtige, beschaduwde graslanden → Zevenbladverbond;

- mechanisch verstoorde, voedselrijke graslanden → Raketverbond;
- mechanisch verstoorde, droge, humusarme graslanden → Wegdistelverbond.

Bij de aan- of afwezigheid van zeldzame en vrij zeldzame soorten is waarschijnlijk het aangrenzende achterland van groot belang. In bermen met een intensief agrarisch achterland werden tot nu toe geen zeldzame soorten aangetroffen. De bermen met zeldzame en vrij zeldzame soorten grensden aan heiden (natuurreservaat), oude duinen (natuurreservaat), een zeedam, een spoorweg, bos, boomgaard, weiland of zij bevonden zich in een verkeerslus of op een industrieterrein of maakten deel uit van een bruggehoofd. Uit deze gegevens blijkt het grote belang van de aanwezigheid van een bufferzone tussen berm en agrarisch achterland. Opvallend is dat de indeling van Nederland in plantengeografische districten vaak in de wegbermvegetatie tot uiting komt, met name wanneer het bodemmateriaal een lokale oorsprong heeft of als er sprake is van doorsnijdingen in de plaatselijke geomorfologie.

## 14.5 Beheer van wegbermvegetaties

Het is mogelijk om aan de hand van het overzicht van in bermen voorkomende plantengemeenschappen een globaal overzicht op te stellen van het bijbehorende beheer (tabel 14.1). Hierbij geldt in het algemeen dat pas goede resultaten worden bereikt bij een langdurig constant beheer. Veel soorten verschijnen pas na een groot aantal jaren van goed beheer. Het bleek mogelijk om met behulp van aanwijssoorten te bepalen of een kalkgrasland minder dan 50 jaar oud was of juist meer dan 130 jaar.

Maaien en afvoeren moet frequenter gebeuren naarmate de grond vruchtbaarder is. Het materiaal moet zoveel mogelijk worden afgevoerd.

Daarnaast is het afvijzelen (plaggen) een beheersvorm die toegepast kan worden om de regeneratie van het Buntgrasverbond en van heide te bevorderen. Het verwijderen van de zode is een algemeen middel om bovengrondse verrijking teniet te doen. Afvij-

Tabel 14.1. Globaal overzicht van het wegbermbeheer.

| *Twee (of meer) keer per jaar maaien* | *Een keer per jaar maaien* | *Niet elk jaar maaien* | *Betreden* | *Mechanisch verstoren* |
|---|---|---|---|---|
| Glanshaververbond<br>droge kalkgraslanden<br>Zilverschoonverbond | Dotterverbond<br>Zilverhaververbond<br>St. Janskruid-associatie<br>droge kalkgraslanden (minder produktief)<br>associatie van Sikkelklaver en Zachte haver<br>Borstelgrasverbond | Moerasspirea-verbond<br>Klissenverbond<br>Zevenbladverbond<br>Marjolein-verbond<br>Heide | Weegbreeverbond<br>gemeenschap met Cichorei<br>Varkensgras-verbond | Raketverbond<br>Hakvrucht-gemeenschap<br>Wegdistel-verbond |
| duur | minder duur | zeer goedkoop | n.v.t. | duur |

zelen kan tegenwoordig machinaal gebeuren. Ook bij aanleg van nieuwe bermen moet men bij voorkeur een voedselarme afdeklaag gebruiken met een laag gehalte aan organisch materiaal. Hierdoor hoeft het beheer minder intensief te zijn, terwijl zo tevens de ontwikkeling van een soortenrijke vegetatie wordt bevorderd.

In een weinig of niet beheerde berm met een buntgrasvegetatie of met heide, is houtkap noodzakelijk om de opslag te verwijderen. Laat men elk beheer achterwege dan ontstaat na enige tijd een bos. Uit proeven in Göttingen bleek al na 18 jaar niets doen een bos te ontstaan. Een dergelijke methode om bosjes langs de wegen te doen ontstaan verdient veel meer toegepast te worden.

Bij het bovenstaande gaat het om oecosysteembeheer. Wil men bepaalde soorten bevorderen, bijvoorbeeld biggekruid (*Hypochaeris radicata*) of tweejarig streepzaad (*Crepis biennis*) (soortsbeheer) dan moet men nauwkeurig op de hoogte zijn van de levenscyclus van deze soorten. Door onze vakgroep wordt hiernaar dan ook onderzoek gedaan, evenals naar de onkruidbesmetting van de akkers vanuit de bermen en de eventuele gevolgen van de bastaardering van landbouwgewassen met wilde verwanten.

Zeker gezien het feit dat wegbermbeplantingen nooit een grote economische waarde (houtproduktie) zullen krijgen, moet bij de aanplant van houtige gewassen eerst goed worden nagegaan of door de beplanting geen waardevolle kruidachtige vegetaties verloren gaan.

Sinds 1962 is in Nederland en sinds 1984/1985 in België het gebruik van chemische middelen bij het normale grasbermonderhoud verboden. Plaatselijke bestrijding van distelhaarden met MCPA op grond van distelverordeningen is wel toegelaten. Het nut van de distelbestrijding staat momenteel eveneens ter discussie, omdat bij de huidige agrarische bedrijfsvoering nauwelijks sprake is van schade terwijl distels (*Cirsium* spp.) een oecologische waarde hebben. Met een goed beheer waarvoor maaischema's worden opgesteld, is het mogelijk om de rol van distels in wegbermvegetaties te minimaliseren.

De voornaamste vraag blijft of het mogelijk is om de nu soortenarme geëutrofieerde bermen door een verandering van het beheer te verbeteren of om zo zelfs weer min of meer 'verzadigde' plantengemeenschappen te doen ontstaan. Een groot probleem hierbij is dat de verschraling van de bodem door de voortdurende nutriëntentoevoer (vanaf de weg en aanliggend agrarisch gebied en uit de lucht) sterk wordt bemoeilijkt, zo niet onmogelijk gemaakt. Ook al zou er geen sprake zijn van werkelijke verschraling dan nog wordt door een maaibeheer met afvoer de concurrentieverhouding in gunstige zin veranderd. Bovendien blijft met name de smallere berm in het algemeen een milieu met een hoge antropogeen toegevoegde dynamiek.

Naar verwachting zullen plantengemeenschappen in wegbermen wel sterk te verbeteren zijn en blijven zij in toenemende mate een toevluchtsoord voor soorten die in het versleten landschap niet meer kunnen groeien.

## 14.6 Begrippenlijst

– associatie: basiseenheid van het Braun-Blanquetsysteem, hiërarchisch vallend onder verbond, orde en klasse
– blauwgrasland: vochtige, onbemeste, 'schrale', zeer soortenrijke hooilanden; tot in de vorige eeuw waren deze graslanden in Nederland zeer algemeen, nu zijn zij door de intensivering van de landbouw vrijwel geheel verdwenen
– dispersie: de verspreiding van plantensoorten door middel van sporen, zaden of plantedelen als wortelstokken en dergelijke
– eutrofiëring: het voedselrijker worden van het milieu, gewoonlijk als gevolg van directe of indirecte menselijke invloed
– eutroof: voedselrijk (milieu)
– fragmentgemeenschap: een vegetatietype waarin de kensoorten van de lagere eenheden ontbreken, meestal door (antropogene) storing
– indicatiewaarde: de mate van nauwkeurigheid waarmee een soort of plantengemeenschap inzicht geeft in bepaalde omgevingsfactoren
– kensoort: een soort die in een bepaalde vegetatie-eenheid meer voorkomt dan in alle andere vegetatie-eenheden van het onderzochte gebied
– levenscyclus: kieming, groei, zaadvorming, dispersie, kieming, enz.
– mesotroof: intermediair milieu tussen voedselrijk en voedselarm
– oecologische amplitudo: het tolerantiegebied van een soort met betrekking tot een oecologische factor
– oecosysteem: de totaliteit van een biocoenose en haar milieu
– pioniergemeenschap: plantengemeenschap zich ontwikkelend op een kale bodem
– plantengemeenschap: ruimtelijke groepering van elkaar beïnvloedende planten, die in een zeker evenwicht verkeert en een bepaalde, min of meer homogene standplaats bevolkt
– plantengeografische distrikten: indeling van Nederland in deelgebieden op grond van een beperkt aantal, kenmerkende soorten en de bodemkaart
– ruderaal: plantengemeenschappen van puinhopen, in meer algemene zin gebruikt voor vegetaties van sterk antropogeen gestoorde standplaatsen
– synoecologie: oecologie van plantengemeenschappen
– syntaxonomie: het classificeren van vegetaties
– uurhok: inventarisatie-eenheid voor de verspreidingskaarten van de Nederlandse plantesoorten, oppervlakte sinds 1950 25 $km^2$
– verzadigde gemeenschappen: plantengemeenschappen (associaties) gekenmerkt door onder andere ken- en differentiërende soorten van associatieniveau
– zomen: plantengemeenschappen voorkomend tussen grasland en mantel, in de reeks grasland, zoom, mantel en bos; een mantel wordt gevormd door de struiklaag langs een bos.

## Literatuur


Arnolds, E. & R. van der Meijden, 1983. Standaardlijst van de Nederlandse flora.

Ast, A. van, S.J. ter Borg & J.M. van Groenendael, 1987. De oorzaak van de achteruitgang van biggekruid in onze bermen. De Levende Natuur 88: 88 – 93.

Bakker, J.P. & Y. de Vries, 1985. Über die Wiederherstellung artenreicher Wiesengesellschaften unter verschiedenen Mahdsystemen in den Niederlanden. Natur und Landschaft 60: 292 – 296.

Bakker, J.P. & Y. de Vries, 1985. The results of different cuttingregimes in grassland taken out of the agricultural system. In: Schreiber, K.-F. (Ed.): Sukzession auf Grünlandbrachen. Vorträge Symp. Arbeitsgruppe 'Sukzessionsforschung auf Dauerflächen'. Ferdinand Schöningh, Paderborn: 51 – 57.

Banasova, V., 1981. Dislokation von Schwermetalle neben der Autobahn Bratislava-Malacky. I. Pb, Cd und Zn-Gehalt des Bodens. Biologia (Bratislava) 36: 57 – 67.

Banasova, V., 1982. Dislokation von Schwermetalle neben der Autobahn Bratislava-Malacky. II. Pb, Cd und Zn-Gehalt der Pflanzen. Biologia (Bratislava) 37: 891 – 899.

Banasova, V., 1985. Der Einfluss der Auftausalze auf Böden und Pflanzen an der Autobahn. Ekologia (CSSR) 4: 315 – 328.

Borchert, J., 1980. Landwirtschaftliches Wegenetz und Gehölzbesatz in ausgewählten Gebieten der rheinischen Agrarlandschaft. Natur und Landschaft 55: 380.

Centraal Bureau Statistiek, 1985. Florastatistieken, een interpretatie van floragegevens. Kwartaal Bericht milieu (CBS)85: 11 – 17.

Dunball, A.P., 1983. Management of herbaceous vegetation on the sides of roads and motorways. In: Way, J.M. (Ed.): Management of vegetation. British Crop Protection Council. Monograph 26, Londen: 89 – 99.

Duuren, L. van, J.P. Bakker & L.F.M. Fresco, 1981. From intensive agricultural practices to hay-making without fertilization. Vegetatio 47: 241 – 258.

Fischer, A., 1982. Mosaik und Syndynamik der Pflanzengesellschaften von Lössböschungen im Kaiserstuhl (Südbaden). Phytocoenologia 10: 73 – 256.

Fukarek, F., 1980. Über die Gefährdung der Flora der Nordbezirke der DDR. Phytocoenologia 7: 174 – 182.

Géhu. J.-M., 1983. Les prés salés de l'autoroute. Jaarboek 1983, Stichting Marguerite Yourcenar: 68 – 70.

Gigon, A., 1974. Oekosysteme; Gleichgewichte und Störungen. In: Leibundgut, H. (Ed.): Landschaftsschutz und Umweltpflege. Huber, Frauenfeld: 17 – 39.

Green, B.H., 1972. The relevance of Seral eutrophication and plant competition to the management of successional communities. Biological Conservation 4: 378 – 38.

Green, B.H., 1980. Management of extensive amenity grasslands by mowing. In: Rorison, I.H. & R. Hunt (Eds): Amenity grassland: An ecological perspective. John Wiley & Sons, New York: 155 – 162.

Green, B.H., 1983. The management of herbaceous vegetation for wildlife conservation. In: Way, J.M., (Ed.): Management of vegetation. British Crop Protection Council. Monograph 26, Londen.

Grime, J.P., 1973. Control of species density in herbaceous vegetation. Journal of Environmental Management 1: 151 – 167.

Grime, J.P., 1973. Competitive exclusion in herbaceous vegetation. Nature 242: 344 – 347.

Grime, J.P., 1980. An ecological approach to management. In: Rorison, I.H. & R. Hunt (Eds): Amenity grassland: An ecological perspective. John Wiley & Sons, New York: 13 – 53.

Gruys, P., J.C. van Lenteren, J.E. Parlevliet, P.C. Scheepens & J.C.J. van Zon, 1985. Oecologische achtergronden van plagen en hun bestrijding. In: K. Bakker et al. (Eds): Inleiding tot de oecologie. Bohn, Scheltema & Holkema, Utrecht: 466 – 493.

Haeck, J., R. Hengeveld & H. Turin, 1980. Colonization of road verges in three Dutch Polders by plants and ground beetles (Coleoptera: Carabidae). Entomologia Generalis 6: 201 – 215.

Harms, W.B., A.H.F. Stortelder & W. Vos, 1984. Effects of intensification of agriculture on nature and landscape in the Netherlands. Ekologia (CSSR) 3: 281 – 304.

Kaule, G., 1983. Vernetzung von Lebensräumen in der Agrarlandschaft. Daten und Dokumente zum Umweltschutz, Sonderreihe Umwelttagung 35: 25 – 41.

Kaule, G., A. Beutler, G. Scholl, H. Schwenniger & F. Seidl, 1984. Oekologische Wirkungen unterschiedlicher Wirtschaftswegetypen. Flurbereinigungswege II, Arbeitsbericht 16, Inst. f. Landschaftsplanung.

Klein, A., 1980. Die Vegetation an Nationalstrassenböschungen der Nordschweiz und ihre Eignung für den Naturschutz. Veröffentlichungen des Geobotanischen Inst. der ETH, Stiftung Rübel, Zürich 72.

Klinkhamer, P.G.L. & T.J. de Jong, 1985. Shoot biomass and species richness in relation to some environmental factors in a coastal dune area in The Netherlands. Vegetatio 63: 129–132.

Kopecky, K., 1971. Der Begriff der Linienmigration der Pflanzen und seine Analyse am Beispiel des Baches Studeny und der Strasse in seinem Tal. Folia Geobot. Phytotax. (Praha) 6: 303–320.

Kopecky, K., 1978. Die strassenbegleitenden Rasengesellschaften im Gebirge Orlicke Hory und seinem Vorlande. Vegetace CSSRA 10. Academia Verlag der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Praha.

Korevaar, H., M.J.M. Oomes & H.J. Altena, 1981. Produktie en botanische samenstelling van extensief gebruikt grasland. Bedrijfsontwikkeling, 12: 985–993.

Krause, A., 1982. Strassenbegleitgrün. Eine Chance für Flora und Vegetation in Händen der Strassenmeistereien. Natur und Landschaft 57: 57–61.

Krause, A., 1984. Strassenseitenflächen als Siedlungsplatz für Wildpflanzen Beobachtungen an der Bundesautobahn 'Sauerlandlinie'. Natur und Landschaft 59: 136–138.

Last, F.T., 1983. The ecology of management of vegetation. In: Way, J.M. (Ed.): Management of vegetation. British Crop Protection Counsel. Monograph no. 26: 1–25.

Maarel, E. van der, 1970. Plant species diversity in relation to management. In: Duffey, E. & A.S. Watt (Eds): The scientific management of animal and plant communities for conservation. Blackwell Sci. Publ., Oxford: 45–63.

Mabelis, A.A. & H. Turin, 1982. De invertebratenfauna van de Zuidlimburgse kalkgraslanden. Beheer. Natuurhistorisch Maandblad 71: 199–207.

Mader, H.-J., 1980. Die Verinselung der Landschaft aus tierökologischer Sicht. Zeitschr. f. Umweltschutz und Landespflege 55: 91–97.

Mills, S., 1986. Roads run over conservation. New Scientist, 20 Febr. 1986: 44–47.

Morris, M.G., 1970. The management of grassland for the conservation of invertebrate animals. In: Duffey, E & A.S. Watt (Eds): The scientific management of animal and plant communities for conservation. Blackwell Sc. Publ., Oxford: 527–552.

Mörzer Bruyns, M.F., 1972. Behoud en beheer van levensgemeenschappen. Syllabus afd. Natuurbehoud en -beheer, Landbouwhogeschool, Wageningen.

Olschowy, G., 1975. Strasse und Umwelt. Oekologische Gesichtspunkte beim Strassenbau. Natur und Landschaft 50: 337–343.

Oomes, M.J.M. & H. Mooi, 1981. The effect of cutting and fertilizing on the floristic composition and production of an *Arrhenatherion elatioris* grassland. Vegetatio 47: 233–239.

Overkamp, E.T.M., 1985. Natuurtechnische erosiebestrijding op taluds (2). Land en Water-nu 9: 28–32.

Overkamp, E.T.M., 1985. 10 Jaar vegetatieontwikkeling op de taluds langs de A1. Land en Water-nu 8: 27–30.

Rorison, I.H., 1970. The use of nutrients in the control of the floristic composition of grassland. In: Duffey, E. & A.S. Watt (Eds): The scientific management of animal and plant communities for conservation. Blackwell Sc. Publ., Oxford: 65–77.

Rijkswaterstaat, 1986. Gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen. Dienst Weg– en Waterbouwkunde (DWW), Wegwijzer 3.

Schmidt, W., 1985. Mahd ohne Düngung – vegetationskundliche und ökologische Ergebnisse aus Dauerflächenuntersuchungen zur Pflege von Brachflächen. In: Schreiber, K.-F. (Ed.): Sukzession auf Grünlandbrachen. Vorträge Symp. Arbeitsgruppe 'Sukzessionsforschung auf Dauerflächen'. Ferdinand Schöningh, Paderborn: 81–99.

Schweizerischer Bund f. Naturschutz, 1983. Strassenrand und Strassenböschung. SBN-Merkblatt nr 3. SBN, Basel und SZU, Zofingen.

Scott, N.E. & A.W. Davison, 1985. The distribution and ecology of coastal species on roadsides. Vegetatio

62: 433–440.
Skirde, W., 1984. Rasen oder Blumenwiese. Neue Landschaft 29: 427–442.
Steubing, L. & U. Kirschbaum, 1976. Immissionsbelastung der Strassenrandvegetation. Zeitschr. f. Umweltschutz u. Landespflege 51: 239–245.
Stichting Natuur en Milieu, 1975. Rivierdijkverzwaring. Een aanslag op het landschap. Reeks 'Natuur en Milieu' nr. 6.
Stichting Studie Centrum Wegenbouw, 1980. Wegbermbeheer. Med. SCW-werkgr. E6, nr. 49, Arnhem.
Stuart Chapin, F., 1980. The mineral nutrition of wild plants. Ann. Rev. Ecol. Syst. 11: 233–60.
Sukopp, H. & U. Hampicke, 1985. Ökologische und ökonomische Betrachtungen zu den Folgen des Ausfalls einzelner Pflanzenarten und -gesellschaften. In: Warum Artenschutz? Heft 46, Deutscher Rat für Landespflege: 595–609.
Sýkora, K.V. & C.M.P. Sýkora-Hendriks, 1977. A phytosociological investigation of the dikes of the 'Zak van Zuid-Beveland', the Netherlands. Proc. Kon. Ned. Akademie v. Wetenschappen, series C 80: 212–227.
Sýkora, K.V. & P. Zonderwijk, 1986. Kleurrijke dijkbeemden: hoe lang nog? Waterschapsbelangen 71: 247–254.
Sýkora, K.V. & C. Liebrand, 1986. Behoud, herstel en ontwikkeling van soortenrijke dijkvegetaties. Waterschapsbelangen 71: 686–700.
Sýkora, K.V., L. de Nijs & T. Pelsma, 1988. Plantengemeenschappen in Nederlandse wegbermen en de zeldzaamheidswaarde van de bermflora. De Levende Natuur 89: 14–20.
Tanghe, M., (1986). Approche floristique et phytoecologique des espaces verts autoroutiers de la Moyenne Belgique (Brabant-Hainaut). Bull. Soc. Roy. Bot. Belg. 119: 22–34.
Way, J.M., 1970. Further observations on the management of road verges for amenity and wildlife. In: Way, J.M. (Ed.): Road verges – their function and management.
Way, J.M., 1977. Roadside verges and conservation in Britain: a review. Biol. Conserv. 12: 65–75.
Wegelin, T., 1984. Schaffung artenreicher Magerwiesen auf Strassenböschungen. Veröffentlichungen des Geobot. Inst. der ETH, Stiftung Rübel, Zürich 82: 7–105.
Westhoff, V., 1964. Nederlandse Spoorwegen. De Levende Natuur 67: 104–111.
Westhoff, V., 1976. Die Verarmung der niederländischen Gefässpflanzenflora in den letzten 50 Jahren und ihre teilweise Erhaltung in Naturreservaten. Schr. reihe f. Vegetationskunde 10: 63–73.
Westhoff, V., 1979. Bedrohung und Erhaltung seltener Pflanzengesellschaften in den Niederlanden. In: Wilmanns O. & R. Tuexen (Eds): Werden und Vergehen von Pflanzengesellschaften: 285–314.
Westhoff, V. & H.J. den Held, 1975. Plantengemeenschappen in Nederland. Thieme, Zutphen.
Westhoff, V. & P. Zonderwijk, 1974. De Nederlandse Spoorwegen en de wilde flora. Tijdschr. Ver. Kon. Ned. Heide Mij 85: 2–9.
Willems, J.H., 1983. Species composition and above ground phytomass in chalk grassland with different management. Vegetatio 52: 171–180.
Zon, J.C.J. van & P. Zonderwijk, 1981. Linten in het landschap. Tijdschr. Kon. Ned. Heide Mij 92: 183–192, 205–215, 279–286.
Zonderwijk, P., 1970. Enkele consequenties verbonden aan het gebruik van herbiciden. Gewasbescherming 5: 94–98.
Zonderwijk, P., 1971. Evaluatie van het gebruik van herbiciden langs wegen. Wet. Med. Kon. Ned. Natuurh. Ver. nr. 87.
Zonderwijk, P., 1971. Verantwoord gebruik van onkruidbestrijdingsmiddelen in berm, sloot en beek. Natuur en Landschap 25: 1–17.
Zonderwijk, P., 1974. Oorzaak en gevolgen van gewijzigd wegbermonderhoud. Groen 6: 172–176.
Zonderwijk, P., 1978. Het behoud van flora en fauna in het cultuurlandschap. In: Wetenschap in dienst van het natuurbehoud. Uitg. 50 jr Bestaan Nat. wet. sch. Csie Natuurbeschermingsraad: 53–68.
Zonderwijk, P., 1981. Landbouw en landschap. Landbouwkundig Tijdschrift 93: 282–287.
Zonderwijk, P., 1982. Thoughts on the ecological principles of weed science. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent 47: 15–26.

# 15 Beheer van openbaar groen

E.A.D. Baart

## 15.1 Inleiding

De totale oppervlakte van door gemeenten te onderhouden openbaar groen bedraagt in Nederland ongeveer 120 000 ha.

De financiële middelen voor aanleg en onderhoud zijn verschillend te kwantificeren; ze stammen grotendeels uit de kapitaalsdienst.

Het blijkt dat het verschil in kosten tussen gemeenten groot kan zijn. Dit spreekt voor zich, alleen al vanwege het verschil dat bestaat tussen landelijke gemeenten en gemeenten in stedelijke gebieden. De verschillen in onderhoudskosten zijn dan ook niet zonder meer te kwantificeren met minder goed en/of efficiënt.

De inrichting en situering van openbaar groen is een boeiende aangelegenheid. De diversiteit aan functies, belangen en ideeën beïnvloedt de waarde van het groen en draagt bij aan het karakter van stad of dorp.

Met het in werking treden van de nieuwe wet op de ruimtelijke ordening, wordt in Nederland aan de gemeenten meer vrijheid toegekend bij de inrichting van bestemmingsplannen. Groenvoorziening is een deelaspect van de ruimtelijke ordening en het zijn met name de bestemmingsplannen waarin deze deelbelangen in onderling overleg gestalte moeten krijgen. Voor het afwegen van de diverse belangen binnen dit kader is het uitwerken van eigen plannen noodzakelijk. Hierbij worden ontwerp en inrichtingsstructuur aangegeven, waarin de eigen visie op de groeninrichting wordt vastgelegd. Op deze manier is het mogelijk zich een goede uitgangspositie te verschaffen bij de invulling van het bestemmingsplan.

## 15.2 Beleidsplanning

Beleid is onder andere het visualiseren van het beoogde ontwikkelingsproces op de lange termijn. Ter realisering is planning het begeleidende instrument. Het beleidsmatig beheer van groen is weer in te delen in:

- groenstructuurplan, waarin de doelstelling, plaats van omvang van het groen thuishoren;
- groenbeheersplan, waarin de aard, samenstelling en het toekomstbeeld van de beheerseenheden, verder het overzicht van de te nemen beheersmaatregelen en het kostenaspect op wat langere termijn;
- werkplan, dat inzicht geeft waar en wanneer gehandeld moet worden, met welke apparatuur en tegen welke kosten; dit maakt een kostenoverzicht casu quo rationele

bedrijfsvoering mogelijk waardoor tevens de knelpunten in het systeem kunnen worden aangegeven.

### 15.3 Groenbeheer

Het beheer van openbaar groen heeft zich de laatste jaren in menig opzicht gewijzigd, vooral door het minder toepassen van herbiciden. Soms wordt het gebruik ervan zelfs geheel achterwege gelaten, dit laatste heeft, doordat een planmatige aanpak vaak ontbrak, dikwijls geleid tot een wildgroei van onkruiden.

Op gemeentelijk niveau was het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen – bedrijfseconomisch – algemeen aanvaard. De redenen voor vermindering van het gebruik waren: milieu-overwegingen en het ontstaan van een grotere belangstelling bij de bewoners voor meer natuur in de woonomgeving; daarnaast trad een zekere mate van tolerantie op voor 'onkruid'.

Beleidsmatige aanpak bleek onmisbaar te zijn; met name naar het politiek bestuur moest duidelijkheid komen. Zo verscheen in juni 1982 de brochure 'Beleidsmatig Groenbeheer' van de Nederlandse Vereniging van Beplantingen, rayon Midden-Nederland. Hierin werd een planningsstructuur ontwikkeld met een bedrijfseconomische visie. Ook het Consulentschap in Algemene Dienst Stedelijk Groen en de Vereniging van 'Hoofden van Beplantingen' hebben via een brochure te kennen gegeven hoe door middel van andere onderhoudsmethoden omgeschakeld kan worden naar een ander groenbeleid.

Daarnaast zijn in publikaties en brochures diverse vaktechnische adviezen en praktische ervaringen verschenen. In het kader van de ook in deze sector verder doorgaande privatisering zal duidelijk gemaakt moeten worden dat het onderhoud van het openbaar groen niet altijd erg duur is en alleen maar veel geld in het handmatig schoffelen moet worden gestoken.

### 15.4 Beplantingen

De toepassing van alternatieve methoden, zoals branden, maaien, schoffelen en wieden, geraakte in een stroomversnelling, alsook het gebruik van houtsnippers, schors en plastic als bodembedekkers. Daarnaast werd geëxperimenteerd met eenjarige en overblijvende kruidachtige planten en met bodembedekkende heesters. Het onderzoek probeerde deze drang naar vernieuwing zo goed mogelijk bij te houden (werkgroep Onkruidbeheer in Houtig Openbaar Groen. Coördinatie Commissie Onkruidonderzoek – NRLO).

De methoden die nu het meest worden toegepast, zijn bodemdekking met heesters, witte klaver (*Trifolium repens*), houtsnippers en dergelijke, en selectief schoffelen. Bij het gebruik van bodembedekkers tracht men de onkruidgroei zoveel mogelijk te beperken; bij het selectief schoffelen worden alleen die plantesoorten bestreden die ongewenst zijn. Toch is er nog een groot aantal zaken die om een oplossing vragen. Zo is het de vraag of het gebruik van herbiciden toch nodig kan zijn. Dit is afhankelijk

van de situatie. Bij het in gebruik nemen van langduring braakliggend terrein bijvoorbeeld, verdient het wel altijd overweging. De belangrijkste onkruiden die in zo'n geval moeten worden bestreden, zijn overblijvende mono- en dicotyle soorten. De concurrentiekracht van kweek (*Elymus repens*), veenwortel (*Polygonum amphibium*), akkerdistel (*Cirsium arvense*), klein hoefblad (*Tussilago farfara*) en dergelijke, is groot en kan de ontwikkeling van de aanplant sterk vertragen. Andere onderhoudsmethoden (zoals bijvoorbeeld bodembedekkers) zijn in deze situatie vaak niet effectief genoeg. Het ligt dus voor de hand, dat het systeem om deze onkruiden met chemische middelen te bestrijden vóór het inplanten, een goede uitgangsbasis kan zijn om daarna met andere methoden meer kans van slagen te hebben.

Niet alleen voor de aanleg, maar ook tussen het moment van planten en het moment waarop de beplanting in meerdere of mindere mate een gesloten bladerdek heeft gevormd, kan onkruidbestrijding nog wenselijk zijn. Heel belangrijk is hier echter de ontwikkeling dat men een wilde onderbegroeiing veel minder als ongewenst ziet en de bestrijding in de tijd gezien sterk beperkt; bijvoorbeeld tot een half jaar na de inplant (in plaats van 3 – 4 jaar zoals vroeger meestal gebeurde). Na het sluiten van het bladerdek is bestrijding meestal overbodig (door verminderde lichtinval) en kan men het beperken tot de randen van de beplanting.

Bewust – vakkundig – gebruik van herbiciden kan tot nu toe nog moeilijk worden gemist. Enkele voorbeelden van toepassingen zijn:

– Overblijvende onkruiden worden bestreden met dichlobenil of met het mengsel dichlobenil + dalapon. Het mengsel heeft door de toevoeging van dalapon tevens een goede werking op kweek (*Elymus repens*).

– Wanneer vooral overblijvende grassen voorkomen, waaronder kweek, of indien grassen in een dicotyle vegetatie voorkomen kan fluazifop-butyl worden toegepast; aan dit middel wordt een uitvloeier toegevoegd. Het beste effect wordt verkregen als het onkruid goed in groei is. Dit geldt eveneens voor glyfosaat, dat ter voorkoming van schade aan de beplanting wordt toegepast met een onkruidbestrijker.

– Ter bestrijding van windesoorten (akker- en haagwinde, *Convolvulus arvensis* en *Calystegia sepium*) kan MCPA worden aangewend op het moment dat de ranken beginnen te klimmen. Om schade aan de beplanting te voorkomen, wordt bij de toepassing een afschermkap gebruikt.

Onkruidbeheersing op langere termijn met alternatieve methoden gaat vooralsnog gepaard met verhoogde financiële inspanningen bij aanleg en uitvoering. Eerst op langere termijn is sprake van enige mate van overeenkomst met de vroegere werkwijze.

De methoden die men voor ogen heeft, om door middel van interspecifieke concurrentie het onkruid te beteugelen of te weren, hebben bij het onderzoek tot nog toe te weinig capaciteit gekregen. Slechts enkele plantesoorten voldoen aan de eisen om op grote schaal toepasbaar en voldoende concurrentiekrachtig te zijn, alsook nog 'aardig zijn om te zien'. Bovendien zijn de prijzen voor het zaad van plantesoorten, in het bijzonder van de 'wilde', zeer hoog en is het risico voor een 'misgewas' groot. Bundeling van kennis over de soort en zijn groeivoorwaarden in deze is gewenst. In feite zou men van een eigen kwekerij moeten uitgaan.

Ongetwijfeld zal een variatie in beheersmethoden, al naar gelang de doelstellingen, de richting zijn waarin de beheerder moet denken. Vanzelfsprekend zijn de investeringskosten bepalend voor wat men kan realiseren.

## 15.5 Grasvelden

De grasvelden zijn ook aan een hernieuwde beschouwingswijze toe. Het is bijvoorbeeld geen zeldzaamheid dat gazons 20–25 keer per jaar worden gemaaid zonder dat men zich afvraagt of een ander systeem van onderhoud ook aanvaardbaar is.

Het verdient aanbeveling na te gaan welke grasvelden in aanmerking komen voor een andere beheersmethode. Dit is onder andere afhankelijk van de wijze van gebruik of doelstelling. Mogelijkheden die overweging verdienen zijn: minder frequent maaien en meer dicotyle soorten toelaten, waardoor geprofiteerd kan worden van hun concurrentiekracht ten opzichte van de grassen; waar nodig afvoeren van het maaisel, zodat hier geen bemestend effect van uitgaat en de structuur en de botanische samenstelling van de vegetatie veranderen.

Het beeld van het gazon verandert hierdoor weliswaar, maar het aantal maaibeurten kan worden teruggebracht, ofschoon het resultaat in dit laatste opzicht op respectievelijk zwaardere, rijkere grondsoorten minder gunstige lijkt dan op lichtere, armere grondsoorten.

Sommige grasvelden kunnen zich ook lenen als plukweide. Kennis van de levenswijze van de afzonderlijke plantesoorten is ook hierbij geboden, wil het geheel niet op een mislukking uitlopen. Het insektenleven, in het bijzonder van bloembezoekende insekten, zal hierdoor worden gestimuleerd.

In Nederland is verder het gebruik van grote grazers (Heckrunderen, Schotse hooglanders en dergelijke) op proefschaal, op gang gekomen. De eerste resultaten lijken niet ongunstig.

In menig opzicht hebben sommige gemeenten al een aanzet tot een andere werkwijze gegeven. Er wordt hierbij in het totale kader van onderhoud zoveel mogelijk ingespeeld op de 'natuurlijke' omstandigheden. Deze wijze van aanpak, waar bijvoorbeeld het buitengebied als 'groene vingers' tot ver in het centrum van de stad doordringt, draagt ertoe bij dat kleine problemen worden ingepast in het totaal en zodoende minder opportuun worden.

Nog te veel wordt de nieuwe werkwijze als complex maar vooral als anders ervaren. Dit vraagt dus om een duidelijke presentatie naar de burgers en bestuurders, waardoor de methode beter zal worden gewaardeerd.

## Literatuur

Bornkamm, R., J.A. Lee & M.R.D. Seeward (Eds), 1982. Urban ecology. The 2nd Eur. ecological symp., Berlijn, 1980.

Buys, R., H.D. van der Kamp, H.J.M. Waanders, M.C.J. van der Jagt & L. de Vries, 1982. Afstoten van openbaar groen. Groen 38: 411–414.

Cleveringa, H.N.B., 1987. Wordt het groen steeds grijzer? Groen 10: 18–19.
Consulentschap in Algemene Dienst voor Gewasbescherming, Plantenziektenkundige Dienst, 1987. Gewasbeschermingsgids. Handboek voor de bestrijding van ziekten, plagen en onkruiden en de toepassing van groeiregulatoren in de akkerbouw, veehouderij, tuinbouw en het openbaar groen. Wageningen.
Consulentschap voor Tuinaanleg en Onderhoud, 1974. Aanleg en onderhoud van openbaar groen.
Ellenberg, H., K. Müller & T. Stottele, 1981. Strassen-Ökologie. Auswirkungen von Autobahnen und Strassen auf Ökosysteme Deutscher Landschaften. Broschürenreihe der Deutschen Strassenliga, Ausgabe 3, Bonn.
Groeneveld, R.M.W., 1983. Onkruidbeheersing in jong bosplantsoen. Tuin en Landschap 5: 20–21.
Groeneveld, R.M.W., 1983. Bodembedekkers ter onderdrukking van onkruiden. Tuin en Landschap 5: 18–21.
Groeneveld, R.M.W., 1983. Zoeken naar natuurlijker methoden. Onkruidbeheersing in jong bosplantsoen. Tuin en Landschap 5: 20–23.
Groeneveld, R.W.M., 1983. Bodembedekking vermindert kans op erosie op taluds. Tuin en Landschap 5: 31.
Hoestra, H., 1982. Toepassing van landbouwkundig onderzoek: van wegberm tot openbaar groen. Landbouw en Onderzoek, 1: 3–7.
Hoogerkamp, M. & J.W. Minderhoud (Eds), 1975. Grasveldkunde. Aanleg en onderhoud van grasvelden voor gebruiks- en sierdoeleinden. Pudoc, Wageningen.
Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, 1980. Tijdnormen voor aanleg en onderhoud van groenvoorzieningen c.a. Wageningen. IMAG, Wageningen.
Kouwenhoven, P., 1981. Giftige planten in openbaar groen? Tuin en Landschap 3: 20–21.
Martinot, P.F., 1987. Bedrijfsmatig groenbeheer. Groen 10: 12–17.
Naber, H., 1982. Onkruidbeheer in het openbaar groen. Bestrijding is tijdelijke zaak. Tuin en Landschap 4: 28–29.
Olsthoorn, A.F.M. & R.M.W. Groeneveld, 1982. Schors als onkruidbestrijdingsmiddel duur maar efficiënt. Tuin en Landschap 4: 14–17 & 9: 30–31.
Opstal, N.A. & J. Louisse, 1982. Veel bruikbare eigenschappen bodembedekkers. Tuin en Landschap 4: 26–29.
Pannekoek, G.J., 1975. Openbaar groen en recreatie. In: Tuinen: tuin, park, landschap. Kosmos, Amsterdam.
Remlinger, W., 1985. Rosen oder Rasen? Praxisversuch mit niedrig bleibenden, flächendeckenden Straucharten an Strassen. Strasse und Autobahn: 334–337.
Rensenbrink, G. & C. Split, 1984. Versnipperd hout maakt kans voor weren onkruid. Tuin en Landschap 6: 16–17.
Sipkes, C., 1979. Semi-natuurlijke vegetaties als element van het openbaar groen. Groen 35: 123–125.
Stolk, T., 1985. Openbreken van bosplantsoen biedt kansen aan ondergroei van kruiden. Tuin en Landschap 7: 12–17.
Stolk, T., 1985. Chemische middelen naast alternatieven soms nog onmisbaar. Tuin en Landschap 7: 14–17.
Verhaag, G.J.A. & G. van Tol, 1984. Mogelijkheden bij onkruidbestrijding vooralsnog beperkt. Experimenten met bodembedekkende kruiden. Tuin en Landschap 6: 28–29.
Verhaag, G.J.A. & G. van Tol, 1984. Ondergroei van kruiden niet nadelig voor beplanting. Tuin en Landschap 6: 24–25.
Vincent, G. & Y. Bergeron, 1985. Weed synecology and dynamics in urban environment. Urban ecology 9: 161.
Wael, J. de, 1983. Het gebruik van houtversnipperaars en de toepassing van houtsnippers in het openbaar groen. Groenkontakt 3: 70–77.
Wychman, G., 1984. Minder strepen met rode potlood in onderhoudsbudgetten. Tuin en Landschap 6: 12–15.
Wychman, G., 1984. CAD SG-enquête gemeentelijk groen. Tuin en Landschap 6: 10–13.
Zonderwijk, P., 1973. Herbiciden en milieu. Waterstaat in de provincies 4: 9–15.
Zonderwijk, P., 1975. Grenzgebiete beim Einsatz von Herbiziden-Schutz der Wildflora und Fauna.

Zeitschr. f. Pflanzenkrankh. und Pflanzensch. 82, Heft 5/75: 271–285.
Zonderwijk, P., 1975. Oecologische aspecten van de selectieve bestrijding van onkruiden. Gewasbescherming 6: 107–119.
Zonderwijk, P., 1977. De orde van aangekleed groen. Groen, febr. 8 pp.
Zonderwijk, P., 1982. More recent forms of management with the help of wild plants in the urban greenery. Congressrep. The natural city. Int. Fed. of Park and Recreation Adm., June 1982. 's-Gravenhage.

# 16 Toekomstverwachtingen inzake onkruidkunde in de land- en tuinbouw en randgebieden

Enerzijds wordt de toekomstverwachting van de onkruidkunde binnen de produktieve sectoren van de land- en tuinbouw, de teelt van cultuurgewassen, behandeld en anderzijds die binnen de niet- produktieve randgebieden, namelijk de civieltechnische objecten zoals wegbermen, watergangen en plantsoenen. Deze tweedeling is gebaseerd op een verschil in sociaal-economische benaderingswijze tussen beide sectoren. Hierbij dienen het doel en de functie van het object, gezien vanuit de beheerder, als onderscheidende factoren. Wel is er weinig verschil in onkruidkundige benadering tussen de teelten en de civieltechnische objecten. Zo wordt bij beide gebruik gemaakt van de kennis van biologie en ecologie van soorten en vegetaties en van kennis van de invloed van maatregelen hierop. De vraagstelling over het al of niet ongewenst zijn van aanwezige planten is eveneens overeenkomstig. Bovendien is er sprake van een geografische verwevenheid van de teelten en randgebieden.

## 16.1 Land- en tuinbouw (J. Stryckers, P.M. Spoorenberg en M. Van Himme)

### *16.1.1 Gevolgen van de moderne land- en tuinbouwsystemen*

Alvorens de blik op de toekomst te richten is het nodig eerst even achterom te kijken, om zo beter de toestand te kunnen omschrijven waarvan we inzake onkruidbestrijding in de moderne land- en tuinbouwsystemen vertrekken:
- de moderne land- en tuinbouw leidden tot inter- en intraspecifieke verschuivingen in de onkruidvegetaties;
- jarenlange eenzijdige inzet van herbiciden was zelfs oorzaak van het naar voor treden van herbicideresistente onkruidpopulaties;
- onmiddellijke maatregelen tegen resistentie dringen zich op.

#### 16.1.1.1 Inter- en intraspecifieke verschuivingen in de onkruidvegetaties

De moderne land- en tuinbouw in Noordwest-Europa is onder andere gekenmerkt door een geringe mate van vruchtwisseling met een beperkt aantal gewassen en een grote inzet van kapitaal en van energie (onder meer voor mechanisatie, bemesting, gewasbeschermingsmiddelen, zelfs voor klimaatregeling). De bedrijven zijn geëvolueerd naar een sterke specialisatie, gericht op enkele produkten, waaruit men een zo hoog mogelijk rendement tracht te halen. De opbrengsten per oppervlakte-eenheid zijn hoog en stijgen zelfs nog steeds, wat noodzakelijk is om het inkomen van de ondernemer te garanderen.

Deze verdergaande specialisatie kant zich echter tegen veel van deze bedrijven. De onkruidproblemen die we thans kennen hangen vrijwel alle direct of indirect samen met deze intensivering.

Op deze wijze zijn de nitrofiele kweek (*Elymus repens*), ridder- en krulzuring (*Rumex obtusifolius* en *R. crispus*), evenals door aanhoudende zaadvorming in een opener zode straatgras (*Poa annua*) en vogelmuur (*Stellaria media*) probleemplanten geworden bij het intensieve graslandgebruik op het moderne melkveebedrijf.

De korte rotaties van gewassen binnen de bedrijven en de verbouw ervan op grote arealen met eenzelfde gewas hebben geleid tot interspecifieke en zelfs tot intraspecifieke verschuivingen in de onkruidvegetaties in de richting van sterk aan deze gewassen aangepaste onkruidsoorten en biotypen binnen de soorten. Naast de onkruidbestrijding hebben ook andere facetten van de gewasteelt, zoals ontwatering, grondbewerking, bemesting en de overige gewasbeschermingsmaatregelen, invloed op groeiplaats en groeimogelijkheden van onkruiden.

Veel van de huidige akkerbouwgewassen bedekken de grond betrekkelijk laat in het voorjaar (bijvoorbeeld bieten, aardappelen, maïs). Met herbiciden kunnen deze akkers langere tijd onkruidschoon worden gehouden, waardoor laat kiemende onkruiden [thermofyten zoals hanepoot (*Echinochloa crus-galli*), zwarte nachtschade (*Solanum nigrum*), harig knopkruid (*Galinsoga ciliata*), of ook onkruiden met gespreide kieming, zoals melganzevoet (*Chenopodium album*)] in deze situatie zonder andere concurrentie dan die van het gewas bevoordeeld worden.

Bij deze nauwe rotaties oefent het steeds frequenter gebruik van breedwerkende herbiciden een grote selectiedruk uit. Algemeen worden hierbij wel de meeste onkruidsoorten met succes bestreden, maar één of zelfs enkele soorten kunnen zich juist weer feller manifesteren, met als gevolg dat de resterende of nieuwe probleemonkruiden uitbreiden en soms hardnekkiger zijn; ze eisen onder meer aanvulling met weer nieuwe herbiciden. Via de graangewassen kende men aldus uitbreiding van kleefkruid (*Galium aparine*), akkervioltje (*Viola arvensis*), klimop-ereprijs (*Veronica hederifolia*) en zelfs van eenjarige dovenetels (*Lamium* spp.), als paarse dovenetel (*Lamium purpureum* var. *purpureum*) en hoenderbeet (*L. amplexicaule*), die in volggewassen wel speciale moeilijkheden veroorzaken; bijvoorbeeld kleefkruid in aardappelen en bieten, of hanepoot in schorseneren en stambonen.

### 16.1.1.2 Herbicideresistente onkruidpopulaties

Soms leidt specialisatie tot jarenlange monocultuur; bekend voorbeeld is de maïs. Veeljarige, eenzijdige toediening van 2-chloor-1,3,5-triazinen, meestal atrazin, over grote arealen maïs liet sterke uitbreiding toe van ongevoelige soorten, onder meer van de tolerante onkruidgiersten, als hanepoot, maar ook van resistente populaties zoals biotypen onder meer van melganzevoet en van zwarte nachtschade. In maïs werden hanepoot en zwarte nachtschade dan weer opgevangen met de aceetaniliden alachloor of thans door metolachloor; zwarte nachtschade, melganzevoet en melde (*Atriplex* spp.) onder meer met pyridaat, bromoxynil of bentazon versterkt met paraffine olie.

Meerjarige inzet van simazin in de rozenkwekerij leverde triazineresistent straatgras op, dat dan kon worden opgeruimd met propyzamide, maar dit gaf dan weer aanleiding tot een explosie van klein kruiskruid (*Senecio vulgaris*), dat op zijn beurt gevoelig is voor napropamide en ook wel voor metazachloor. Omdat het betreffende herbicide uiteindelijk waardeloos is geworden voor het betreffende onkruid, moet men telkens weer naar andere bestrijdingsmaatregelen uitkijken. Doch niet altijd zijn die andere maatregelen even effectief als de oorspronkelijke; veelal zijn ze duurder en soms zijn ze er niet eens.

Door Bulcke et al. (1984, 1985a, 1985b, 1986) evenals door Van Oorschot en Van Rensen (hoofdstuk 9) werd erop gewezen dat triazineresistente biotypen ook duidelijk minder gevoelig zijn voor sommige andere herbiciden, waaronder de met de triazinen verwante triazinonen (bijvoorbeeld metribuzin) en triazine-dionen (bijvoorbeeld hexazinon), de diazinen als de uracils (bijvoorbeeld lenacil en bromacil) en het pyridazine chloridazon of bepaalde ureumverbindingen, onder meer monolinuron en ook, zij het in wat mindere mate, het verwante metobromuron (tabel 16.1).

Hierdoor is de instandhouding of, nog erger, uitbreiding van de resistente populaties ook bij andere gewas-herbicidecombinaties mogelijk. Door kruisresistentie, dus met resistentie tegen meerdere middelen, zal aldus een onkruidpopulatie steeds maar moeilijker te bestrijden zijn.

Deze ontwikkelingen zijn tevens een waarschuwing tegen de recente pogingen om door genetische manipulatie resistentie tegen bepaalde herbiciden (die monogeen bepaald is) in gewassen in te bouwen.

Tabel 16.1. Resistentie ten aanzien van andere herbiciden dan triazinen.

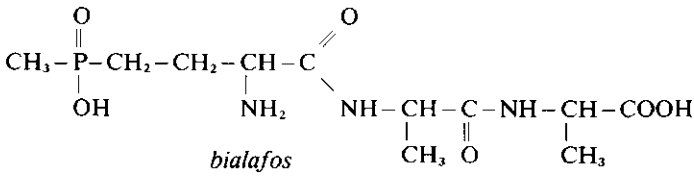
| *Herbiciden* | *Resistentie* | | | |
|---|---|---|---|---|
| | *SOLNI* | *EPICI* | *CHEAL* | *POAAN* |
| Triazinonen: metribuzin | xx | xxx | • | • |
| Triazine-dionen: hexazinon | • | xxx | • | x |
| Uracils: lenacil | xx | xx | • | xxx |
| Pyridazinen: chloridazon | xxx | • | • | • |
| Ureumverbindingen: monolinuron | xx | xxx | xx | xx |
| metobromuron | x–xx | xx | xx | • |
| linuron | x | x | x | • |
| chloorbromuron | o | • | • | x |
| buturon | xx | • | • | x |
| Halo-alifatische zuren: dalapon | • | • | • | x |

xxx = zeer resistent
xx = vrij resistent
x = enige resistentie
o = niet resistent
• = nog onbekend

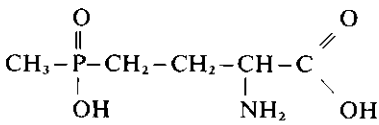
SOLNI = *Solanum nigrum*
EPICI = *Epilobium ciliatum*
CHEAL = *Chenopodium album*
POAAN = *Poa annua*

Tabel 16.2. Structuurformule van:

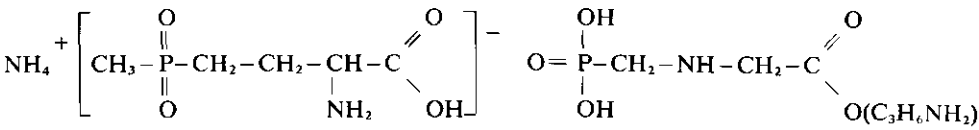
bialafos, 4[hydroxy(methyl)fosfinoyl]-L-homoalanyl-L-alanyl-L-alanine;
fosfinothricine, L-2-amino-4-[(hydroxy)(methyl)fosfinoyl]boterzuur;
glufosinaat, DL-homoalanin-4-yl(methyl)fosfinezuur (ammoniumzout);
glyfosaat, N-(fosfonomethyl)glycine (isopropylaminezout);
chloorsulfuron, N'-(2-chloorbenzeensulfonyl)-N-(4-methoxy-6-methyl-1,3,5-triazin-l-yl)ureum;
metsulfuron-methyl, methyl 2-[3-(4-methoxy-6-methyl-1,3,5-triazin-2-yl)ureïdosulfonyl]benzoaat;
imazamethabenz, (±)-6-(4-isopropyl-4-methyl-5-oxo-2-imidazolin-2-yl)-m-toluinezuur en
(±)-2-(4-isopropyl-4-methyl-5-oxo-2-imidazolin-2-yl)-p-toluinezuur.



*bialafos*

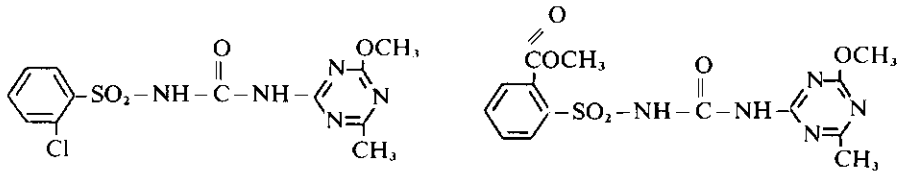


*fosfinothricine*



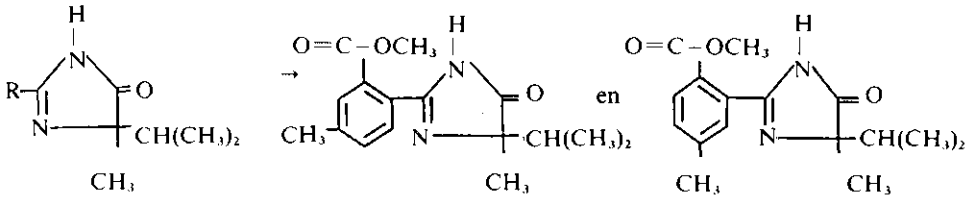
*glufosinaat-ammonium* *glyfosaat-isopropylamine*

**Sulfonylureums**



*chloorsulfon* *metsulfuron-methyl*

**Imidazolinonen**



isomerenmengsel van *imazamethabenz*

Dit werd onder meer door P.G.S., Plant Genetic Systems n.v. te Gent (Boeken, 1987), verwezenlijkt in aardappel, evenals in suikerbiet, met fosfinothricine [metaboliet in hogere planten uit bialafos (thans als standaardnaam: bilanofos), eerste als herbicide gecommercialiseerd microbieel produkt, namelijk uit *Streptomyces viridochromogenes* en gesynthetiseerd als glufosinaat] (Duke & Lydon, 1987). De getransformeerde aardappelplant is tolerant geworden voor het breed-werkend glufosinaat (handelsnaam: Basta of Finale); ze kan het enzymatisch inaktiveren met behulp van fosfinothricine acetyltransferase. In de gevoelige planten wordt daarentegen het enzym glutaminesynthetase geremd, zodat bij licht in het groene weefsel al vlug ammonia accumuleert tot boven de toxische grens en de cellen vernietigd worden (tabel 16.2).

Het breedwerkend glyfosaat (handelsnaam: Roundup), waartegen men eveneens resistentie in gewassen tracht in te bouwen, remt de vorming van aromatische aminozuren doordat het ook een sleutelenzym bij de synthese van onder meer fenylalanine en tyrazine remt (tabel 16.2).

Men tracht ook resistentie in gewassen te introduceren voor sulfonylureumverbindingen, bijvoorbeeld voor het actieve metsulfuron-methyl of zelfs voor het uiterst actieve en persistente chloorsulfuron, of voor imidazolinonen, onder andere imazamethabenz (tabel 16.2).

Deze nieuwere herbiciden hebben een erg specifieke werkingswijze. De sulfonylureums blokkeren de vorming van bepaalde essentiële aminozuren door remming van het acetolactaatsynthase, dat de eerste trap in de biosynthese van deze aminozuren katalyseert, terwijl de tolerante planten deze sulfonylureumverbindingen daarentegen metabolisch inactiveren. De imidazolinonen remmen of stoppen eveneens de biosynthese van essentiële aminozuren, zodat de groei spoedig na de behandeling onderbroken wordt.

De essentiële aminozurenbiosynthese blijkt een belangrijke, nieuw ontdekte werkingsplaats te zijn. Frequent gebruik op ruime schaal van deze stoffen zal echter ook al weer selectie van resistente biotypen meebrengen.

### 16.1.1.3 Maatregelen tegen resistentie

Men zou daarentegen in de toekomst juist dringend allerlei maatregelen dienen te treffen om deze resistentie af te remmen of zelfs terug te dringen. Om de eenzijdige selectiedruk te doen afnemen, is meer afwisseling nodig van gewassen en van herbiciden.

- Liefst maakt men minder gebruik van herbiciden met lange werkingsduur in de bodem. Bij bladherbiciden moet niet frequent hetzelfde middel worden gespoten.
- Mengsels van herbiciden met verschillende werkingswijzen kunnen het optreden van resistentie ten aanzien van één van de componenten weren, mede door dosisvermindering van elk van de componenten.
- Doordat de resistente biotypen, zeker in de beginperiode van hun optreden, veelal gebreken vertonen, onder andere een habitus die meer frêle uitziet en algemeen geringere leef- en concurrentiekracht, zijn ze vaak gevoeliger voor andere herbiciden. Waar zich problemen in de onkruidbestrijding voordoen, dient men vroeger op andere

herbiciden over te schakelen in plaats van geleidelijk de dosis op te voeren zoals dit bijvoorbeeld helaas ondanks de vele waarschuwingen met atrazin in maïs gebeurd is. Bovendien moet worden opgemerkt dat (onder meer bij maïsmonocultuur) al is vastgesteld dat door verdere selectie biotypen met geringere 'fitness' kunnen evolueren tot efficiëntere organismen.

– Liever zal men herbiciden met een meer complexe werking inzetten dan herbiciden die slechts op één bepaald proces inwerken. Bovendien kunnen nieuwe herbiciden met andere inwerkingsplaatsen hierbij het kwaad nog vlugger helpen bezweren.

– Zelfs variatie in dosis van een bepaald herbicide zou al het risico kunnen verminderen, tenminste waar de inzet van bedoeld herbicide nog jong is. Met lage doses kan men een voldoende populatie van gevoelige individuen (heterozygoten waarbij resistentie recessief is) of gevoelige allelen in stand houden; met hoge doses zal men, tenminste bij lage niveaus van resistentie, alle individuen in de populatie bestrijden, zeker waar de resistentie gepaard gaat met geringere levenskracht en aldus zal men de frequentie reduceren van heterozygoten waarbij resistentie dominant is.

Weinig of minder frequente toedieningen doen de selectiedruk afnemen. Meer dan ooit dient men in plaats van onkruidverdelging of -vernietiging louter onkruidbeheersing na te streven. Dit zou kunnen door eerst in te grijpen na de opkomst en meer rekening te houden met de aanwezige onkruiden of eventueel zelfs slechts plaatselijke toedieningen uit te voeren. Dit is niet steeds mogelijk en bovendien zijn behandelingen gebaseerd op (economische) schadedrempels nog moeilijk hanteerbaar voor herbiciden.

Ofschoon men over de biochemische mechanismen van onkruidresistentie, onder meer tegen triazinen, al behoorlijk gedocumenteerd is, zijn er desondanks handige methoden nodig om al vroeg het optreden van resistentie te detecteren. Er bestaan al behoorlijk snelle, kwalitatieve methoden.

– Zo is er de drijfmethode met bladschijfjes ('leaf-disc flotation technique') om resistentie tegen fotosyntheseremmende herbiciden (remmers van de Hill-reactie) vast te stellen bij eenjarige soorten [onder meer triazineresistentie bij beklierd wilgeroosje (*Epilobium ciliatum*), klein kruiskruid (*Senecio vulgaris*) en Canadese fijnstraal (*Erigeron canadensis*)]. Door instellen van een vacuüm brengt men de bladschijfjes tot zinken. Bij toevoeging van een fotosyntheseremmer aan het medium zullen die bladschijfjes dank zij de gevormde zuurstof bij resistentie aan de oppervlakte gaan drijven, maar deze van de gevoelige planten zullen niet of althans veel trager stijgen (Hensley, 1981; Thomas, 1987).

– Chloroplastresistentie is ook gemakkelijk aan te tonen door, na een korte donkerperiode, de fluorescentie van behandelde bladeren of van bladschijfjes na te gaan met een fluorometer. De behandelde, gevoelige plant vertoont langere tijd een hoog fluorescentieniveau. Bij de behandelde, resistente plant wordt daarentegen de elektronenstroom niet geremd en daalt de fluorescentie-intensiteit snel, zoals trouwens ook bij de onbehandelde controleplanten (Ahrens et al., 1981; Arntzen et al., 1982; Beuret, 1984).

Vooral indien kruisresistentie voor talrijke herbiciden met vrij verschillende wer-

kingswijze op grotere schaal verspreid raakt, zal dit aanzienlijke, economische implicaties meebrengen en daarom is het dringend noodzakelijk om de omgevings-, fysiologische en genetische factoren te identificeren die de ontwikkeling van deze resistentie beïnvloeden.

### *16.1.2 Verwachtingen op afzienbare termijn*

De problemen waar men in de naaste toekomst aan dient te sleutelen en de meest voor de hand liggende verwachtingen worden beperkt tot Noordwest-Europa. Die verwachtingen hebben betrekking op:
- de optimalisatie van het herbicidengebruik;
- de aanpassing van de produktie;
- de kennisoverdracht.

#### 16.1.2.1 Optimalisatie van het herbicidengebruik

In het pleidooi voor optimalisatie van het herbicidengebruik worden behandeld:
- de noodzaak tot optimalisatie;
- de mate van onkruidbestrijding;
- de wijze van onkruidbestrijding.

##### 16.1.2.1.1 Noodzaak van optimalisatie

De inzet van herbiciden zal belangrijk blijven. Vooral de hoge loonkosten houden de chemische onkruidbestrijding aantrekkelijk. In de arbeidsintensievere gewassen met klein areaal kan zelfs een toename van het herbicidengebruik plaatshebben. De kosten voor de toelating van betreffende herbiciden zijn aanzienlijk verminderd dank zij het onderzoek van het landbouwkundig gedeelte door onderzoeksinstellingen van de overheid: in België via het Fytofarmaceutisch Fonds en ook onder meer door het IWONL-Centrum voor Onkruidonderzoek; in Nederland onder meer dank zij diverse proefstations. Op deze wijze krijgen zogenaamde kleine gewassen en ook nieuwe, zogenaamde alternatieve gewassen meer kansen. Zodoende komt men ook tot ruimere gewasrotaties en produktiediversificatie.

De ruime keuze aan herbiciden in de gewassen met groot areaal voerde tot algemene toepassing van chemische onkruidbestrijding. Wel is optimalisatie van het herbicidengebruik nodig en dit dient te leiden tot een veiligere, een efficiëntere en een verminderde inzet van chemische onkruidbestrijdingsmiddelen.

Er is noodzaak tot optimalisatie omwille van: het kostenaspect, de milieuhygiënische nadelen, de landbouwkundige nevenwerkingen.

– De steeds stijgende prijzen van de herbiciden benadrukken de noodzaak tot optimalisatie omwille van het kostenaspect. Dit geldt vooral voor die gewassen waar deze kosten relatief hoog zijn ten opzichte van de overige variabele kosten en het rendement, zoals in suikerbieten, aardappelen en graangewassen. De eisen die aan de chemi-

sche middelen gesteld worden, alvorens toelating of verlenging van toelating kan worden verleend, zijn almaar hoger gesteld, waardoor in de toekomst steeds meer herbiciden van de markt zullen verdwijnen en er minder nieuwe te verwachten zijn, die daarenboven ook nog steeds duurder zullen zijn.

– De kennis van de milieuhygiënische nadelen van chemische gewasbeschermingsmiddelen, waaronder de herbiciden, neemt toe. Het betreft onder andere problemen van persistentie en van mobiliteit in het milieu, namelijk verontreiniging van de bodem, het oppervlaktewater, het grond- en drinkwater en de atmosfeer, de risico's voor de volksgezondheid in het algemeen en de risico's voor flora en fauna of voor de ecologische functies. De bezorgdheid voor het milieu neemt toe. De eisen betreffende toxicologie, persistentie en uitspoeling worden strenger. Zelfs de toepassing van deze stoffen in het algemeen gaat men meer en meer als milieuhygiënisch bezwaarlijk aanzien.

– De gevolgen van de landbouwkundige werking en de nevenwerkingen van het herbicidengebruik, zoals het optreden van nieuwe, nog hardnekkiger onkruidproblemen, het gevaar van resistentie door herbiciden, inefficiëntie van de toepassingen en dergelijke dwingen ook tot optimalisatie van het herbicidengebruik in de praktijk.

Het beleid van de overheid dient zich dus te richten op een vermindering van het gebruik van herbiciden en de verwachting is dat dit kan worden gerealiseerd door optimalisatie van dit gebruik. Vanwege de milieuhygiënische en de bedrijfseconomische problemen wordt dergelijke aanpassing noodzakelijk en onafwendbaar geacht.

#### 16.1.2.1.2 Mate van onkruidbestrijding

Voor een goede onkruidbestrijding is het niet nodig om herbiciden met een brede werking in te zetten of tegen een zo breed mogelijk onkruidsortiment te behandelen. Belangrijk is de bestrijding speciaal te richten op ter plaatse te verwachten en aanwezige onkruiden. Maar daarvoor is het wel nodig te weten met welk type onkruid men te stellen heeft; dus moet men de onkruidsoorten al vroeg kunnen herkennen en is meer waakzaamheid in de voorafgaande jaren geboden. Tegelijkertijd dient men de mate van schadelijkheid van de betreffende soorten en de onkruiddichtheid mede te overwegen. Over objectieve criteria bij beslissingen over het wel of niet nemen van bestrijdende maatregelen moet echter nog heel wat kennis worden vergaard.

Er is al heel wat onderzoek gedaan aan kritieke perioden voor het gewas en ook aan schadedrempels, die nochtans soms verrassend laag liggen. Het veilig toepassen van schadedrempels dient echter op een meerjarige berekening te berusten, want ook de onkruidontwikkeling in opeenvolgende cultuurgewassen en de bouwplaneffecten moet men in rekening brengen (hoofdstuk 1). Deze meerjarige berekening vereist onder andere verder onderzoek over de opvolging van onkruiden of populatiedynamisch onderzoek (hoofdstuk 4). Kennis van de kritieke periode kan de periode gedurende welke het onkruid moet worden bestreden, bekorten. Een duidelijk gevolg van dergelijke studies is bijvoorbeeld dat de vóór-opkomst bestrijding van het onkruid meer en meer achterwege wordt gelaten. Goede na-opkomst bestrijdingsmethoden

zijn hiertoe echter vereist. Meer concurrentiestudies zijn bovendien nodig, vooral in een menggewas of cultuurgewas met meerdere onkruidsoorten. Om tot rationelere onkruidbestrijdingsmaatregelen te komen, is een nieuwe benadering van teeltefficiëntie nodig door kennis van de ecologische, fysiologische en biochemische principes die ten grondslag liggen aan de concurrentiemogelijkheden van onkruiden en gewassen.

Tenslotte dient men de populatiedynamische modellen te koppelen aan de concurrentiemodellen (hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3). Met betreffende modelstudies zal men er toe komen effecten van verschillende land- en tuinbouwkundige maatregelen op onkruiden te voorspellen en onderling te vergelijken. Inzichten, verkregen uit de veldproeven en simulaties, zullen in ieder geval nog altijd op praktijkschaal moeten worden getoetst.

16.1.2.1.3 Wijze van onkruidbestrijding

Aan de chemische technieken is al veel werk besteed, maar het is nodig ook de herbicidentoepassingen te optimaliseren. Verbetering van de toediening kan in de naaste toekomst worden bereikt door een betere toepassing van de huidige kennis van de spuittechniek (hoofdstuk 8) en door gebruik van hulpstoffen, zoals uitvloeiers, oliën, zouten en beschermstoffen. Een hoger rendement van de toegediende dosering door verbeterde toedieningstechnieken kan dan eveneens tot een verlaagd herbicidengebruik leiden. Meer kennis omtrent de invloed van de omgevingsfactoren op de werking en effecten van herbiciden, de soortspecifieke herbicidendosering, de invloed van de leeftijd van het onkruid op de gevoeligheid van herbiciden kunnen eveneens leiden tot een afnemend herbicidengebruik.

Aangezien onkruid in het algemeen gevoeliger is voor herbiciden naarmate het jonger is, kunnen duidelijk besparingen in de hoeveelheid herbicide worden verkregen door met lage doseringen het onkruid in een zeer vroeg stadium te bestrijden. Gezien de gespreide kieming van het onkruidzaad betekent dit wel dat de bestrijding, een of enkele keren herhaald moet worden. Ervaringen, met name in de suikerbietenteelt, hebben echter geleerd dat men door deze benaderingswijze duidelijk op kosten en herbicidenhoeveelheid kan besparen.

Tot nog toe wordt vooral de doding van het onkruid nagestreefd. De vraag is echter of een (tijdelijke) stilstand in groei of doding van bepaalde delen van de plant niet reeds voldoende is om het onkruidkarakter aan de betreffende planten te ontnemen en/of de reproduktie zodanig af te remmen dat geen vergroting van het aantal diasporen in de grond optreedt.

Inzicht in de mate van schade van de afzonderlijke onkruiden zou theoretisch de mogelijkheid bieden dat niet de gehele onkruidpopulatie wordt bestreden, doch dat alleen de schadelijkste moeten worden aangepakt. Hiervoor dienen ook binnen de onkruiden selectief werkende herbiciden te worden ontwikkeld.

De optimalisatie van de herbicidentoepassingen zal ook voeren tot ontwikkeling van systemen voor een situatiegerichter toepassing in het kader van een bedrijfstechnische en -economische advisering, maar ook hiervoor is nog veel biologisch onderzoek

nodig.

Een gerichtere keuze van de toe te passen bestrijdingsmaatregelen kan worden gemaakt op basis van de volgende aspecten:

– De mechanische onkruidbestrijding zal een herwaardering moeten krijgen, zeker in het licht van de strijd tegen eenzijdig gebruik van herbiciden en het naar voren treden van herbicidenresistentie bij de onkruiden.

– Fysische technieken kennen daarentegen nog weinig succes onder meer te wijten aan het hoge energieverbruik (bij branden, stomen of elektrokuteren) of ze verkeren nog teveel in een fundamentele fase (bijvoorbeeld gebruik van microgolven); verder onderzoek is hier in ieder geval nodig (hoofdstuk 6). Recente ervaringen in onder andere Denemarken wijzen er echter op dat we ook hier te maken hebben met een potentieel praktijktoepasbare methode.

– De teeltmaatregelen, die niet direct gericht zijn op onkruidbestrijding, verdienen meer aandacht van de herboloog, zoals bouwplankeuze, bemesting, grondbewerking, keuze van de cultivar en zaaitijdstip. De effecten van deze teeltmaatregelen zullen in de overwegingen moeten worden meegenomen.

– Inzake biologische onkruidbestrijding kan er wellicht vooruitgang komen gezien de toegenomen belangstelling van de gewasbeschermingsmiddelenindustrie voor het ontwikkelen van biologische bestrijdingsmiddelen, waarbij men kan denken onder andere aan schimmels als 'biologische herbiciden' (hoofdstuk 7).

De integratie van de diverse onkruidbestrijdingstechnieken in het bedrijfssysteem, gericht op kostenbesparing en minimale belasting van het milieu, zal een steeds belangrijker aandachtspunt worden en nog heel wat onderzoek vergen. De diverse onkruidbestrijdingsmaatregelen zullen een onderdeel moeten gaan vormen van een onkruidbeheersingsstrategie (hoofdstuk 12).

### 16.1.2.2 Aanpassing aan de produktie

Binnen de Europese Gemeenschap komen steeds duidelijker marktverzadiging en zelfs overproduktie van land- en tuinbouwprodukten naar voren. Ofschoon het hier voornamelijk handelt om problemen die hun politieke vertaling nog moeten krijgen, spelen ze toch een rol in de toekomstverwachtingen voor de herbologie. Reeds wordt er luidop aan gedacht om het huidige landbouwareaal tot een lager produktieniveau terug te schroeven door een extensiever landgebruik, zij het met opvoering van de kwaliteit, of zelfs door het uit produktie nemen van gronden (Mansholt stelt 12 miljoen ha van de 138 miljoen ha in de EEG voor; de Europese Gemeenschap hoopt dat in 1990 toch al op ongeveer 900 000 ha deze 'set-aside' zal toegepast worden. Christaens et al., 1987; Tollens, 1987)

De biotechnologische ontwikkelingen zouden ons daarbij wel eens in een stroomversnelling kunnen meesleuren, waarvoor we nu nog niet erg beducht blijken te zijn. Bijvoorbeeld worden door enzymtechnieken onder meer uit maïs zoetstoffen geproduceerd ('high fructose corn syrup') die enkele honderden malen zoeter zijn dan de saccharose uit suikerbiet of suikerriet. De wereldsuikerprijzen kunnen daardoor

zodanig dalen dat hiertegen geen quota-systeem meer bestand is en alleen in de Benelux zouden bij het opgeven van de suikerbietteelt al meer dan 200 000 ha cultuurgrond 'vrijkomen'.

Eventueel zou de houtteelt hierdoor meer aandacht kunnen krijgen, zoals voor winning van houtpulp bijvoorbeeld van de populier. Deze teelt is echter van lange duur en niet flexibel, ofschoon het Rijksstation voor Populierenteelt (C.L.O.-Gent) erin geslaagd is klonen tot stand te brengen als *Populus trichocarpa* × *P. deltoides* 'Beaupré' en 'Boelare' die in 15 jaar een stamomtrek halen van 170 cm. In Long Ashton Research Station (Thomas, 1987) werd met de nog veel sneller groeiende wilg *Salix aquatica gigantea* in drie jaar al een grote hoeveelheid biomassa gewonnen.

Elders zullen er wellicht agrarische gebieden bestemd gaan worden voor rekreatie en voor landschaps- en natuurbehoud. De in Nederland toegepaste beheersvergoedingen, waarbij agrariërs een vergoeding krijgen indien zij bepaalde voorgeschreven handelingen nalaten casu quo doen, die gunstig zijn voor bepaalde aspecten van het natuur- en landschapsbehoud, is hiervan een voorbeeld.

Er werd reeds de ontwikkeling van een zogenaamde bimodale landbouw gesuggereerd, een model met twee bedrijfsvormen: enerzijds bedrijven met een inkomen uitsluitend van de landbouwmarkt, maar anderzijds ook bedrijven met nevenfuncties, waaronder beheer van natuur- en landschapselementen of met toepassing van landbouwmethoden die met de noodzaak tot natuurbehoud in overeenstemming zijn.

Bij deze veranderende functies van delen van het agrarisch gebied zullen mogelijkheden en methoden moeten worden aangegeven om ter plaatse gewenste vegetaties te ontwikkelen en te beheren. Uiteindelijk zal men moeten komen tot een duurzamere vorm van leven met die andere planten op de akkers, in een systeem gericht op een minimale belasting van het milieu gekoppeld aan behoud van economisch rendement.

Hier is het ook de plaats om eraan te herinneren dat de agrarische ondernemer meer en meer gewezen zal worden op beperkingen die er bestaan en verplichtingen die hij heeft in de richting van de niet-produktieve randgebieden, zoals watergangen (hoofdstuk 13), wegbermen (hoofdstuk 14), plantsoenen en ander openbaar groen (hoofdstuk 15), ofschoon dit omgekeerd ook geldt voor de beheerder van de civieltechnische objecten in de richting van de producerende land- en tuinbouw.

### 16.1.2.3 Kennisoverdracht

Dat in de praktijk nog onvoldoende toepassing van kennis, opgedaan bij het onderzoek, bestaat, is gedeeltelijk te wijten aan het algemene vertragingseffect, doch zeker ook aan het feit dat de vele onderzoeksresultaten vaak niet meer in eenvoudige voorlichtingsboodschappen om te zetten zijn. Het overzien en afwegen van alle betrokken aspecten, zoals werking, nevenwerking, keuze van maatregelen, kosten, is een erg complexe zaak geworden. Niet alleen voor de ondernemer, maar ook voor de voorlichter is het ondoenlijk om van al de te nemen maatregelen alle voor- en nadelen te kunnen opsommen en af te wegen. De informatica en automatisering zullen hier een belangrijke rol moeten gaan vervullen. Op korte termijn zal men databestanden en program-

ma's moeten ontwikkelen voor een geautomatiseerde advisering aan de praktijk. Naast programma's voor advisering bij middelenkeuze en dergelijke, zijn op wat langere termijn ook mogelijkheden nodig voor bedrijfstechnische en -economische advisering, modelberekening en prognoses.

### *16.1.3 Mogelijke ontwikkeling op langere termijn*

De grotere agrochemische en farmaceutische firma's trekken meer en meer het biotechnologisch onderzoek naar zich. Deze internationale firma's maken zich nu ook al meer en meer meester van de plantenveredeling. Enorme sommen worden besteed onder meer om herbicideresistente variëteiten van gewassen van uiteenlopende aard tot stand te brengen. De meeste van deze herbiciden zijn gekenmerkt door hun bijzonder brede werking (glyfosaat, glufosinaat) en vele zijn bovendien ook nog persistent in de bodem (pendimethalin, trifluralin) tot zeer persistent (atrazin, sulfonylureumverbindingen, imidazolinonen).

Het wordt eenvoudig goedkoper een gewas aan een herbicide aan te passen dan om een nieuw herbicide te ontwikkelen. Men is de lat zó hoog aan het leggen dat het paard straks niet meer wil of kan springen. Minder en minder zullen we nog nieuwe specifieke herbiciden aangeboden krijgen zoals de systemische bladgraminiciden (waarbij ook nog straatgras zou moeten kunnen worden meegenomen), een geschikt arboricide (en bestrijdingsmiddel van grote brandnetel (*Urtica dioica*) ter vervanging van 2,4,5-T en fenoprop, of stoffen als clopyralid, dat voor diverse gewassen van belang is tegen zelfs talrijke overblijvende composieten, Asteraceae, en dat men een 'astericide' zou kunnen noemen (tabel 16.3).

Op langere termijn zou men wel eens kunnen worden geconfronteerd met een ontwikkeling die helemaal niet past in wat we ons voor de naaste toekomst dromen en die de situatie in noordwest Europa verre overstijgt omdat ze wereldomvattend is, met wellicht de zwaarste gevolgen voor de 'derde wereld' (Hobbelinck, 1987).

Tabel 16.3. Ontwikkeling van nieuwe specifieke herbiciden.

| *Systemische bladgraminiciden* | *Arboriciden* | *Astericide* |
|---|---|---|
| Cyclohexanonen | hexazinon | clopyralid |
| alloxydim-natrium | triclopyr | |
| sethoxydim | | |
| cycloxydim | | |
| cloproxydim | | |
| tralkoxydim | | |
| Ester van 2-[(4-aryloxy)fenoxy)]propionzuren | | |
| fluazifop-(*p*-)butyl | | |
| haloxyfop-ethoxyethyl | | |
| quizalofop-ethyl | | |

Voor de onkruidkunde of herbologie liggen er 40 boeiende jaren achter ons; de komende decennia beloven zo mogelijk nog spannender te zijn.

**16.2 Niet op produktie gerichte randgebieden van de land- en tuinbouw** (W. Joenje en P. Zonderwijk)

*16.2.1 Wegbermen*

Bermen worden onder meer ter bescherming van het weglichaam aangebracht. De grasmat die hierop groeit moet van dusdanige kwaliteit zijn, dat bij beschadigende aktiviteiten, zoals het leggen van kabels, spoedig daarna weer een gesloten plantendek ontstaat.

Onderzoek heeft uitgewezen dat een, in vergelijking met vroegere voorschriften, lager vruchtbaarheidsniveau van de grond uit het oogpunt van kostenbesparing veel voordeliger uitkomt. Er is dan minder plantenmassa voorhanden. Tegelijkertijd blijkt bij een lage maaifrequentie, dat het aantal plantesoorten en de daarmee gepaard gaande fauna (in het bijzonder entomofauna) aanmerkelijk toeneemt. Zo werden in een landelijke inventarisatie niet minder dan 600 verschillende plantesoorten geregistreerd. De vruchtbaarheidsniveaus van de aangevoerde grondsoorten worden zoveel mogelijk afgestemd op het landschap waardoor de weg is getrokken. Inzaai van kruiden bij nieuw aangelegde wegen, wordt om diverse, maar vooral landbouwkundige redenen onjuist geacht. De natuur zorgt zelf voor (inzaai van) kruiden en het interessante feit doet zich voor, dat de reeds in 1927 door Van Soest aangegeven plantengeografische distrikten inzake de verspreiding van planten in Nederland, nog steeds in bermen tot expressie komen.

Via maaischema's, die ten behoeve van de Nederlandse Rijks- en Provinciale Waterstaten worden opgesteld, heeft de praktijk een houvast om het bermbeheer optimaal uit te voeren. Er wordt daarbij zowel op bloemrijkdom gelet, als op zeldzaamheid van de plantesoorten, het geheel tegen een aanvaardbare economische achtergrond.

Op bermen van bestaande wegen en in het bijzonder op zwaardere grondsoorten blijft de voorwaarde om tot verschraling van de vegetatie te komen, dat het maaisel moet worden afgevoerd. Ook als op rijke gronden maaien en afvoeren niet tot verschraling leidt, dan creëert het maairegime een andere vegetatiestructuur waarin meer soorten passen. Dit brengt relatief hoge kosten met zich mee, waarbij men ook de vraag kan stellen wat men voor de verhoging van de biologische kwaliteit alleen al voor Nederland van zo'n 50 000 ha 'schraal grasland' over kan en wil hebben. Het volhouden van het afvoeren van plantmateriaal zal op den duur, maar dit kan lang zijn, het vruchtbaarheidsniveau van de bermgrond verlagen. Berekeningen over het gebruik van diverse maaiwerktuigen moeten dan ook niet per jaar, maar over een reeks van jaren worden bezien. Het aandachtsveld waar in de toekomst nog een oplossing voor moet komen is het afstemmen van het slootschonen op dit maaibeheer van bermen.

Gebleken is dat spoorwegbermen, die vrijwel niet worden onderhouden, en oude spoorwegemplacementen eveneens een grote refugiumfunctie voor plant en dier op-

leveren. Van hieruit kunnen zich weer soorten in de naaste omgeving vestigen. Er is op genoemde terreinen van de Spoorwegmaatschappijen wat dit betreft nog heel wat te bereiken met vegetatiebeheersmaatregelen. Dit kan, wat de financiële consequenties betreft, evenwel niet uit eigen bedrijf komen. De vraag rijst daarom, wie daarin zou willen participeren als deze waarden algemeen worden erkend.

### *16.2.2 Watergangen*

Instellingen die verantwoordelijk zijn voor de watergangen, in Nederland de waterschappen en in Vlaanderen de openbare besturen van polders en wateringen, gaan gebukt onder een zware last van jaarlijks terugkerende kosten bij het onderhoud van watergangen. De vraag is nog steeds niet beantwoord, hoe vol een watergang met planten begroeid mag zijn. Men moet zich hierbij evenwel minder een kwantitatieve maat voorstellen, dan wel een zorgvuldige analyse van de doorstromingsremming veroorzaakt door de belangrijkste, vooral submerse planten op verschillende momenten gedurende het groeiseizoen.

Op grond van nader door te voeren biologisch onderzoek van de voornaamste submerse soorten en het daardoor verkrijgen van inzichten in het gevoeligste moment in hun levenscyclus, wordt uiteraard het moment van de doeltreffendste ingreep van de schoning bepaald (hoofdstuk 13).

Mechanische en biologische technieken (graskarper, drijfbladplanten) worden bij de beteugeling van waterplanten toegepast, maar onderzoek inzake bredere en zeker ook diepere watergangprofielen is nog in volle gang. Door vergroting van het watervoerend profiel wordt niet alleen een grotere waterberging bereikt, maar er kan bij voldoende diepte ook sterker van het lichtonderscheppend vermogen van planten bij het wateroppervlak worden geprofiteerd evenals van het lichtdempend vermogen van de waterkolom en verlaging van de temperatuur.

De aandacht bij de voorgenomen onderhoudsmaatregelen gaat de laatste tijd ook sterker uit naar aspecten van watergangen, die niet tot de primaire taak van de beheerders horen, zoals landschap, natuurwaarde en recreatie (onder andere sportvisserij). Het werken volgens minder aan vaststaande data gebonden schouwvoorschriften en meer afgestemd op het gedrag van de aanwezige planten per regio, zal het toekomstig onderhoud niet kostbaarder behoeven te maken, maar wel de integratie van meerdere functies van onze watergangen in het agrarisch landschap kunnen versterken.

### *16.2.3 Openbaar groen*

Bij de verzorging van het kijkgazon is een belangrijke verandering opgetreden. Het gazon behoeft namelijk niet meer vrij van dicotyle planten te zijn en er hoeft niet meer 20–25 keer per jaar gemaaid te worden. Sterker nog: rozetvormende planten helpen de beheerder in economische zin om het maaien tot bijvoorbeeld 5 keer per jaar te beperken. Ook gedeelten met bestemming plukweide zijn in trek, maar kosten wel extra onderhoud.

In beplantingen behoeft de ondergrond niet meer zwart te worden gehouden, maar er mag een aanvaardbare ondergroei van bodembedekkers voorkomen. Voor de toekomst is het noodzakelijk dat geschikte plantesoorten systematisch onder verschillende omstandigheden van grondsoort en beplanting worden onderzocht op het bedoelde functioneren. Meer coördinatie in het onderzoek hieromtrent wordt evenwel noodzakelijk geacht. Bij de beheerders zal in de toekomst meer specifieke kennis van wilde planten en hun oecologie worden verlangd, dan tot dusver meestal het geval is.

## Samenvatting

De moderne land- en tuinbouwsystemen hebben geleid tot interspecifieke en zelfs tot intraspecifieke verschuivingen in de onkruidvegetaties. Monocultuur en jarenlange eenzijdige toediening van herbiciden hebben het naar voren treden van resistente onkruidpopulaties tot gevolg. Onmiddellijke maatregelen tegen deze resistentie dringen zich op. Voor de hand liggende verwachtingen zijn optimalisatie van het herbicidengebruik met aandacht voor de mate en de wijze van onkruidbestrijding. Die verwachtingen hebben ook betrekking op aanpassing van de produktie, evenals op kennisoverdracht. Tevens wordt aandacht geschonken aan mogelijke ontwikkelingen op langere termijn. Enkele belangrijke lintvormige landschapselementen zoals wegbermen, sloten en slootkanten, spoorlijnen en dergelijke vereisen in toenemende mate meer aandacht bij het vegetatiebeheer, omdat zij duidelijk bijdragen tot de opvoering van de biologische kwaliteit in het landschap. Ook bij het zogenaamde openbaar groen in woonkernen worden nieuwe wegen gezocht om de beheersmaatregelen minder op gebruik van herbiciden af te stemmen, maar aan andere (betaalbare) methoden de voorkeur in het onderzoek te geven.

## Literatuur

### *16.1 Land- en tuinbouw*

Ahrens, W.H., C.J. Arntzen & E.W. Stoller, 1981. Chlorophyll fluorescence assay for the determination of triazine resistance. Weed Science 29: 316–322.

Arntzen, C.J., K. Pfister & K.E. Steinback, 1982. The mechanism of chloroplast triazine resistance: alterations in the site of herbicide action. In: LeBaron, H.M. & J. Gressel (Eds): Herbicide research in plants. John Wiley & Sons, New York: 185–214.

Beuret, E., 1984. Mechanismus der Herbizid-Resistenz. Mitt. Schweiz. Landw. 32: 1–7.

B.N.V.R.-Vlaanderen, 1986. Bouwstenen voor een natuurvriendelijke landbouw. Belgische Natuur- en Vogelreservaten v.z.w., Brussel.

Boeken, G., 1987. Biotechnologie: impact op de agro-industriële sector. Het Ingenieursblad 56: 495–499.

Bulcke, R., H. De Praeter, M. Van Himme & J. Stryckers, 1984. Resistance of annual meadow-grass, *Poa annua* L. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent 49: 1041–1050.

Bulcke, R., J. De Vleeschauwer, J. Vercruysse & J. Stryckers, 1985a. Comparison between triazine-resistant and -susceptible biotypes of *Chenopodium album* L. and *Solanum nigrum* L. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent 50: 211–220.

Bulcke, R., F. Verstraete, M. Van Himme & J. Stryckers, 1985b. Biology and control of *Epilobium ciliatum*

Rafin. (Syn. *E. adenocaulon* Hausskn.). Proc. Meeting EC Experts' Group: Weed control on vine and soft fruits, Rotterdam: 57–67.

Bulcke, R., F. Verstraete, M. Van Himme & J. Stryckers, 1986. Variability of *Epilobium ciliatum* Rafin. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent 51: 345–353.

Christiaens, M., J. Swinnen & E. Tollens, 1987. Prognose van de toepassingen van biotechnologie in de landbouw. Het Ingenieursblad 56: 501–507.

Duke, S. & J. Lydon, 1987. Herbicides from natural compounds. Weed Technology 1: 122–128.

Gasquez, J., 1981. Evolution de la résistance aux triazines chez les espèces annuelles: la résistance chloroplastique. Compte rendu 11ème conf. COLUMA Tome IV: 981–1008.

Hensley, J.R., 1981. A method for identification of triazine resistant and susceptible biotypes of several weeds. Weed Science 29: 70–73.

Hobbelinck, H., 1987. New hope or false promise? Biotechnology and third world agriculture. ICDA The International Coalition for Development Action, Brussel.

Holly, K., 1986. Herbicides Past, present and future. Span-Progress in Agriculture 29: 89–91.

Stryckers, J. & R. Bulcke, 1987. Onkruidbestrijding (9e Volledig herziene uitgave). Fakulteit van de Landbouwwetenschappen RUG, Gent.

Thomas, T.H., 1987. Long Ashton Research Station, Annual report 1986. In: L.A.R.S.-Weed Research Division: General Report: 20–23.

Tollens, E., 1987. Kansen en bedreigingen in de (Europese) landbouw op weg naar het jaar 2000. ABIPA, Brussel.

## *16.2 Randgebieden*

Ast, A. van, S.J. ter Borg & J.M. van Groenendael, 1987. De oorzaak van de achteruitgang van biggekruid in onze bermen. De Levende Natuur, 88: 88–94.

Bornkamm, R., J.A. Lee & M.R.D. Seeward, 1982. Urban ecology. The 2nd Eur. Ecol. Symp. Berlijn, 1980.

Diversen, 1978. De akkerdistel. Publ. v.d. Coördinatiecomm. Onkruidonderzoek TNO, ad hoc werkgr. Akkerdistel.

Kaule, G., 1986. Arten- und Biotopschutz. UTB f. Wissenschaft. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Koster, A., 1987. De flora van de Nederlandse Spoorwegen. Min. van Landbouw en Visserij, Adviesgroep Vegetatiebeheer, Wageningen, Notitie no. 14.

Krause, A., 1985. Ufergehölzpflanzungen an Gräben, Bächen und Flüssen im Flachland. Schr. reihe f. Vegetationskunde, Heft 17.

Park, J.R., 1988. Environmental management in agriculture. European Perspectives. Belhaven Press, Londen.

Pitlo, R.H., 1983. Stromingsweerstanden in begroeide waterlopen. Waterschapsbelangen 68: 540–542.

Radosevich, S.R. & J.S. Holt, 1984. Weed ecology – Implications for vegetation management. John Wiley & Sons, New York.

Stichting Studie Centrum Wegenbouw, 1980. Wegbermbeheer, Med. 49.

Strien, A.J. van, 1986. Effecten van slootonderhoud op de slootkantvegetatie. Landschap 3: 203–212.

Sykora, K.V. & C.I.J.M. Liebrand, 1987. Natuurtechnische en civieltechnische aspecten van rivierdijkvegetaties. Landbouwuniv. Wageningen, Vakgr. VPO.

Verhoek, G. & H. Heemsbergen, 1987. Handleiding voor het maaien van wegbermen in diverse provincies. C.R.O.W., Ede.

Way, J.M., 1983. Management of vegetation. British Crop Protection Council, Monograph no. 26.

Werkgroep Graskarper NRLO, 1984. Graskarper in Nederland.

Westhoff, V. & P. Zonderwijk, 1960. The effects of herbicides on the wild flora and vegetation in the Netherlands. IUCN Symposium, Warschau, 15–24 VII: 69–78.

Westhoff, V. & P. Zonderwijk, 1974. De Nederlandse Spoorwegen en de wilde flora. Tijdschr. Ver. Kon. Ned. Heidemij 85: 2–9.

Zon, J.C.J. van & P. Zonderwijk, 1973. De Nederlandse waterplanten, lusten en lasten. Vakbld v. Biologen

53: 211–230.
Zon, J.C.J. van & P. Zonderwijk, 1975. Afweging van belangen in de bestrijding van waterplanten. Waterschapsbelangen 1: 2–6.
Zon, J.C.J. van & P. Zonderwijk, 1976. Waterplanten als bondgenoot bij het onderhoud. Waterschapsbelangen 2: 21–24.
Zon, J.C.J. van & P. Zonderwijk, 1981. Linten in het landschap. Tijdschr. Kon. Ned. Heidemij: april, mei en juni.
Zonderwijk, P., 1970. Verantwoord gebruik van onkruidbestrijdingsmiddelen in berm, sloot en beek. Natuur en Landschap 25: 1–17.
Zonderwijk, P., 1971. Evaluatie van het gebruik van herbiciden langs wegen. Wet. Med. Kon. Ned. Natuurh. Ver. nr. 87 'De weg naar en door de natuur': 27–37.
Zonderwijk, P., 1971. Pleidooi voor onze wegbermplanten. Natuurbehoud 2: 36–39.
Zonderwijk, P., 1972. Neuere niederländische Standpunkte zu Umweltschutz und Herbizid-Einsatz. Zeitschr. f. Pflanzenkrankheiten, Sonderheft VI: 101–107.
Zonderwijk, P., 1973. Grenzgebiete beim Einsatz von Herbiziden – Schutz der Wildflora und Fauna. Intern. Kurs in Herbologie – Universität Hohenheim, 30/7-11/8. In: Zeitschr. f. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 82, Band H.V/75: 271–285.
Zonderwijk, P., 1973. Herleving van onze wegbermflora. Natuurbehoud 4: 79–85.
Zonderwijk, P. & J.C.J. van Zon, 1978. Aquatic weeds in the Netherlands: A case of management. Proc. EWRS, 5th Int. Symp. on Aquatic Weeds, Amsterdam
Zonderwijk, P., 1979. De bonte berm. Uitg. Zomer en Keuning, Ede.
Zonderwijk, P., 1982. More recent forms of management with the help of wild plants in the urban greene v. Congressreport I.F.P.R.A. The natural city, Den Haag: 35–51.

## Behandelde (on)kruiden

Voor de naamgeving van de planten is, waar mogelijk, gesteund op H. Heukels/R. van der Meijden: Flora van Nederland, Twintigste druk bewerkt door R. van der Meijden, E.J. Weeda, F.A.C.B. Adema & G.J. de Joncheere, 1983; Wolters-Noordhoff, Groningen.

| Wetenschappelijke naam | Nederlandse naam |
|---|---|
| *Aethusa cynapium* L. | hondspeterselie |
| *Agrostemma githago* L. | bolderik |
| *Alopecurus myosuroides* Hudson | duist |
| *Alopecurus pratensis* L. | grote vossestaart |
| *Amaranthus* L. | amarant |
| *Amaranthus retroflexus* L. | papegaaiekruid |
| *Ambrosia artemisiifolia* L. | alsemambrosia |
| *Anthemis arvensis* L. | valse kamille |
| *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm. | fluitekruid |
| *Apera spica-venti* (L.) P.B. | windhalm |
| Asteraceae (Compositae) | Composietenfamilie |
| *Atriplex* L. | melde |
| *Avena fatua* L. | oot (wilde haver) |
| *Avena sativa* L. | haver |
| *Avena sterilis* L. | loophaver (wilde haver) |
| *Beta macrocarpa* Guss. | – (wilde biet) |
| *Beta vulgaris* L. | biet (onkruid-) |
| *Beta vulgaris* ssp. *maritima* (L.) Arcang | strandbiet |
| *Brassica rapa* L. ssp. *rapa* | raap |
| *Bromus* L. | dravik |
| *Bromus arvensis* L. | akkerdravik |
| *Callitriche stagnalis* Scop. | moerassterrekroos |
| *Calluna vulgaris* (L.) Hull | struikheide |
| *Calystegia sepium* (L.) R.Br. | haagwinde |
| *Carex* L. | zeggen |
| *Cassia obtusifolia* | – |
| *Centaurea cyanus* L. | korenbloem |
| *Cerastium biebersteinii* DC. | viltige hoornbloem |
| *Ceratophyllum demersum* L. | gedoornd hoornblad |

| | |
|---|---|
| *Chenopodium album* L. | melganzevoet |
| *Cirsium* Miller | vederdistel |
| *Cirsium arvense* (L.) Scop. | akkerdistel |
| *Cirsium palustre* (L.) Scop. | kale jonker |
| *Cirsium vulgare* (Savi) Tenore | speerdistel |
| *Cladophora* Kützing | draadwier |
| *Consolida regalis* S.F. Gray | wilde ridderspoor |
| *Convolvulus arvensis* L. | akkerwinde |
| *Convulvulus sepium* L. | haagwinde |
| *Crepis biennis* L. | groot streepzaad |
| *Cuscuta epilinum* Weihe | vlaswarkruid |
| *Cyperus esculentus* L. | knolcyperus |
| *Dipsacus fullonum* L. | wilde kaardebol |
| *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. | hanepoot |
| *Eleocharis acicularis* (L.) Roemer & Schultes | naaldwaterbies |
| *Eleusine indica* (L.) Gaertner | – |
| *Elodea* Michaux | waterpest |
| *Elodea canadensis* Michaux | brede waterpest |
| *Elymus repens* (L.) Gould | kweek |
| *Epilobium ciliatum* Rafin | beklierd wilgeroosje |
| *Equisetum arvense* L. | heermoes (akkerpaardestaart) |
| *Erigeron canadensis* L. | Canadese fijnstraal |
| *Erodium cicutarium* (L.) L'Hérit | reigersbek |
| *Festuca* L. | zwenkgras |
| *Galinsoga* Ruiz & Pavon | knopkruid |
| *Galinsoga ciliata* (Rafin.) Blake | harig knopkruid |
| *Galinsoga parviflora* Cav. | klein knopkruid |
| *Galium aparine* L. | kleefkruid |
| Gramineae | grassenfamilie |
| *Holcus mollis* L. | gladde witbol |
| *Hordeum vulgare* L. | gerst |
| *Hypochaeris radicata* L. | biggekruid |
| *Juncus* L. | russen |
| *Lamium* L. | dovenetel |
| *Lamium amplexicaule* L. | hoenderbeet |
| *Lamium purpureum* L. var. *purpureum* | paarse dovenetel |
| *Lolium remotum* Schrank | vlasdolik |
| *Matricaria* L. | kamille |
| *Matricaria discoidea* DC. | schijfkamille |
| *Matricaria recutita* L. | echte kamille |
| *Medicago sativa* L. | luzerne |
| *Myosotis arvensis* (L.) Hill | middelst vergeet-mij-nietje |
| *Myriophyllum* L. | vederkruid |

| | |
|---|---|
| *Myriophyllum spicatum* L. | aarvederkruid |
| *Nuphar lutea* (L.) Sm. | gele plomp |
| *Nymphaea alba* L. | waterlelie |
| *Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze | watergentiaan |
| *Orobanche* L. | bremraap |
| *Orobanche crenata* Forsk. | – |
| *Papaver argemone* L. | ruige klaproos |
| *Papaver dubium* L. | kleine klaproos |
| *Papaver rhoeas* L. | gewone klaproos |
| *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steude | riet |
| *Pisum sativum* L. | erwt |
| *Poa annua* L. | straatgras |
| *Polygonum amphibium* L. | veenwortel |
| *Polygonum aviculare* L. | varkensgras |
| *Polygonum convolvulus* L. | zwaluwtong |
| *Polygonum hydropiper* L. | waterpeper |
| *Polygonum persicaria* L. | perzikkruid |
| *Potamogeton crispus* L. | gekroesd fonteinkruid |
| *Potamogeton natans* L. | drijvend fonteinkruid |
| *Potamogeton pectinatus* L. | schedefonteinkruid |
| *Potamogeton* × *zizii* Koch ex Roth | gegolfd fonteinkruid |
| *Prunus serotina* Ehrh. | Amerikaanse vogelkers |
| *Ranunculus arvensis* L. | akkerboterbloem |
| *Ranunculus calcareus* | – |
| *Raphanus raphanistrum* L. | knopherik |
| *Raphanus sativus* L. ssp. *oleifera* (DC.) Metzg. | bladramenas |
| *Rumex* L. | zuring |
| *Rumex acetosa* L. | veldzuring |
| *Rumex acetosella* L. | schapezuring |
| *Rumex crispus* L. | krulzuring |
| *Rumex obtusifolius* L. | ridderzuring |
| *Scleranthus annuus* L. | eenjarige hardbloem |
| *Scirpus* L. | biezen |
| *Senecio vulgaris* L. | klein kruiskruid |
| *Sinapis alba* L. | gele mosterd |
| *Sinapis arvensis* L. | herik |
| *Solanum nigrum* L. | zwarte nachtschade |
| *Solanum tuberosum* L. | aardappel (verlies-) |
| *Sorghum bicolor* (L.) Moench | kafferkoren |
| *Spergula arvensis* L. | gewone spurrie |
| *Stellaria media* L. | vogelmuur |
| *Taraxacum officinale* Weber s.l. | paardebloem |
| *Trifolium pratense* L. | rode klaver |

| | |
|---|---|
| *Triticum aestivum* L. | tarwe |
| *Tussilago farfara* L. | klein hoefblad |
| *Urtica* L. | brandnetel |
| *Urtica dioica* L. | grote brandnetel |
| *Urtica masaica* | – |
| *Vallisneria americana* | Amerikaanse vallisneria |
| *Vaucheria* De Candolle | draadwier |
| *Veronica hederifolia* L. | klimop-ereprijs |
| *Viola arvensis* Murray | akkervioltje |
| *Zea mays* L. | maïs |

## Uitgebreide inhoudsopgave


**1 Zaadvoorraad, kieming en onkruidvegetatie** *C.M. Karssen en B.J. Post* 1
1.1 Inleiding 1
1.2 Zaadvoorraad 1
1.3 Onkruidvegetatie 8
Samenvatting 11
Literatuur 11
Aanbevolen literatuur 12

**2 Concurrentie** *W. Joenje en M.J. Kropff* 14
2.1 Inleiding 14
2.2 Concurrentie tussen planten 15
2.2.1 Opbrengstreductie door onkruiden 15
2.2.2 Kwantificering van concurrentie-effecten 18
2.3 Concurrentiemechanismen 19
2.3.1 Licht 19
2.3.2 C3- en C4-planten 20
2.3.3 Nutriënten en water 20
2.4 Onderzoekperspectieven 20
Samenvatting 21
Literatuur 21
Appendix 22

**3 Simulatiemodellen in de onkruidkunde** *M.J. Kropff en C.J.T. Spitters* † 24
3.1 Inleiding 24
3.2 Simulatie van gewas-onkruidconcurrentie 25
3.2.1 Simulatie van gewasgroei in monocultuur: algemene structuur 25
3.2.2 Simulatie van gewas-onkruidmengcultures 27
3.2.3 Simulatieresultaten 28
3.2.4 Toepassingsmogelijkheden van het model 29
3.3 Eenvoudig model voor gewas-onkruidconcurrentie 32
3.3.1 Groei van een gewas in monocultuur 32
3.3.2 Groei van een soort in mengcultuur 33
Samenvatting 34
Literatuur 35

**4 Oecologie en populatiedynamica** *J.M. van Groenendael, S.J. ter Borg en H.F.M. Aarts* 36
4.1 Inleiding 36
4.2 Kern van de populatiedynamische modellen 39
4.3 Voorbeelden 39
4.3.1 Wilde haver (*Avena fatua*) 41
4.3.2 Kleefkruid (*Galium aparine*) 43
4.3.3 Kweek (*Elymus repens*) 46
4.3.4 Biggekruid (*Hypochaeris radicata*) 48
Samenvatting 52
Literatuur 52

**5 Floraverschuivingen** *R. Bulcke en A.J.W. Rotteveel* 54
5.1 Inleiding 54
5.2 Biologische achtergronden van floraverschuivingen 54
5.3 Historische ontwikkeling 55
5.4 Cultuurtechniek 56
5.5 Bodembewerkingen 56
5.6 Zaaizaad en plantgoed 57
5.7 Bemesting 57
5.8 Vruchtwisseling 58
5.9 Zaai- en oogsttechnieken 59
5.10 Chemische onkruidbestrijding 59
Samenvatting 61
Literatuur 62

**6 Mechanische en fysische onkruidbestrijding** *J.K. Kouwenhoven, J.J. Klooster, E.E. Vos-Heikens en J.D.A. Wevers* 63
6.1 Inleiding 63
6.2 Tijdstip van bewerken en periodiciteit 64
6.3 Effecten van bewerken 65
6.3.1 Keren of niet 65
6.3.2 Bewerkingsdiepte 66
6.3.3 Verkruimelen 66
6.3.4 Bedekken 68
6.3.5 Sorteren 68
6.3.6 Afsnijden 70
6.3.7 Ontwortelen 70
6.4 Uitvoering in de akkerbouw 71
6.4.1 Bewerkingstypen 71
6.4.2 Stoppelbewerking 71
6.4.3 Hoofdgrondbewerking 72
6.4.4 Zaaibedbereiding 73

6.4.5 Gewasverzorging 73
6.4.5.1 Werktuigeffecten 73
6.4.5.2 Werkbreedte 75
6.4.5.3 Werkdiepte 77
6.4.5.4 Onkruidbeheersing in de gewasrijen 77
6.4.5.5 Schoffelen 78
6.4.5.6 Cultivateren 79
6.4.5.7 Eggen 79
6.4.5.8 Strokenstereggen 79
6.4.5.9 Frezen 80
6.4.5.10 Aanaarden 80
6.4.5.11 Wieden 80
6.4.5.12 Maaien 81
6.4.5.13 Branden 81
6.4.5.14 Inundatie 82
6.5 Uitvoering in openbaar groen 83
6.5.1 Frezen 83
6.5.2 Schoffelen en hakken 83
6.5.3 Branden 83
6.5.4 Bodembedekking met schors, houtsnippers of plastic 83
6.5.5 Kopborstels 84
Samenvatting 84
Literatuur 85

**7 Biologische bestrijding van onkruiden** *P.C. Scheepens, W. van der Zweerde en M. Hoogerkamp* 87
7.1 Inleiding 87
7.2 Onderhoud van watergangen 87
7.3 Graskarper 88
7.4 Hogere planten 90
7.5 Biologische onkruidbestrijdingsmiddelen 93
Samenvatting 94
Literatuur 95

**8 Toedieningstechnieken** 96
8.1 Fysisch-chemische achtergronden *V.J.M. Koch* 96
8.1.1 Inleiding 96
8.1.2 Factoren die het druppelspectrum beïnvloeden 97
8.1.2.1 De spuitdop 97
8.1.2.2 De spuitvloeistof 98
8.1.2.3 De dichtheid 100
8.1.2.4 De viscositeit 100
8.1.2.5 De oppervlaktespanning 101

8.1.3 Druppeltransport 101
8.1.3.1 Verdamping 102
8.1.3.2 Drift 103
8.1.4 Depositie 104
8.2 Betekenis van hulpstoffen voor de opname van herbiciden via het bladoppervlak *H. de Ruiter* 105
8.2.1 Inleiding 105
8.2.2 Opname via het bladoppervlak, een onnatuurlijk proces 105
8.2.3 Effecten van verschillende hulpstoffen 108
8.2.3.1 Ammoniumsulfaat 109
8.2.3.2 Oppervlakte-actieve stoffen ('uitvloeiers') 109
8.2.3.3 Oliën 110
8.3 Toepassing in de praktijk *L.M. Lumkes* 111
8.3.1 Inleiding 111
8.3.2 Hoeveelheid spuitvloeistof 111
8.3.3 Gewenst aantal spuitdruppels 112
8.3.4 Invloed druppelgrootte 113
8.3.5 Invloed spuitdruk 114
8.3.6 Andere spuitsystemen 114
8.3.7 Typen spuitdoppen voor de onkruidbestrijding 116
8.3.8 Spuitcomputer 116
Samenvatting 117
Literatuur 117

**9 Werkingswijzen van herbiciden** *J.L.P. van Oorschot en J.J.S. van Rensen* 119
9.1 Inleiding 119
9.2 Opname en transport 119
9.3 Werking op ademhaling 120
9.4 Invloed op fotosynthese 120
9.5 Remming van de aminozuursynthese 122
9.6 Remming van de celdeling 122
9.7 Invloed op groei 123
9.8 Selectieve werking van herbiciden 123
9.9 Resistentie tegen herbiciden 125
Literatuur 126

**10 Gedrag van herbiciden in de bodem** *J.J.T.I. Boesten en R. Zandvoort* 129
10.1 Inleiding 129
10.2 Processen op het bodemoppervlak 129
10.3 Transport in de bodem 130
10.4 Omzetting in de bodem 133
10.5 Opname door planten 133

10.6 Effecten op planten via de bodem 134
10.7 Simulatiemodellen 135
Literatuur 136

**11 Toelatingsbeleid** 137
11.1 Toelatingsbeleid van herbiciden in Nederland *H. Naber* 137
11.1.1 Inleiding 137
11.1.2 Deugdelijkheid 138
11.1.3 Gesloten dossier 139
11.1.4 Vliegtuigtoepassingen 140
11.1.5 Waterwingebieden 140
11.1.6 Persistentie in de bodem 141
11.1.7 Overige aspecten 142
11.1.8 Tot slot 143
11.2 Toelatingsbeleid van pesticiden in België *W. Dejonckheere* 143
11.2.1 Inleiding 143
11.2.2 Basisprincipes 144
11.2.3 Rol en werking van het Erkenningscomité 146
11.2.3.1 Eerste erkenning van een nieuwe werkzame stof 146
11.2.3.2 Erkenning van een nieuw gebruik van reeds erkende werkzame stof 147
11.2.4 Rol en werking van de Hoge Gezondheidsraad 147
11.2.4.1 Toelating van bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik 147
11.2.4.2 Beoordeling van de toxicologische dossiers 148
11.2.5 Indeling in gevarencategorieën 149
11.2.6 Indeling in klassen 150
11.2.7 Maatregelen ter bescherming van de gezondheid bij de verkoop en het gebruik 150
11.2.7.1 Etikettering en verpakking 150
11.2.7.2 De begrippen erkend verkoper, erkend gebruiker en speciaal erkend gebruiker 151
11.2.7.3 Verkoop en gebruik van fytofarmaceutische produkten en bestrijdingsmiddelen voor niet-landbouwkundig gebruik 151
11.2.8 Beperkingen bij het gebruik van bestrijdingsmiddelen 152
11.2.8.1 Algemeen 152
11.2.8.2 Specifieke beperkingen bij het gebruik van pesticiden op bermen enz. 153
11.2.9 Het Fytofarmaceutisch Fonds 155
11.2.10 Samenvatting 156

**12 Geïntegreerde onkruidbestrijding** *F.G. Wijnands* 158
12.1 Inleiding 158
12.2 Geïntegreerde onkruidbestrijding: doel en strategie 158
12.3 Problematiek, methoden en technieken per gewas 160
12.3.1 Wintertarwe 161
12.3.2 Suikerbieten 162
12.3.3 Aardappelen 163
12.3.4 Overige gewassen 164
12.4 Voorlopige resultaten 165
12.5 Discussie 168
Literatuur 169

**13 Watergangen** 171
13.1 Waterplanten en hun rol in watergangen *E.P.H. Best* 171
13.1.1 Waterplanten en hun belangrijkste groeifactoren 171
13.1.1.1 Waterplanten 171
13.1.1.2 Het fysisch milieu 172
13.1.1.3 Nutriënten 173
13.1.2 Overlast veroorzakende waterplanten in watergangen 174
13.1.2.1 Watergangen en hun functies 174
13.1.2.2 Waterplanten en waterstroming 174
13.1.2.3 Waterplanten en de kwaliteit van oppervlaktewater en van de watergangen zelf 177
Samenvatting 178
13.2 Beheer van waterlopen *R.H. Pitlo* 179
13.2.1 Inleiding 179
13.2.2 Onderzoek naar groeibeïnvloeding van waterplanten 179
13.2.2.1 Licht 180
13.2.2.2 Overdimensioneren 180
13.2.2.3 Concurrentie 181
13.2.2.4 Vraat 181
13.2.2.5 Onderhoud (verschralen) 181
13.2.3 Waterplanten en stromingsweerstand 182
13.2.4 Beheersmaatregelen en methoden van onderhoud 184
13.2.4.1 Beheersmaatregelen 184
13.2.4.2 Methoden van onderhoud 185
13.2.5 Kostenaspecten 188
Samenvatting 190
Literatuur 190

**14 Vegetatiebeheer in wegbermen** *K.V. Sýkora en P. Zonderwijk* 192
14.1 Inleiding 192
14.2 Vegetaties in wegbermen 192

14.3 Soortensamenstelling van wegbermvegetaties 193
14.4 Milieufactoren en soortensamenstelling 194
14.5 Beheer van wegbermvegetaties 195
14.6 Begrippenlijst 197
Literatuur 198

**15 Beheer van openbaar groen** *E.A.D. Baart* 201
15.1 Inleiding 201
15.2 Beleidsplanning 201
15.3 Groenbeheer 202
15.4 Beplantingen 202
15.5 Grasvelden 204
Literatuur 204

**16 Toekomstverwachtingen inzake onkruidkunde in de land- en tuinbouw en randgebieden** 207
16.1 Land- en tuinbouw *J. Stryckers, P.M. Spoorenberg en M. Van Himme* 207
16.1.1 Gevolgen van de moderne land- en tuinbouwsystemen 207
16.1.1.1 Inter- en intraspecifieke verschuivingen in de onkruidvegetaties 207
16.1.1.2 Herbicideresistente onkruidpopulaties 208
16.1.1.3 Maatregelen tegen resistentie 211
16.1.2 Verwachtingen op afzienbare termijn 213
16.1.2.1 Optimalisatie van het herbicidengebruik 213
16.1.2.1.1 Noodzaak van optimalisatie 213
16.1.2.1.2 Mate van onkruidbestrijding 214
16.1.2.1.3 Wijze van onkruidbestrijding 215
16.1.2.2 Aanpassing aan de produktie 216
16.1.2.3 Kennisoverdracht 217
16.1.3 Mogelijke ontwikkeling op langere termijn 218
16.2 Niet op produktie gerichte randgebieden van de land- en tuinbouw *W. Joenje en P. Zonderwijk* 219
16.2.1 Wegbermen 219
16.2.2 Watergangen 220
16.2.3 Openbaar groen 220
Samenvatting 221
Literatuur 221

Behandelde (on)kruiden 224