
Neveneffecten van niet-chemische onkruidbestrijding in de landbouw

Een literatuurstudie naar de (neven)effecten op drie groepen: bodemleven, insecten en broedsel.

Sjoerd Rombout, Klaas van Rozen, Marleen Riemens

Wageningen University & Research

Dit onderzoek is in opdracht van het ministerie van LNC uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten, binnen het project KD-2018-076_(Neven-)effecten niet chemische onkruidbestrijding. WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, februari 2019

Rapport WPR-782

Rombout, S. Van Rozen, K., Riemens, M, 2018. Neveneffecten van niet-chemische onkruidbestrijding in de landbouw; Een literatuurstudie naar de (neven)effecten op drie groepen: bodemleven, insecten en broedsel. Wageningen Research, Rapport WPR-782

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/471608>

© 2019 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 291 111; www.wur.nl/openteelten

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

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

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-782

Inhoud

	Samenvatting	5
	Summary	6
1	Inleiding	7
2	Materiaal & methoden	9
3	Mechanische en thermische onkruidbestrijdingstechnieken	11
4	(Neven)effecten niet-chemische onkruidbestrijding op bodemleven	13
	4.1 Regenwormen	13
	4.2 Micro- en mesobiota	14
	4.2.1 Arbusculaire mycorrhiza-schimmels	14
	4.2.2 Bacteriën, schimmels, mijten en springstaarten	15
	4.2.3 Nematoden	16
5	(Neven)effecten niet-chemische onkruidbestrijding op bovengrondse insecten	17
	5.1 Gewasmanagement en type bewerking	17
	5.1.1 Mechanische onkruidbestrijding	17
	5.1.2 Thermische onkruidbestrijding	19
	5.2 Effect van het aantal bewerkingen	20
6	(Neven) effecten van niet-chemische onkruidbestrijding op broedsel	21
7	Discussie & conclusie	23
	7.1 Discussie	23
	7.2 Conclusies	24
	7.3 Aanbevelingen	25
	Literatuur	27

Samenvatting

Mechanische en thermische onkruidbestrijding zijn belangrijke en veelgebruikte methoden voor biologische telers om onkruiden te beheersen. In de gangbare landbouw krijgen deze vormen van onkruidbestrijding meer en meer aandacht, onder andere door de verminderde beschikbaarheid van (een aantal) herbiciden. De toepassing van deze methoden kan potentieel (neven) effecten hebben op organismen die aanwezig zijn in en op of gebruik maken van landbouwgronden, doordat de bodem (oppervlakkig) wordt bewerkt. Dit kan zowel direct door sterfte en migratie van organismen of indirect door verstoring van de leefomgeving. Middels een literatuurstudie is onderzocht wat bekend is over (neven)effecten van mechanische en thermische onkruidbestrijding op drie groepen organismen, namelijk 1) bodemleven, 2) bovengrondse insecten en 3) broedende vogels en jong broedsel in nesten.

Hieruit is gebleken dat mechanische en thermische onkruidbestrijding een beperkt negatief effect hebben op het bodemleven. (Neven) effecten van zowel mechanische als thermische onkruidbestrijding op insecten die op de bodem leven zijn afhankelijk van het moment van toepassing en indirect de hoeveelheid biomassa die achterblijft. De natuurlijke vegetatie in landbouwpercelen (onkruiden) fungeert als voedselbron dan wel schuilplaats voor insecten die op de bodem leven en door deze natuurlijke vegetatie te bestrijden door thermische of mechanische technieken neemt ook het aantal insecten af. De mate van verstoring van de insectenpopulaties is waarschijnlijk groter bij toepassing van zowel mechanische als thermische onkruidbestrijding onder warmere omstandigheden. Insecten zijn dan reeds actief en benutten op dat moment de vegetatie. Door de vegetatie te bestrijden, worden de insecten populaties verstoord. Daarnaast neemt de mate van verstoring toe bij een groter aantal toepassingen van mechanische onkruidbestrijding. Over de mate van verstoring door een verhoogde frequentie van thermische onkruidbestrijding is geen literatuur bekend. Mechanische onkruidbestrijding tijdens het broedseizoen is daarnaast destructief voor broedsel. Onderzoek naar de (neven)effecten van thermische onkruidbestrijding op jong broedsel en nestelende vogels zijn in deze literatuurstudie niet gevonden.

Het is van belang om deze onkruidbestrijdingsmethoden in combinatie met elkaar en andere teeltmaatregelen te zien als integraal onkruidmanagement en de (neven)effecten daarvan op genoemde groepen organismen te kwantificeren. Binnen de groepen is een onderverdeling in soorten of sub-groepen noodzakelijk, om de (neven) effecten op juist de kwetsbare soorten – bedreigde of zeldzame soorten – goed vast te stellen en gerichte beschermingsmaatregelen voor in te zetten. Hierbij dient de focus te liggen op welke bestrijdingstechnieken (wat) op welke manier (hoe), wanneer (tijdstip en omstandigheden) en in welke frequentie worden toegepast om de onkruidpopulatie en daarmee kwetsbare soorten te managen. Daarnaast verdient de ontwikkeling van herkennings- en beschermingstechnieken ter bescherming van organismen die gebruik maken van landbouwgronden aandacht. Twee voorbeelden hiervan zijn nestherkenning en nestkappen ter bescherming en behoud van broedsel en daarmee de vogelpopulatie.

Summary

Mechanical and thermal weed control techniques are important and commonly used methods in organic plant production systems. These methods gain more and more attention from conventional growers due to among others lower availability of (a number of) herbicides. These methods may have potential (negative) effects on organisms which are present in or make use of agricultural land. This can be either directly through mortality and migration of organisms or indirectly through disruption of the habitat or food source. The aim of this literature study was to research what is known about effects of mechanical and thermal weed control on three groups of organisms, namely 1) soil life such as rainworms and fungi, 2) aboveground soil-dwelling insects and 3) breeding birds and nest success.

Mechanical and thermal weed control techniques have a limited negative effect on soil life. Negative effects of both mechanical and thermal weed control on aboveground soil dwelling insects depend on the application timing and the amount and type of biomass that is left behind. The degree of disturbance of the insect population is likely to be larger under warmer conditions and presence of a large amount of (weed) biomass because such conditions stimulate insect activity and abundance. Furthermore, the degree of disturbance increases with a more frequent application of mechanical weed control. Mechanical weed control techniques are destructive for breeding birds and nest success. No information on the effects of thermal weed control techniques on breeding birds or nest success was found.

It is important to look at combinations of these weed control methods and other farming practices as integral weed management and to quantify the effects of such management on the three groups of organisms. Within the groups, a subdivision into species or subgroups is necessary in order to properly identify the negative effects on the vulnerable species - threatened or rare species - and to introduce targeted protective measurements. Focus should be on which methods need to be applied in what way, when (timing and conditions) and in what frequency. Development of recognition and protection techniques should also gain more attention in order to prevent loss of organisms which make use of agricultural land. Two examples are nest recognition and caps to protect nests which can both be used to retain the bird population.

1 Inleiding

Onkruiden concurreren met gewassen om water, nutriënten en licht. Daarnaast kunnen onkruiden als waardplanten fungeren voor ziekten en plagen. Ze vormen daarmee een bedreiging voor gewasopbrengst en -kwaliteit en worden door telers dan ook zo volledig mogelijk bestreden. Effectieve onkruidbeheersing is een belangrijk fundament in de landbouw. Momenteel zijn herbiciden voor gangbare telers een belangrijke basis van de onkruidbestrijding op hun bedrijf. Het gebruik van niet-chemische onkruidbestrijdingsstrategieën en -technieken draagt bij aan het reduceren van de (neven) effecten die nu aan herbiciden en daarmee aan onkruidbestrijding verbonden zijn. Hierbij wordt bedoeld op onder andere de ontwikkeling van resistente onkruiden.

In deze studie richten we ons op de (neven)effecten van mechanische en thermische onkruidbestrijdingstechnieken. Niet-chemische onkruidbestrijding wordt in dit rapport gedefinieerd als de directe toepassing van mechanische en thermische onkruidbestrijdingsapparatuur. De toepassing van deze methoden kan (neven) effecten hebben op organismen die aanwezig zijn in en op of gebruik maken van landbouwgronden, doordat de bodem (oppervlakkig) mechanisch of thermisch wordt bewerkt. Dit kan zowel direct door sterfte en migratie van organismen of indirect door verstoring van de leefomgeving door vernietiging van voedsel of habitat door inzet van deze bestrijdingsmethoden. In deze literatuurstudie is onderzocht wat bekend is over (neven)effecten van niet-chemische onkruidbestrijding, bestaande uit mechanische en thermische methoden, op drie groepen organismen, namelijk 1) bodemleven, 2) bovengrondse insecten en 3) broedende vogels en jong broedsel in nesten.

De werkwijze van deze studie is beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 is een korte beschrijving van mechanische en thermische onkruidbestrijdingstechnieken gegeven. De (neven)effecten van deze technieken op bodemleven, op de bodem levende insecten en broedsel is opgenomen in respectievelijk hoofdstuk 4, 5 en 6. In hoofdstuk 7 zijn de gevonden resultaten bediscussieerd, enkele conclusies getrokken en aanbevelingen gegeven.

2 Materiaal & methoden

De aanpak betrof een gestructureerde zoektocht in peer-reviewed (inter)nationale literatuur, consultatie van het (inter)nationale netwerk en bijbehorende grijze literatuur uit binnen- en buitenland. De literatuurstudie naar (neven)effecten van niet-chemische onkruidbestrijding in de landbouw richtte zich op drie subgroepen:

- a) bodemleven
- b) op de bodem levende insecten
- c) jong broedsel in nesten

Voor de subgroep bodemleven is gefocust op die organismen die indicatief zijn bevonden voor een gezonde bodem (wormen, nematoden, schimmels en bacteriën). Niet-chemische onkruidbestrijding is in dit rapport gedefinieerd als de directe toepassing van mechanische en thermische onkruidbestrijdingsapparatuur. De selectie van onkruidbestrijdingstechnieken die in deze studie zijn geëvalueerd is gebaseerd op Pesticide Action Network Europe (2018).

In deze studie hebben we ons gericht op die technieken die op basis van hun werkingsmechanisme(n) een mogelijk effect op de drie doelgroepen kunnen hebben. Hiervoor is gezocht naar peer-reviewed (inter)nationale publicaties die voor 3 oktober 2018 zijn gepubliceerd met behulp van de literatuur databases van CAB Abstracts (categorie: all fields) en Web of Science (categorie: topic). De gebruikte combinaties van zoektermen in deze studie zijn:

- "Mechanical weed*" OR "thermal weed*" OR "false seedbed" OR "stale seedbed" OR "electrothermal weed*" OR "stubble weed*" OR "flame weed*" OR "mowing weed*" OR "finger weed*" OR "rotary hoe weed*" OR "spoon weed*" OR "spring tine weed*" OR "torsion weed*" OR "harrow weed*"
- AND
- earthworm OR beetle OR "farmland bird" OR "bird brood" OR "bird nest" OR "soil life" OR "soil biota" OR "soil microbe" OR "soil microorganism" OR "soil bacteria" OR "soil fung*" OR nematode OR mycorrhiz* OR "ground-dwelling insect"

Daarnaast is gezocht in (inter) nationale grijze literatuur en zijn experts bevroegd. Grijze literatuur bestaat uit rapportages van veldproeven die niet zijn gepubliceerd in wetenschappelijke tijdschriften (i.e. geen peer-reviewed literatuur), maar wel relevante gegevens of informatie bevatten voor deze studie.

3 Mechanische en thermische onkruidbestrijdingstechnieken

Mechanische en thermische onkruidbestrijdingstechnieken zijn tools die nodig zijn wanneer de preventieve maatregelen waarmee vestiging van onkruidzaailingen in een gewas onvoldoende effectief waren om schade aan een gewas te voorkomen of om een toename van de onkruidpopulatie in een volgend gewas te voorkomen. De niet-chemische technieken kunnen ingedeeld worden op basis van de schaal waarop ze werkzaam zijn (volvelds, tussen de rij en in de rij) en de manier waarop ze werkzaam zijn (mechanisch of thermisch). Hieronder wordt een korte beschrijving gegeven van de werking van deze technieken en hun werkingsmechanismen.

Volvelds-technieken worden op het gehele veld of gewas toegepast. Voorbeelden zijn de cultivator, eg, combcut, staafwieder, breedwerkend mes en brander.

Een cultivator kan uitgerust zijn met vaste of meer flexibele tanden, waarbij de mate van flexibiliteit de intensiteit van de bewerking bepaald. Met een toenemende mate van flexibiliteit van de tand neemt de mate van intensiteit af. De onderkant van de tand kan verschillen in breedte waarmee ook de (neven)effecten op onkruidbestrijding en bodem verschillen. Een eg kan uitgerust zijn met verschillende attributen (e.g. schijven, messen en flexibele of vaste tand). De verschillende attributen hebben ieder een eigen werking op de bodem en onkruiden en kunnen gecombineerd worden voor een verhoogde efficiëntie. De eg kan gebruikt worden voor de beheersing van kleine zaailingen en kan het beste voor opkomst van het gewas ingezet worden of in een goed verankerd gewas. Een aangedreven eg wordt ingezet om de effectiviteit te verhogen. Een volledige beschrijving van de technieken kan gevonden worden in Peruzzi and Sartori (1997) of in het handboek Praktisch Onkruidbeheer (van der Schans et al., 2006). De combcut is een tool die de bodem niet bewerkt. Het is een serie messen die de onkruiden afsnijden en waartussen de gewasplanten doorglijden. Dit apparaat is ontworpen voor granen en is te gebruiken in situaties waarin de onkruidplanten een stevigere stengel hebben dan de gewasplanten. De staafwieder en het breedwerkend mes kunnen ingezet worden voor de beheersing van meerjarige onkruiden, in afwezigheid van een gewas. Deze apparaten worden door de grond getrokken op een diepte van 10-30 cm waardoor de wortels van diepwortelende onkruiden uit de grond getrokken (staafwieder) of afgesneden worden (breed werkend mes). Een volvelds brander (propaan) wordt ingezet voor aardappelloof- en onkruidodding, met name in de biologische landbouw.

Tussen de rij zijn een aantal technieken beschikbaar: inter-rij cultivators, schijven, schoffel, borstelwieders, rotorkoep, branden en schoffels. De belangrijkste innovatie van de afgelopen jaren voor deze technieken is de ontwikkeling van geleide systemen die de precisie van de technieken verhogen. Hierdoor kan een groter oppervlak bewerkt worden en een hogere rijnsnelheid bereikt worden. De eerste geleiders volgden de gewassen en hebben als voordeel dat ze breed beschikbaar zijn en goedkoop. Het nadeel is dat een goed ontwikkeld gewas nodig is dat in staat is de apparatuur te geleiden. Een overzicht wordt gegeven door van der Schans et al. (2006).

Wieden in de rij vraagt de hoogste mate van precisie. Beschikbaar zijn torsiewieders, vingerwieders, branders, schoffels en hoge druk wieders. Gedurende de laatste twee decennia heeft de ontwikkeling van cameratechnologie en RTK GPS systemen bijgedragen aan een verhoging van de precisie. Met behulp van deze technologie kan dichter bij de gewasplanten gewerkt worden waardoor een groter deel van het oppervlak van de bodem behandeld wordt.

De torsiewieder bestaat uit twee veertanden waarvan de uiteinden ten opzichte van elkaar afgesteld kunnen worden. De gewasrij moet tussen de tanden doorlopen. Hoe kleiner de afstand tussen de tanden, des te hoger de effectiviteit. Bij goed ontwikkelde planten kunnen de tanden elkaar overlappen. De torsiewieder ontwortelt de onkruiden en wiedt oppervlakkig. De vingerwieder bestaat uit ronde schijven met "vingers". De gewasrij moet precies tussen de vingerwieders doorlopen. Net als bij torsiewieders geldt dat hoe kleiner de afstand tussen de tanden is, des te hoger de agressiviteit.

De strokenbrander en intra-rij branders beschadigen en vernietigen bovengrondse plantendelen en zijn effectief bij jonge kiemplanten. De bodem wordt oppervlakkig verhit. De rijnsnelheid (3-6 km/u) bepaalt de mate van intensiteit van de bestrijding, bij een afnemende snelheid neemt het bestrijdende effect toe omdat de individuele planten langer aan de brander worden blootgesteld.

Luchtdruk widders blazen onkruiden uit de gewasrij en ontwortelen onkruiden. De gewasrij moet tussen de luchtdoppen van de wieder doorlopen. Aan elke luchtdop zit een ganzenvoet die het onkruid tussen de rij in dezelfde werkgang wiedt. Hoe dichter de uiteinden van de luchtdoppen bij de planten komen en hoe hoger de luchtdruk des te effectiever het apparaat.

4 (Neven)effecten niet-chemische onkruidbestrijding op bodemleven

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de beschikbare kennis over de (neven)effecten van mechanische en thermische onkruidbestrijding op de volgende groepen bodemleven: regenwormen, microbiota (bacteriën, schimmels en nematoden) en mesobiota (mijten en springstaarten).

4.1 Regenwormen

De internationale literatuurstudie leverde vier studies op waarin de (neven)effecten van mechanische onkruidbestrijding op regenwormen zijn vergeleken met (neven)effecten van andere vormen van onkruidbestrijding zoals gebruik van herbiciden, groenbemesters en mulching (Andersen et al., 2013; F. Faber, Wachter, & Zaller, 2017; Schreck, Gontier, Dumat, & Geret, 2012; Zaller et al., 2018). De mechanische onkruidbestrijdingstechnieken waarvan (neven)effecten zijn gevonden betreffen cultivateren, eggen, frezen, maaien, rotorkopeggen en schoffelen.

De gevonden (neven)effecten van mechanische onkruidbeheersing op regenwormen waren niet eenduidig. De resultaten varieerden van een afname van het aantal regenwormen als gevolg van mechanische onkruidbestrijding tot geen effect op het aantal regenwormen. Een toename van het aantal regenwormen werd echter nooit gevonden. De studies verschilden in klimatologische en regionale omstandigheden, uitvoeringen en vergeleken technieken.

Zo werd in een wijngaard geen verschil gevonden tussen schoffelen en onkruidbestrijding door herbiciden (Zaller et al., 2018) terwijl in een appelboomgaard eggen resulteerde in een lager aantal regenwormen dan bij toepassing van herbiciden (Andersen et al., 2013). In de wijngaard is onderzocht wat de impact van drie herbiciden (Katana (flazasulfuron), Basta 150 SL (glufosinaat) en Roundup (glyfosaat)) en mechanische onkruidbeheersing (schoffelen) is op regenwormen. Aantal, activiteit, biomassa en reproductie van regenwormen was niet verschillend tussen herbiciden en schoffelen (Zaller et al., 2018). In de appelboomgaard in Denemarken is onderzocht wat het effect van diverse onkruidbestrijdingsmethoden bij toepassing in de boomrij is op de boomgroei, 1^e-klasse appelopbrengst, regenwormen en flora (Andersen et al., 2013). Onkruid werd bestreden door herbiciden (Kerb 400SC en Roundup Bio), eggen, groenbemesters (gras, klaver of afrikaantjes), maaien, mulching (papierwol of koolzaadstro) en vergeleken met onbehandeld zonder onkruidbestrijding. Toepassing van koolzaadstro resulteerde in het grootste aantal regenwormen terwijl papierwol en eggen resulteerde in een afname van de regenwormen vergeleken met de onbehandelde. Het aantal regenwormen na toepassing van herbiciden verschilde niet met de onbehandelde.

Twee andere experimenten in wijngaarden pasten intensievere grondbewerkingsmethoden (cultivator, frees en rotorkopeg) toe als mechanische onkruidbestrijding. Het effect op regenwormen verschilt tussen deze twee experimenten van geen effect (F. Faber et al., 2017) tot een negatieve impact (Schreck et al., 2012) van mechanische onkruidbestrijding op de regenwormen populatie. Stroken zwarte grond in wijngaarden worden over het algemeen mechanisch bewerkt onder andere ter bestrijding van onkruiden. In een Oostenrijkse wijngaard werd geen effect van gereduceerde grondbewerking in deze stroken (frees, rotorkopeg, cultivator) op regenwormen gevonden in vergelijking met onbehandelde stroken. De regenworm dichtheid en biomassa tussen de bewerkingsmethoden tot 188 dagen na toepassing van de bewerking verschilde niet. Hierbij is wel de kanttekening gemaakt dat langjarige proeven op verschillende grondsoorten nodig zijn om te verifiëren of de bevindingen in het algemeen gelden, voor verschillende bodemvocht gehalten en bodemtemperaturen (F. Faber et al., 2017). In een Franse wijngaard resulteerde zowel een herbicide toepassing (niet gespecificeerd) als een 15 cm diepe grondbewerking in een negatieve impact op regenwormsoorten, -aantal en -biomassa in vergelijking met een bedekking van de grond tussen de boomrijen (inter-rij) met gras (Schreck et al., 2012).

Bovenstaand onderzoek geeft aan dat mechanische onkruidbestrijding in fruitboomgaarden niet direct leidt tot opvallende veranderingen in de regenwormpopulatie en -dichtheden. De manier van grondbewerking is overeenkomstig met gangbare bodembewerkingen voorafgaand aan de zaaibedbereiding in de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. Mortaliteit door reguliere grondbewerking bij regenwormen hangt af van de intensiteit en frequentie van de bodemverstoring (Curry, 2004). Daarnaast is gevoeligheid voor grondbewerking afhankelijk van het type regenworm (J. H. Faber & van der Hout, 2009). Regenwormen worden grofweg onderscheiden in drie ecologische typen (Edwards & Bohlen, 1996):

1. Grondeters (endogeïsche wormen) zitten voornamelijk in de grondlaag tot ca. 20 cm diep en graven naast verticale ook horizontale gangen. De gangen zijn het resultaat van hun vraatgedrag, ze vreten grond wat reeds voorzien is van organisch materiaal. Dit type wormen haalt de voedingsstoffen uit de grond.
2. StrooiseleTERS (epigeïsche wormen) bevinden zich merendeels aan het bodemoppervlak onder verwelkend plantmateriaal, een laag bladafval, tussen het gras en vaak in de nabijheid van mest en compost.
3. Pendelaars (anekische wormen) zijn de bewoners van permanente, verticale gangen tot wel meer dan een meter diep.

Grondeters zijn vrij ongevoelig voor grondbewerkingen. Op de klei in de Flevopolder werd na drie- tot viermaal cultivateren met vaste tand (15 tot 20 cm diep en 1 rijrichting) onder drogende weersomstandigheden een reductie van 34% bij dit type regenworm vastgesteld. Onder natte en koelere omstandigheden had deze grondbewerking geen significant effect (Ester & van Rozen, 2002; van Rozen & Ester, 2003). Op deze gangbaar beteelde kleigronden werden lokaal zeer hoge aantallen regenwormen waargenomen (Ester & van Rozen, 2002). In de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt worden over het algemeen minder intensieve mechanische technieken gebruikt om onkruid te bestrijden, waarbij de bewerkingsdiepte varieert van 2 cm (vingerwieders) tot ca. 5 cm bij de aanaarders in de aardappel- en peenteelt (Van der Weide et al., 2008). Meestal vinden de bewerkingen plaats onder drogende weersomstandigheden. Het bestrijdende effect op onkruid is dan het hoogst, omdat de kans op hergroei van losliggende onkruiden sterk afneemt bij droogte (Kurstjens & Kropff, 2001). Dit zijn omstandigheden waarbij veel bodemdieren zich verder in de bodem terugtrekken (Berg & Franken, 2016). Oppervlakkig levende strooiseleTERS en pendelaars zijn gevoelig voor grondbewerking, wat één van de oorzaken is dat deze soorten weinig voorkomen op akker- en tuinbouwgronden (J. H. Faber & van der Hout, 2009). Andere teeltsystemen als niet kerende grondbewerking (NKG) kunnen deze typen echter stimuleren (D' Hose et al 2017), oppervlakkige mechanische onkruidbestrijding zal dan met name de strooiseleTERS negatief kunnen beïnvloeden.

Biologische landbouw gebruikt routinematig mechanische onkruidbestrijdingstechnieken, in tegenstelling tot de gangbare landbouw. Regenwormpopulaties in de biologische akkerbouw zijn echter groter, bevatten meer soorten met grotere individuen en meer jonge exemplaren dan die op de gangbare akkerbouwbedrijven (Bartram & Perkins, 2003). Andere verschillen in teeltmaatregelen tussen de biologische en gangbare teelt, zoals bemesting en gewasbescherming, hebben mogelijk een grotere impact op regenwormen dan de (neven)effecten van mechanische onkruidbestrijdingstechnieken.

4.2 Micro- en mesobiota

In dit subhoofdstuk is beschreven wat bekend is op het gebied van verschillende typen mechanische en thermische bewerkingen en hun impact op micro- (bacteriën, schimmels en nematoden) en mesobiota (mijten en springstaarten).

4.2.1 Arbusculaire mycorrhiza-schimmels

Drie studies rapporteerden over (neven)effecten van mechanische onkruidbestrijding op de wortelkolonisatie door arbusculaire mycorrhiza-schimmels (AMF) (Douds et al., 2018; Rego, Trindade, & Carvalho, 2004; Zaller et al., 2018). De mechanische onkruidbestrijdingstechnieken waarvan beschrijvingen van (neven)effecten zijn gevonden, betreffen schoffelen en valse zaaibedtechniek.

De (neven)effecten op wortelkolonisatie door AMF waren niet consistent in deze studies. In een sinaasappel-boomgaard werd geen verschil gevonden tussen toepassing van herbiciden en mechanische onkruid-beheersing (Rego et al., 2004) terwijl wortelkolonisatie in een wijngaard twee keer zo groot was bij mechanische onkruidbestrijding vergeleken met herbiciden (Zaller et al., 2018). Onkruid in een sinaasappelboomgaard werd bestreden door verschillende combinaties van herbiciden, mechanische technieken (niet gespecificeerd) en handmatig wieden. De verschillende onkruidbestrijdingsmethoden hadden geen invloed op de wortelkolonisatie van sinaasappelbomen met AMF (Rego et al., 2004). In de reeds in paragraaf 4.1 beschreven studie van Zaller et al. (2018) is ook onderzocht wat het effect van herbiciden en schoffelen is op AMF. Wortelkolonisatie door AMF was gemiddeld 53% lager bij toepassing van herbiciden in vergelijking met schoffelen. Tussen de verschillende herbiciden werden grote verschillende gevonden in het aantal kolonie-vormende eenheden¹ (KVE): bij toepassing van Basta was deze hoger, bij toepassing van Roundup lager.

De impact van de frequentie van toepassing van valse zaaibedtechnieken op onkruidbiomassa, sporendichtheid, wortelkolonisatie en impact van AMF op groei en opbrengst van prei (*Allium porrum*) is onderzocht in biologische beheerde gronden met een hoog fosfor (P) gehalte (Douds et al., 2018). Een vals zaaibed werd aangelegd door éénmalig of met een interval van twee of vier weken te frezen (1, 3 of 5 keer) of spitten (1, 2 of 4 keer) op een diepte van respectievelijk 7,5 en 5 cm. Alle objecten werden kort voor het planten bewerkt en de extra bewerkingen zijn daar voorafgaand uitgevoerd. Het ging hier om een vergelijking tussen frequentie van toepassing, dus niet tussen de twee toegepaste technieken. Eenmalig frezen resulteerde in een hogere onkruidbiomassa dan meerdere malen frezen vier weken na planten. Spitten gaf hetzelfde beeld drie weken na planten terwijl de onkruidbiomassa 4,5 week na planten alleen bij vier bewerkingen lager was dan de eenmalige bewerking. De bodem bevatte meer AMF sporen bij eenmalige bewerking dan bij meerdere bewerkingen. Twee weken na planten van de prei was de wortelkolonisatie door AMF hoger na eenmalige bewerking dan na meerdere bewerkingen. Dit verschil was echter niet meer aanwezig na vier en elf weken na planten. De opbrengst verschilde niet tussen de verschillende bewerkingen met de frees terwijl de opbrengst toenam bij een groter aantal bewerking met de spitmachine (Douds et al., 2018). Het negatieve effect van meerdere malen frezen en spitten op het aantal sporen en wortelkolonisatie in de eerste weken na planten met AMF had geen negatief effect op de uiteindelijk prei-opbrengst. Het ging in deze studie echter om gronden met een hoog plant-beschikbaar P-gehalte. Douds et al. (2018) benadrukken dat (neven)effecten bij gronden met een laag plant-beschikbaar P-gehalte anders kunnen zijn. Dit is voor zover bij ons bekend echter niet onderzocht.

4.2.2 Bacteriën, schimmels, mijten en springstaarten

Er zijn vijf studies gevonden waarin de (neven)effecten van mechanische en thermische onkruidbestrijdings-technieken zijn vergeleken met (neven)effecten van andere vormen van onkruidbestrijding zoals herbiciden en handmatig wieden op bodemmicroben (Elsgaard, Jorgensen, & Elmholt, 2010; Klikocka, Stoven, & Schnug, 2003; Mazzoncini et al., 2010; Melloni et al., 2013; Rahkonen, Pietikainen, & Jokela, 1999). De mechanische onkruidbestrijdingstechnieken waarvan beschrijvingen van (neven)effecten zijn gevonden, betreffen eggen, frezen, maaien en schijveneggen. Thermische onkruidbestrijdingstechnieken waarvan (neven)effecten zijn gevonden, betreffen branden en stomen. De organismen waarover in deze studies is gerapporteerd, betreffen bacteriën, mijten, schimmels en springstaarten.

In de studies naar thermische onkruidbestrijding is genoemd dat zowel branden als stomen tot een diepte van slechts enkele millimeters een temperatuursverhoging veroorzaakt (Elsgaard et al., 2010; Rahkonen et al., 1999). Op basis hiervan lijkt het negatieve effect van thermisch onkruidbeheer op microbiota enkel een rol te spelen in de toplaag terwijl het grootste deel van de bouwvoor niet wordt beïnvloed. In een potexperiment is het effect van deze methode op microbiële biomassa en bodemtemperatuur getest. De microbiële biomassa op een diepte van 0-5 mm was 19% lager na toepassing van de onkruidbrander terwijl geen verschil werd gevonden in de laag van 5-10 mm. In het experiment is een relatief grote hoeveelheid van 100 kg propaan ha⁻¹ gebruik terwijl in de praktijk 20-

¹ Kolonievormende eenheden (Engels: colony forming units, CFU) wordt gebruikt om het aantal levende micro-organismen te duiden.

80 kg ha⁻¹ gangbaar is. De bodemtemperatuur op 5 en 10 mm diepte werd met respectievelijk 4,0°C en 1,2°C verhoogd. Rahkonen et al. (1999) concluderen dat de bedreiging die thermische onkruidbestrijding biedt voor microben klein is.

Oppervlakkige mechanische onkruidbestrijding door middel van eggen lijkt geen negatief effect te hebben op microbiota. Zo toonde Elsgaard et al. (2010) dat eggen en geen onkruidbestrijding niet verschilden in diverse biologische bodemkenmerken. Een Deens experiment heeft (neven)effecten van stomen en mechanische onkruidbestrijding op bodem-respiratie, enzymactiviteit en aantallen bacteriën en schimmels vergeleken op biologische beheerde akkerbouwgrond. Onkruid werd beheerd door een mechanische bewerking (eggen), een mechanische bewerking in combinatie met stomen (80-90°C) of geen onkruidbeheer. Resultaten toonden geen verschil in alle variabelen tussen eggen en geen onkruidbestrijding. De combinatie van stomen en eggen had geen effect op bodemrespiratie en bacterie KVE terwijl enzymactiviteit en schimmel KVE lager waren vergeleken met geen onkruidbestrijding na 90 dagen. Elsgaard et al. (2010) bediscussieerden dat stomen resulteerde in ecologisch acceptabele (neven)effecten op korte termijn (90 dagen), maar een lager herstellend potentieel wat kan leiden tot lange-termijn (neven) effecten. Daarentegen heeft stomen enkel effect op een klein deel van de bouwvoor (<10%) waardoor lange-termijn (neven)effecten gering kunnen zijn bij toepassing van een jaarlijkse (kerende) grondbewerking. Bij dit experiment is de grond één dag voor toepassing van de onkruidbestrijdingsmethoden geploegd. Dit is niet representatief voor het huidige onkruidbeheer in de Nederlandse biologische akkerbouw, voor zover bij ons bekend.

Klikocka et al. (2003) lieten zien dat aantallen bacteriën en schimmels na eggen niet verschilden ten opzichte van herbiciden terwijl de biologische activiteit in de bodem hoger was bij eggen dan met herbiciden. Onkruid werd in de aardappelteelt enkel mechanisch (eggen), enkel chemisch (linuron en metribuzin) of mechanisch in combinatie met chemie (metribuzin) bestreden. Resultaten toonden geen verschil in aantallen bacteriën en schimmels tussen de methoden. Dehydrogenase activiteit² was het hoogst bij enkel mechanisch onkruidbeheer terwijl toepassing van enkel herbiciden resulteerde in de laagste activiteit (Klikocka et al., 2003).

Meer intensievere bewerkingen hebben een negatief effect op microbiota, maar de mate van impact was lager dan toepassing van herbiciden in experimenten in Brazilië (Melloni et al., 2013). Het effect van maaien, schijveneg, messenfrees, voor-opkomst herbicide (oxyfluorfen), na-opkomst herbicide (glyfosaat), handmatig wieden en geen onkruidbestrijding op bodemmicroben en microbiële processen is onderzocht in een Braziliaans experiment op een koffieplantage. Al deze methoden hadden een negatieve impact op microbiota en gerelateerde processen, waarbij de mate van impact als volgt was: na-opkomst herbicide > maaien, schijveneg, geen onkruidbeheer en voor-opkomst herbicide > handmatig wieden en frezen, Melloni et al. (2013).

Het effect van gangbare en biologische akkerbouw op biologische, biochemische en chemische bodemkenmerken is vergeleken in een vijfjarig bedrijfssystemenonderzoek in Italië. AMF populatie en wortelkolonisatie en diversiteit aan micro-arthropoden verschilden niet tussen beide bedrijfssystemen. De ratio mijten/springstaarten³ was hoger bij gangbare dan biologische akkerbouw. Dit is een indicatie dat de bodem in het biologische systeem meer werd verstoord dan in het gangbare systeem. Mazzoncini et al. (2010) verklaarde dat dit mogelijk een consequentie is van het frequent toepassen van mechanische onkruidbestrijding in de biologisch beheerde bodem.

4.2.3 Nematoden

Bij het uitdrogen van de grond gaan de nematoden naar dieper gelegen lagen. Dat doen zowel de plantparasieten als de niet plantparasieten. Het valt niet te verwachten dat door mechanische onkruidbestrijding er schade aan de nematoden zou kunnen worden aangericht omdat deze onder droge omstandigheden worden toegepast. De indringing van thermisch en UV is zo ondiep dat ook van deze methoden geen (neven) effecten hoeven te worden verwacht (Persoonlijke communicatie Dhr. L. Molendijk, WUR).

² Dehydrogenase activiteit is een indicator voor de biologische activiteit in de bodem.

³ De ratio mijten/springstaarten wordt gebruikt als eenheid voor ecologische stabiliteit (Bachelier & Bachelier, 1963).

5 (Neven)effecten niet-chemische onkruidbestrijding op bovengrondse insecten

5.1 Gewasmanagement en type bewerking

In dit subhoofdstuk is beschreven wat bekend is op het gebied van verschillende type mechanische en thermische bewerkingen en hun impact op insecten die op de bodem leven.

5.1.1 Mechanische onkruidbestrijding

Er zijn zeven studies gevonden waarin de (neven)effecten van mechanische onkruidbestrijdingstechnieken zijn vergeleken met (neven)effecten van andere vormen van onkruidbestrijding zoals herbiciden of mulching op diverse op de bodem levende insecten (Bartram & Perkins, 2003; Holland & Luff, 2000; Bernhard Kromp, 1989; B. Kromp, 1999; Lorenz, Ulber, & Poehling, 1994; Thorbek & Bilde, 2004; Yardim & Edwards, 2002). De mechanische onkruidbestrijdingstechnieken waarvan beschrijvingen van (neven)effecten zijn gevonden, betreffen borstelen, eggen, maaien en schoffelen. De organismen waarover in deze studies is gerapporteerd betreffen kortschildkevers (*Staphylinidae*), loopkevers (*Coleoptera: Carabidae*), mieren (*Formicidae*) en spinnen (*Araneae*).

In deze studies verschilde de mate van effectiviteit van de mechanische onkruidbestrijding en de andere technieken en daarmee ook de resterende hoeveelheid onkruidbiomassa. De studies beschrijven dat de gevonden verschillen in loopkevers en spinnen voor een groot deel verklaard kunnen worden door een indirect effect van de niet chemische onkruidbestrijding: de mate waarin onkruidresten achterblijven op de percelen. Hoe hoger de achterblijvende biomassa, hoe groter de populatie loopkevers. Gezien de ontwikkelingen in camera- en visietechnologieën is de verwachting dat mechanische onkruidbestrijding zal winnen in effectiviteit en dezelfde mate van onkruidbestrijding kan behalen als de beheersing op basis van herbiciden. De verwachting daarbij is dat de hoeveelheid achterblijvende biomassa daarmee lager zal worden en de indirecte (neven)effecten op deze insecten groter.

Directe sterfte van arthropoden door eggen (eenmalig, 1-2 cm diepte) in granen en het maaien van gras werd gemeten in een Deense studie (Thorbek & Bilde, 2004). De mechanische onkruidbestrijding reduceerde de arthropoden populatie met 25-60%. Daarmee resulteerde de mechanische onkruidbestrijding in een vergelijkbare sterfte van arthropoden als de intensievere bewerkingen zoals ploegen en oppervlakkige hoofdgrond-bewerkingen. Het cumulatieve effect van sterfte, migratie en verstoring van de leefomgeving drie weken na een bewerking was groter dan enkel de directe sterfte. Dit suggereert dat de indirecte impact van een verstoorde leefomgeving een langere periode na bewerking effect kan hebben op de populatie.

In onderstaande paragrafen wordt een korte beschrijving gegeven van de studies en de daarin gevonden (neven)effecten.

Bernhard Kromp (1989) heeft onderzocht of aantallen en soorten loopkevers verschillen tussen biologische en gangbare teeltsystemen met wintertarwe. Verschillen tussen deze systemen waren gericht op onkruidbeheer (mechanisch of chemisch), ziektebestrijding (geen of fungiciden) en bemesting (groenbemester, compost en steenmeel of kunstmest). Voor de mechanische onkruidbestrijding is een eg gebruikt. Aantallen en soorten loopkevers waren groter in biologisch dan in gangbaar geteelde wintertarwe. Mogelijke verklaringen hiervoor waren 1) een minder homogeen gewas wat resulteerde in een heterogeen microklimaat bij de grond, 2) meer onkruid door een lagere effectiviteit van mechanische onkruidbestrijding en 3) de teelt van groenbemesters welke mogelijk betere leefomstandigheden bieden. Hieruit werd geconcludeerd dat het biologische systeem voorziet in betere condities voor een diverse en goed gestructureerde kevergemeenschap en de mogelijke (neven) effecten van eggen werden gecompenseerd. Gesuggereerd werd dat bij een toename in verstoring door

bodembewerkingen en hiermee een hogere effectiviteit van de mechanische onkruidbestrijding de meer gevoelige soorten afnemen in hoeveelheid en alleen de soorten met een groot aanpassingsvermogen zullen overblijven.

(Neven) effecten van mechanische onkruidbestrijdingsmethoden op loopkevers zijn onderzocht in de teelt van suikerbieten in Duitsland. Onkruidbestrijding bestond uit herbiciden, herbiciden + rij-borstel⁴, herbiciden + schoffel en alleen de rij-borstel. Geen directe (schade en sterfte) of indirecte (verandering van de bodemstructuur) (neven)effecten van mechanische beheersingsmethoden werden waargenomen op akkerboogkevers (*Trechus quadristriatus*). Toepassing van alleen de rij-borstel resulteerde in meer loopkeversoorten. Dit werd verklaard door meer onkruid bij het gebruik van een rij-borstel in vergelijking tot de objecten met een aanvullende toepassing met een herbicide (Lorenz et al., 1994). Daarnaast noemden Lorenz et al. (1994) dat in een ander experiment ook geen directe (neven)effecten op drie loopkeversoorten zijn gevonden (bronvermelding en specificaties hiervan ontbreken).

De verandering in actieve dichtheid van arthropoden (geleedpotigen) na toepassing van herbiciden (trifluralin en paraquat) en twee alternatieve onkruidbeheerstrategieën (stro-laag en mechanische onkruidbestrijding (niet-gespecificeerd)) in vergelijking met geen onkruidbestrijding (controle) is onderzocht in de Noord-Amerikaanse tomatenteelt. Hierbij is gekeken naar de bovengrondse groepen loopkevers, mieren en spinnen. De stro-laag reduceerde alle groepen arthropoden en toepassing van herbiciden resulteerde in minder loopkevers dan geen onkruidbestrijding. Mechanische onkruidbeheersing had geen effect op spinnen en de (neven)effecten op loopkevers en mieren waren niet significant. De onkruidbiomassa was het laagst in de behandeling met stro terwijl (neven)effecten van herbiciden en mechanische onkruidbestrijding niet eenduidig lager waren in vergelijking met geen onkruidbestrijding. In de conclusie wordt benadrukt dat het van belang is om de impact van onkruidbestrijdingsmethoden op gewenste arthropoden in acht te nemen bij het formuleren van het juiste onkruidmanagement. Daarbij kan diversificatie met onkruid mogelijk een strategie zijn om arthropoden in agro-ecosystemen te behouden (Yardim & Edwards, 2002).

In de review van Bartram and Perkins (2003) is beschreven dat mechanische onkruidbestrijding een negatieve impact heeft op invertebraten (i.e. ongewervelden), zoals loopkevers, door verstoring en een afname van voedsel.

In Denemarken is onderzocht wat het directe (doding) en indirecte effect (migratie) is van eggen op loopkevers, kortschildkevers en spinnen in biologisch geteelde granen (winterarwe, zomergerst en haver) en gras-klaver. Eggen resulteerde in meer sterfte van spinnen vergeleken met geen onkruidbestrijding. Na eggen herkoloniseerde spinnen zich in één week tot een niveau dat niet verschilde van geen onkruidbestrijding. De migratie van spinnen heeft dus op korte termijn het directe negatieve effect van eggen gecompenseerd. Sterfte en migratie van beide keversoorten verschilde niet tussen eggen en geen onkruidbestrijding (Thorbek & Bilde, 2004). Frequenter eggen kan hier leiden tot negatievere effecten.

In Spanje is onderzocht of beheerstrategieën van boomstroken in een appelboomgaard verschillen in het effect op de actieve dichtheid en diversiteit van bovengrondse predatoren, bestaande uit loopkevers, kortschildkevers, mieren en spinnen. Boomstroken zijn beheerd door toepassing van herbiciden, stro-mulch of een mechanische onkruidbestrijding door middel van een messenfrees. Een groter aantal spinnen werd gevangen bij mechanische onkruidbestrijding dan bij toepassing van herbiciden terwijl aantallen bij andere taxonomische groepen en het totaal aantal predatoren gelijk waren. Mulching resulteerde in een kleiner totaal aantal predatoren, maar het aantal kortschildkevers groter was. De soortenrijkdom van mieren, spinnen en predatoren in totaal was niet verschillend terwijl meer loopkeversoorten bij herbiciden en kortschildkevers bij mulch werden gevonden. Bij toepassing van mechanische onkruidbestrijding was de Shannon-Wiener index⁵ kleiner bij het totaal predatoren en loopkevers dan herbiciden en mulching en kleiner bij kortschildkevers dan mulching. Minarro, Espadaler, Melero, and Suarez-Alvarez (2009) concluderen dat verandering van het beheer van boomstroken van herbiciden naar mulch of mechanische onkruidbestrijding een aanzienlijk effect kan hebben, wat

⁴ In het artikel zijn de Engelse term 'row brush' en Duitse term 'reihenhackburste' gebruikt.

⁵ De Shannon-Wiener index is een veelgebruikte term in de ecologie en is een maat voor het aantal soorten en de onderlinge verdeling van deze soorten.

afhankelijk is van de taxonomische groep. Inzet van een messenfrees is echter een intensieve maatregel, niet direct geschikt voor onkruidbestrijding in een akkerbouw- of vollegrondsgroenteteelt.

5.1.2 Thermische onkruidbestrijding

Drie studies rapporteerden over (neven)effecten van thermische onkruidbestrijding op lieveheersbeestjes (*Hippodamia convergens*), loopkevers en schadelijke plantwantsen (*Lygus lineolaris*) (Dierauer & Pfiffner, 1993, 1994; Seifert & Snipes, 1996). De thermische onkruidbestrijding werd in alle studies uitgevoerd met een onkruidbrander.

Uit deze studies is gebleken dat het effect van onkruidbranden op lieveheersbeestjes, loopkevers en plantwantsen afhangt van het moment en de methode van toepassing in de teelt. Een vroege toepassing (e.g. voor-opkomst) op het moment dat nauwelijks onkruid aanwezig zijn heeft de voorkeur boven een na-opkomst toepassing van het gewas als meer onkruid aanwezig is (Dierauer & Pfiffner, 1993, 1994). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat kevers actiever zijn naarmate meer biomassa van gewas en/of onkruid aanwezig is. Onkruidbranden waarbij de vlam het grondoppervlak raakt is, ongeacht de gasdruk, dodelijk voor lieveheersbeestjes en plantwantsen. Het dodelijke effect nam af naarmate de vlammen op een grotere hoogte werden toegepast en een lage gasdruk werd gebruikt (Seifert & Snipes, 1996). In deze studie is echter niet onderzocht wat de effectiviteit van onkruidbranden met een verschil in gasdruk en toepassingshoogte is op de onkruidbestrijding.

In onderstaande paragrafen wordt een korte beschrijving gegeven van de studies en de daarin gevonden (neven)effecten.

In Zwitserland is onderzocht wat het (indirecte) effect is van onkruidbranden op loopkevers in de teelt van maïs, uien en wortelen. Onkruidbranden had geen effect op de actieve dichtheid⁶ en diversiteit van loopkevers in uien en wortelen terwijl de actieve dichtheid in maïs lager was na onkruidbranden. Het verschil in effect tussen gewassen werd verklaard door het moment van toepassing in de teelt. In de groentegewassen werd onkruidbranden voor-opkomst toegepast, wanneer nauwelijks onkruid aanwezig waren en kevers daardoor inactief waren en zich bevonden in de bovenlaag van de grond. Dit in tegenstelling tot de maïs waar onkruidbranden na-opkomst werd toegepast op het moment dat de grond substantieel werd bedekt door onkruid, waardoor de kevers actiever en boven de grond aanwezig waren. Op basis hiervan werd geconcludeerd dat onkruidbranden geen schadelijk effect heeft op loopkevers mits het voor opkomst wordt toegepast met een geringe grondbedekking door onkruiden (Dierauer & Pfiffner, 1993, 1994). De invloed van de bodem- en luchttemperatuur in relatie tot activiteit van loopkevers is in deze studie niet bediscussieerd. Maïs wordt over het algemeen onder warmere omstandigheden gezaaid dan peen en uien. Dit kan betekenen dat kevers actiever zijn op het moment dat onkruidbranden in maïs van toepassing is terwijl dit in mindere mate het geval is bij (vroege) peen en uien.

Seifert and Snipes (1996) hebben onderzocht wat het (directe) effect is van onkruidbranden op sterfte van de schadelijke plantwants *Lygus lineolaris* (Engels: tarnished plant bug) en het lieveheersbeestje in de teelt van katoen in Noord-Amerika. Beide soorten werden op de grond en op een hoogte van 10 en 20 cm boven de grond in het gewas gemonitord, waarbij twee verschillende gasdrukken (100 en 175 kPa) van de onkruidbrander werden toegepast. Sterfte was 100% van beide soorten op het grondoppervlak ongeacht de gasdruk. Bij de laagste gasdruk was sterfte op 10 en 20 cm van beide soorten lager dan op de grond terwijl alleen de sterfte van lieveheersbeestjes op 20 cm hoogte lager was bij de hoogste gasdruk. In deze studie zijn beide insectensoorten in kooien gehouden waardoor de mogelijkheid om te ontsnappen of schuilen werd uitgesloten. Dit is wel mogelijk in een natuurlijk systeem waardoor sterfte veroorzaakt door onkruidbranden mogelijk lager is. Daarentegen geeft deze studie wel aan dat onkruidbranden een negatief effect kan hebben en dat de impact het grootst is op beide soorten op het grondoppervlak.

⁶ Actieve dichtheid is een functie van beweging van insecten op het grondoppervlak (activiteit) x populatie dichtheid (Lester & Morrill, 1989).

5.2 Effect van het aantal bewerkingen

Vanuit agronomisch perspectief is het wenselijk om geen negatief effect van onkruiden op gewasopbrengst te hebben. Om dit te realiseren kan het nodig zijn om mechanische onkruidbestrijding meerdere malen toe te passen. Het kan echter zijn dat trade-offs bestaan tussen het aantal toepassingen van mechanische handelingen en bovengrondse insecten. Er zijn drie studies uitgevoerd waarin de (neven)effecten van het aantal mechanische bewerkingen op drie loopkeversoorten (*Tachyporus* spp., *Harpalus pensylvanicus* en *Amara aenea*) en spinnen is onderzocht (Blubaugh & Kaplan, 2015; S. Navntoft et al., 2016; Ward, Ryan, Curran, Barbercheck, & Mortensen, 2011). De mechanische onkruidbestrijdings-technieken waarvan beschrijvingen van (neven)effecten zijn gevonden, betreffen eggen, grondbewerking en maaien.

Deze studies beschrijven dat de gevonden verschillen in loopkevers en spinnen verklaard kunnen worden door een direct (dodelijk) en indirect effect (verstoring leefomgeving) van mechanische onkruid-beheersing. De negatieve impact van bewerkingen op deze organismen is groter naarmate een bewerking frequenter wordt toegepast. Dit komt deels doordat meer organismen worden gedood en deels doordat geen stabiele leefomgeving ontstaat bij een groter aantal bewerkingen. Daarnaast kan het negatieve effect van een mechanische bewerking verschillen tussen groeistadia van insecten die op de bodem leven. Zo kunnen volwassen kevers zich verplaatsen terwijl larven minder mobiel zijn en dieper in de bodem verblijven.

Hieronder wordt een korte beschrijving gegeven van de studies en de daarin gevonden (neven)effecten van het aantal bewerking op insecten die op de bodem leven.

Ward et al. (2011) hebben onderzoek in Noord-Amerika uitgevoerd, waarin de actieve dichtheid van de bronskleurige glansloopkever (*Amara aenea*) en *H. pensylvanicus*, beide behorend tot de familie van loopkevers, is gemonitord bij verschillen in eenjarige gewassen, bovengrondse biomassa-productie en veelvuldigheid van verstoringen door grondbewerking en maaien. De bevindingen uit deze studie suggereren dat groenbemesters een positief effect hebben terwijl verstoringen een negatieve invloed hebben op de actieve dichtheid van beide keversoorten in de afwezigheid van groenbemesters.

In Noord-Amerika is de actieve dichtheid van larven en volwassenen van de loopkever *Harpalus pensylvanicus*, een onkruidzaad eter, onderzocht bij verschillen in grondbewerking en groenbemesters in de biologische teelt van tomaten. Het belang om het effect op larven mee te nemen is dat het aantal volwassen kevers wordt bepaald door factoren die gunstig zijn voor de overleving van larven. De actieve dichtheid van larven was tot tienmaal hoger in onbewerkte (Engels: no-till) dan in bewerkte percelen. Een eenmalige hoofdgrondbewerking gevolgd door een lange periode zonder verstoring had geen effect op de foeragerende activiteit van volwassen kevers, maar reduceerde de actieve dichtheid van larven. In tegenstelling tot volwassen loopkevers, zijn larven minder mobiel en kwetsbaar voor verstoringen. Op basis hiervan concluderen Blubaugh and Kaplan (2015) dat ecosysteemdiensten geleverd door granivoren (i.e. zaadetende insecten) kunnen worden aangetast door toepassing van onkruidbestrijding gebaseerd op veelvuldige bewerkingen.

S. Navntoft et al. (2016) hebben onderzocht wat het effect is van viermaal eggen vergeleken met tweemaal eggen in zomertarwe op de dichtheid en diversiteit van arthropoden (i.e. geleedpotigen) en onkruid in Denemarken. Dichtheden van spinnen en loopkevers van het soort *Tachyporus* spp. waren tot 38% hoger bij tweemaal eggen dan viermaal eggen. De diversiteit aan arthropoden was marginaal significant lager (-4,6%) bij viermaal eggen. Een combinatie van het directe dodelijke effect van eggen en indirect verstoring van de leefomgeving zijn als mogelijke verklaringen genoemd voor het negatieve effect van veelvuldig eggen op arthropoda. Viermaal eggen resulteerde in lagere onkruidbiomassa (-77%) en soortendiversiteit (-48%) ten opzichte van tweemaal eggen. Dit had echter geen positief effect op opbrengst, wat suggereert dat het onkruidbestand na tweemaal eggen geen negatief effect had op gewasopbrengst en meer onkruiden getolereerd kunnen worden in het huidige gewas ter bevordering van biodiversiteit. Voor een beheer van onkruiden op de lange termijn is het voorkomen van een opbouw van de onkruidzaadbank noodzakelijk. De auteurs concluderen dat onkruid eggen vroeg moet gebeuren en beperkt moet worden tot een minimum om flora en fauna te beschermen.

6 (Neven) effecten van niet-chemische onkruidbestrijding op broedsel

Jong broedsel is uitermate gevoelig voor landbouwactiviteiten, welke de nesten kunnen vernietigen en daarmee de overleving en instandhouding van de vogelpopulatie kunnen bedreigen. Dit roept de vraag op wat het effect is van mechanische en thermische onkruidbestrijding op broedende vogels, hun nesten en jong broedsel. Drie peer-reviewed studies hebben de directe (neven)effecten beschreven van mechanische onkruidbestrijdingsmethoden op jong broedsel in nesten en nestelende vogels. Onderzoek naar de (neven)effecten van thermische onkruidbestrijding op jong broedsel en nestelende vogels zijn in deze literatuurstudie niet gevonden.

Mechanische onkruidbestrijding heeft een negatieve impact op nestelende vogels door verstoring (Bartram and Perkins (2003)). Daarnaast leidt deze vorm van onkruidbeheersing tot een afname in beschikbaar voedsel en heeft daarmee indirect een negatief effect op de overleving van vogels. De afname van beschikbaar voedsel refereert hier met name naar een geringer aantal insecten dat aanwezig is als voedselbron voor overwinterende vogels. Dit neveneffect geldt echter ook voor herbicidegebruik.

Biologische telers maken gebruik van alternatieve methoden zoals mechanische onkruidbestrijding. Dergelijke methoden kunnen een bedreiging vormen voor op de grond nestelende vogels. In Nederland (Oostelijk Flevoland en Noordoostpolder) zijn de territorium dichtheden en nest successen⁷ van de Kievit (*Vanellus vanellus*) vergeleken tussen biologische en gangbare akkerbouwbedrijven. Territorium dichtheden waren over het algemeen hoger op biologische bedrijven dan op gangbare bedrijven. Nest succes was lager op biologische bedrijven vergeleken met gangbare bedrijven in één van de drie jaren. Dit was veroorzaakt door een hogere frequentie van bodem verstorende landbouwactiviteiten op biologische boerderijen wat resulteerde in meer vernietiging van nesten. De resultaten van deze studie laten zien dat broedende Kieviten potentieel bedreigd kunnen worden door de toegepaste landbouwactiviteiten op biologische bedrijven (S. Kragten & de Snoo, 2007). Deze studie was onderdeel van een PhD waarin werd aangegeven dat mechanische onkruidbestrijding een potentieel gevaar voor de nesten van grondbroedende soorten is en dat de biologische landbouw waarschijnlijk niet zal leiden tot een toename van de meeste boerenlandvogels. In deze studie werden aanwijzingen gevonden dat beschermde nesten vaker gepreedeerd en verlaten werden. Vrijwillige nestbescherming zou verder geoptimaliseerd kunnen worden (Steven Kragten, 2009).

Het is bekend dat grondbewerking de biodiversiteit kan beïnvloeden, waarbij veelal conserverende grondbewerking⁸ (i.e. NKG) als positief wordt gezien ten opzichte van gangbare grondbewerking (kerende grondbewerking). De toepassing van NKG vraagt om een andere onkruidbestrijdingsstrategie dan kerende grondbewerking⁹. Welke vorm van onkruidbestrijding wordt toegepast in combinatie met NKG zou effect kunnen hebben op broedende vogels. Een Franse studie heeft onderzocht of de abundantie van broedende vogels verschilt tussen het type grondbewerking en diverse onkruidbestrijdingsmethoden in koolzaad en tarwe (Barré, Le Viol, Julliard, & Kerbiriou, 2018). In de periode tussen de twee gewassen is een kerende bewerking toegepast als zowel grondbewerking en onkruidbestrijding en vergeleken met NKG in combinatie met een groenbemester of herbiciden. NKG met groenbemester resulteerde in 2.3-4.1 keer meer individuen voor 5 vogelsoorten dan kerende grondbewerking terwijl NKG met herbiciden in 2.1-2.2 keer minder individuen voor 2 vogelsoorten resulteerde. Deze resultaten tonen dat de negatieve impact van herbiciden op broedende vogels groter is dan van grondbewerking, wat betekent dat toename van herbicide gebruik bij toepassing van NKG

⁷ Nesten zijn succesvol uitgedroefd als kleine restanten van eierschalen of uitgekomen kuikens aanwezig zijn in het nest.

⁸ Conserverende grondbewerking is afgeleid van de Engelse term conservation tillage.

⁹ Kerende grondbewerking (ploegen) is een techniek waarmee onkruiden die bij lage temperaturen kiemen bestreden worden en onkruidzaden diep in de grond (15-30 cm) begraven worden. De maximale diepte van waaruit de meeste akkeronkruiden kiemen en in staat zijn een zaailing te vestigen is 10 cm. Door te ploegen worden zaden die op de grond liggen op een diepte begraven van waaruit geen onkruidzaailingen ontstaan. Daarmee kan kerende grondbewerking (ploegen) als een vorm van mechanische onkruidbestrijding gezien worden.

geen veelbelovende strategie is. Daarnaast laten deze resultaten het belang zien van een systeemaanpak om efficiëntie van NKG voor akkervogels te borgen.

“Intensieve mechanische onkruidbestrijding is voor groundbroedende vogels funest. De kans dat nesten tijdens deze werkzaamheden worden geraakt is vrijwel 100%. De nesten van bijvoorbeeld Kieviten zijn goed zichtbaar en kunnen worden ontzien tijdens de werkzaamheden. Hierdoor neemt het nestsucces toe (Steven Kragten, 2009). Nesten van kleinere zangvogels zoals de veldleeuwerik zijn nauwelijks te vinden en kunnen dan ook niet goed worden ontzien tijdens de mechanische groundbewerking” (persoonlijke communicatie Dhr. de Snoo, Universiteit Leiden). In Denemarken is aangetoond dat onkruidbestrijding met de eg in zomergranen een sterk, negatief effect heeft op het broedsucces van Kieviten en scholeksters, terwijl slechts een beperkt aantal veldleeuwerik nesten waren beschadigd. De belangrijkste reden hiervoor was dat de broedperiode van Kieviten en scholeksters samenviel met de periode van onkruidbestrijding, terwijl de meeste veldleeuwerik nesten later werden vastgesteld (Søren Navntoft et al., 2007). De veldleeuwerik is echter in 30 jaar met 95% in Nederland afgenomen en staat op de Rode Lijstsoort (Beusekom, 2015). Ondanks de inzet van een bovengemiddelde hoeveelheid agrarisch natuurbeheer blijken de Veldleeuweriken in een studiegebied in Oost-Groningen niet in staat om voldoende nakomelingen te produceren. In plaats van de benodigde drie komen de vogels onder de huidige omstandigheden niet verder dan 1.43 jongen per jaar (Ottens, Kuiper, van Scharenburg, & Koks, 2013). In deze laatste twee publicaties worden vele oorzaken voor afname van weidevogels genoemd, maar mechanische en thermische onkruidbestrijding worden niet genoemd. Dit komt waarschijnlijk doordat mechanische en thermische onkruidbestrijdingstechnieken vooralsnog zeer beperkt in de praktijk worden ingezet en nog nauwelijks rekening wordt gehouden met toenemende toepassingen van deze technieken. Uit de publicaties van Søren Navntoft et al. (2007) en Ottens et al. (2013) blijkt dat factoren als gewas en eilegperiode invloed hebben op het broedsucces. Met de timing van mechanische en thermische onkruidbestrijding zou dan rekening gehouden kunnen worden.

Nestsucces hangt volledig af van de aandacht, inzet en waarnemingsvermogen van de teler. Markering door nestbeschermers verhoogt de succeskans. Vogels en nesten zijn op akkerland ten tijde van mechanische onkruidbestrijding in open gewassen goed waar te nemen (persoonlijke communicatie Dhr. de Ruiter, proefveldmedewerker biologische teeltsystemen WUR). Technieken als drones met camera's (e.g. thermisch) kunnen tegenwoordig ingezet worden om vogels en nesten te detecteren, maar bevinden zich nog in een experimentele fase, zijn kostbaar en arbeidsintensief.

7 Discussie & conclusie

7.1 Discussie

In onderstaande tabel staan de in deze studie gevonden (neven)effecten van mechanische en thermische onkruidbestrijdingstechnieken op de verschillende doelgroepen samengevat. In de literatuur is met name bekend wat het effect is van mechanische onkruidbestrijding op de doelgroepen regenwormen, bacteriën en schimmels (incl. AMF), op de bodem levende insecten en broedsel. Van thermische onkruidbestrijding is met name bekend wat het effect is op bacteriën en schimmels en op de bodem levende insecten.

Tabel 1. (neven)effecten¹ van mechanische en thermische onkruidbestrijding op bodemleven, op de bodem levende insecten en broedsel in nesten.

Techniek	Bodemleven				Insecten ⁵	Broedsel ⁶	
	Regen-wormen	AMF	Bacteriën & schimmels	Nematoden Mesofauna ⁴			
Thermisch							
- Branden	?	?	-/0	?	?	-/0	?
- Stomen	?	?	-	?	?	?	?
Mechanisch							
- Extensief ²	-/0	0/+	0/+	?	-	-/0	-
- Intensief ³	-/0	-/0	-	?	?	-/0	-

¹ Positief (+), negatief (-), geen (0) of wisselend (-/+, -/0, 0/+) effect. Indien geen (neven)effecten beschreven zijn is een '?' weergegeven.

² Extensieve mechanische onkruidbestrijdingstechnieken (e.g. eggen en schoffelen) tot 5 cm. diepte.

³ Intensieve mechanische onkruidbestrijdingstechnieken (e.g. cultivateren en frezen) met een diepte ≥ 5 cm.

⁴ Mesofauna betreft de ratio mijten/springstaarten.

⁵ Insecten betreffen diverse soorten kevers, mieren, spinnen, lieveheersbeestjes en plantwantsen.

⁶ Broedsel omvat zowel nesten (incl. eieren) als nestelende vogels.

(neven)effecten van niet-chemische onkruidbestrijdingsmethoden op nematoden zijn niet bekend in de beschikbare literatuur. D'Hose et al. (2017) noemen wel (neven)effecten van grondbewerking op nematoden, maar gaan niet specifiek in op de technieken waar het in dit rapport om gaat. Daarnaast is niet bekend wat het effect is van thermische onkruidbestrijding op bodemleven anders dan microbiota en broedsel. Wij verwachten echter dat het effect van thermische onkruidbestrijding op het bodemleven zeer gering is. Rahkonen et al. (1999) en Elsgaard et al. (2010) hebben namelijk laten zien dat de toepassing van thermische methoden een temperatuursverhoging tot slechts enkele millimeters in de bodem veroorzaakt.

Een groot aantal teeltmaatregelen hebben waarschijnlijk in bepaalde mate een (negatief) effect op het bodemleven, bovengrondse insecten en broedende vogels en vogelnesten. Het is echter van belang om deze teeltmaatregelen, waaronder mechanische onkruidbestrijding, in combinatie met elkaar te zien als bedrijfssysteem en de (neven)effecten daarvan op genoemde groepen organismen te kwantificeren (Holland & Luff, 2000). Onkruidbestrijding met behulp van mechanische technieken vraagt veelal meerdere bewerkingen om onkruidpopulaties te beheersen op een vergelijkbaar niveau als bij de inzet van herbiciden. De mate van impact op insecten die op de bodem leven neemt toe naarmate een groter aantal bewerkingen wordt toegepast. Daarnaast zijn de (neven)effecten van mechanische onkruidbestrijding op insecten die op de bodem leven veelal indirect. De mate van effectiviteit van de mechanische onkruidbestrijding bepaalt de hoeveelheid resterende onkruidbiomassa. Hoe hoger de achterblijvende biomassa, hoe groter de populatie loopkevers en spinnen. Gezien de ontwikkelingen in camera- en visietechnologieën is de verwachting dat mechanische onkruidbestrijding zal winnen in effectiviteit en een vergelijkbare mate van onkruidbestrijding kan behalen als herbiciden. De

verwachting daarbij is dat de hoeveelheid achterblijvende biomassa daarmee lager zal worden en de indirecte (neven) effecten op loopkevers en spinnen groter.

We hebben een destructief effect van mechanische onkruidbestrijdingstechnieken op eieren van broedvogels gevonden in de literatuur. Aandacht is noodzakelijk om een terugloop van weidevogels als kievit, verreweg de belangrijkste broedvogel op akkerbouwgronden, te voorkomen. Om de negatieve impact van niet-chemische onkruidbestrijdingsmethoden op broedende vogels en vogelnesten te verminderen is het nodig om de broedende vogels en nesten te kunnen detecteren en beschermen tijdens de uitvoering van een handeling. Een voorbeeld van detectie is de Deense ontwikkeling van een geautomatiseerde nestdetectie op de grond op basis van beeldherkenning (Steen, Therkildsen, Green, & Karstoft, 2015). Op het gebied van nestbescherming zijn in Nederland diverse varianten van een nestkap ontwikkeld (zie voorbeeld van VANL Tieler- en Culemborgerwaarden). Deze nestkap is tot op heden enkel op bouw- en grasland gebruikt om nesten te beschermen tijdens het toedienen van mest met een sleepslang. Ontwikkeling van herkennings- en beschermingstechnieken zoals nestherkenning en -kappen verdient aandacht ter bescherming en behoud van broedsel en daarmee de vogelpopulatie.

Een goede onkruidbestrijding is gewenst om geen negatief effect van onkruiden op de gewasopbrengst te hebben. Deze notitie geeft echter aan dat mechanische en thermische onkruidbestrijding (neven) effecten kunnen hebben op het bodemleven, op de bodem levende insecten en het broedsucces van vogels. Om onkruiden te kunnen bestrijden op een manier waarop deze (neven) effecten voorkomen of verminderd worden, is het nodig om zowel het directe kwantitatieve als kwalitatieve effect van de individuele onkruidbestrijdingsmethoden (waaronder mechanisch en thermisch) op de te beschermen groepen van organismen te bepalen, en om het kwantitatieve en kwalitatieve indirecte effect van de onkruiden die als voedselbron of habitat fungeren (natuurlijke vegetatie in een perceel) vast te stellen. In deze studie hebben we geen kwantitatieve gegevens gevonden. Om in de toekomst onkruiden voldoende te beheersen om gewasschade te voorkomen en om de gewenste doelorganismen te beschermen is het nodig onkruidbeheersingsstrategie te ontwikkelen voor telers die met beide rekening houdt. Hierbij dient de focus te liggen op welke bestrijdingsmethoden op welke manier (e.g. werkdiepte, rijnsnelheid), wanneer (tijdstip en omstandigheden) en in welke frequentie worden toegepast. Ontwikkeling en realisatie van het juiste onkruidmanagement vraagt om (kennis over) een integrale aanpak bestaande uit deze aspecten. Hiervoor is gezamenlijk onderzoek van telers, ecologen en onkruidkundigen nodig naar het kwantitatieve effect op zowel de natuurlijke vegetatie (onkruiden op soortniveau) als op de doelorganismen (gewenste doelgroepen).

7.2 Conclusies

Conclusies tav de (neven)effecten van mechanische en thermische onkruidbestrijdingstechnieken op de drie groepen bodemleven, insecten en broedsel:

1. Mechanische en thermische onkruidbestrijdingstechnieken hebben een beperkt negatief effect op het bodemleven;
2. (Neven) effecten van zowel mechanische als thermische onkruidbestrijdingsmethoden op insecten die op de bodem leven zijn afhankelijk van het moment van toepassing en de hoeveelheid aanwezige en soort achterblijvende biomassa (natuurlijke vegetatie). De mate van impact is waarschijnlijk groter bij toepassing onder warmere omstandigheden en een grotere hoeveelheid resterend aantal onkruiden (natuurlijke vegetatie);
3. De effectgrootte op deze insecten neemt toe bij een groter aantal toepassingen van mechanische onkruidbestrijding;
4. Mechanische onkruidbestrijdingstechnieken zijn destructief voor broedsel;
5. (neven)effecten van thermische onkruidbestrijdingstechnieken op insecten die op de bodem leven en broedsel zijn niet beschreven.

7.3 Aanbevelingen

Voor de huidige en in de toekomst te verwachten toename aan mechanische en thermische onkruidbestrijdingsactiviteiten, is het raadzaam om de mogelijk (neven) effecten van deze technieken op de aanwezige soorten organismen goed in kaart te brengen. Het is noodzakelijk om de fragmentarisch beschikbare kennis te verzamelen en te kwantificeren aangaande alle in dit rapport benoemde aspecten met betrekking tot mechanische en thermische onkruidbestrijding. Essentieel is welke organismen op soortniveau voorkomen per gewas en in hun voortbestaan worden bedreigd door mechanische en thermische onkruidbestrijding, wat niet gecompenseerd wordt door alternatieve leefomgevingen. Een compleet overzicht is gewenst, relevante kennis- en onderzoeksvragen zijn:

1. Mechanische en thermische onkruidbestrijdingsaspecten:
 - a. Nagaan of en in hoeverre verschillende bedrijfssystemen moeten worden gespecificeerd om de (neven)effecten op doelorganismen te kunnen bepalen.
 - b. In welke landbouwgewassen wordt mechanische en thermische onkruidbestrijding toegepast?
 - c. Welke gewassen zijn voor de toekomst in beeld waar mechanische en thermische onkruidbestrijding zal plaatsvinden?
 - d. Maak onderscheid in technieken en specificeer machine eigen kenmerken.
 - e. Stel de berijdingsintensiteit vast.
 - f. Stel per gewas vast hoe vaak en wanneer deze maatregel binnen het groeiseizoen toegepast wordt.
 - g. Wat zijn de bodemcondities, is er sprake van kerende of niet-kerende grondbewerking.
 - h. Breng toekomstige veranderingen van systemen en teeltmaatregelen per gewas in beeld.
2. Relevante organismen:
 - a. Welke organismen op soortniveau komen voor per gewas?
 - b. In welk levensstadium bevinden deze organismen zich?
 - c. Wanneer (welk gewasstadium) komen deze soorten voor binnen het teeltseizoen per gewas?
 - d. Specificeer kenmerken van deze organismen als eileg-periode, gewasvoorkeur, etc.
 - e. Omschrijf de overlevingsstrategie per soort. Bv. veldleeuwerik heeft meerdere broedsels per jaar, vanwege de korte levensduur.
 - f. In hoeverre is het betreffende gewas relevant voor overleving?
 - g. Welke natuurlijke vegetatie (onkruiden) in een perceel vormen een habitat of voedselbron voor de relevante soorten?
 - h. Kent de soort voldoende alternatieve habitatten voor succesvol overleven?
 - i. Kennen de organismen hetzelfde gedrag in heel Nederland of varieert dit per regio?
 - j. Welke soorten worden bedreigd door hun leven deels of grotendeels in gewassen en bedrijfssystemen?
3. Aanwezigheid van relevante (kwetsbare) soorten binnen een bepaald gewas relateren aan de perioden waarin mechanische of thermische onkruidbestrijding gewenst is.
4. Afstemmen en optimaliseren van de onkruidbestrijdingstechnieken op aanwezigheid van organismen.
5. Monitoren en kwantificeren van de (neven)effecten.
6. Waar nodig inzetten van beschermingsmaatregelen ter voorkoming van het vernietigen van het organisme.

Kennis die hieruit voortkomt, kan vervolgens gebruikt worden ter formulering van integraal onkruid-beheersingsmanagement.

Literatuur

- Andersen, L., Kuhn, B. F., Bertelsen, M., Bruus, M., Larsen, S. E., & Strandberg, M. (2013). Alternatives to herbicides in an apple orchard, effects on yield, earthworms and plant diversity. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 172, 1-5. doi:10.1016/j.agee.2013.04.004
- Bachelier, G., & Bachelier, G. (1963). *La vie animale dans les sols*: Orstom.
- Barré, K., Le Viol, I., Julliard, R., & Kerbiriou, C. (2018). Weed control method drives conservation tillage efficiency on farmland breeding birds. *Agriculture ecosystems and environment*, 256, 74-81.
- Bartram, H., & Perkins, A. (2003). The biodiversity benefits of organic farming. *Organic Agriculture: Sustainability, Markets and Policies*, 77.
- Berg, M. P., & Franken, O. (2016). De cruciale rol van bodemtype op de verspreiding van bodemfauna. *entomologische berichten*, 76(2), 41-47.
- Beusekom, R. v. (2015). Landbouw heeft de veldleeuwerik gemaakt en gebroken. *Vogelnieuws*.
- Blubaugh, C. K., & Kaplan, I. (2015). Tillage compromises weed seed predator activity across developmental stages. *Biological Control*, 81, 76-82. doi:10.1016/j.biocontrol.2014.11.007
- Curry, J. P. (2004). Factors affecting the abundance of earthworms in soils. *Earthworm ecology*, 9, 113.
- D'Hose, T., Molendijk, L., Van Vooren, L., van den Berg, W., Hoek, H., Runia, W., . . . Sandèn, T. (2017). Responses of soil biota to non-inversion tillage and organic amendments: An analysis on European multiyear field experiments. *Pedobiologia*.
- Dierauer, H. U., & Pfiffner, L. (1993). Effects of flame weeding on carabid beetles. [Auswirkungen des abflammens auf laufkafer.]. *Gesunde Pflanzen*, 45(6), 226-229.
- Dierauer, H. U., & Pfiffner, L. (1994). *Effects of flame weeding in organic vegetable growing on ground beetles (Coleoptera: Carabidae)*. Paper presented at the Maitrise des adventices par voie non chimique. Communications de la quatrieme conference internationale I.F.O.A.M., Dijon, France, 5-9 July 1993.; 1994. (Ed. 2):137-140. 7 ref.
- Douds, D. D., Lee, J., McKeever, L., Duffield, R., Ziegler-Ulsh, C., & Moyer, J. (2018). Stale seedbed technique for weed control negatively impacts the indigenous AM fungal population. *Biological Agriculture & Horticulture*, 34(3), 199-210. doi:10.1080/01448765.2018.1426493
- Edwards, C. A., & Bohlen, P. J. (1996). *Biology and ecology of earthworms* (Vol. 3): Springer Science & Business Media.
- Elsgaard, L., Jorgensen, M. H., & Elmholt, S. (2010). Effects of band-steaming on microbial activity and abundance in organic farming soil. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 137(3-4), 223-230. doi:10.1016/j.agee.2010.02.007
- Ester, A., & van Rozen, K. (2002). Earthworms (Aporrectodea spp.; Lumbricidae) cause soil structure problems in young Dutch polders. *European Journal of Soil Biology*, 38(2), 181-185.
- Faber, F., Wachter, E., & Zaller, J. G. (2017). Earthworms are little affected by reduced soil tillage methods in vineyards. *Plant Soil and Environment*, 63(6), 257-263. doi:10.17221/160/2017-pse
- Faber, J. H., & van der Hout, A. (2009). *Introductie van regenwormen ter verbetering van bodemkwaliteit* (1566-7197). Retrieved from
- Holland, J., & Luff, M. (2000). The effects of agricultural practices on Carabidae in temperate agroecosystems. *Integrated pest management reviews*, 5(2), 109-129.
- Klikocka, H., Stoven, K., & Schnug, E. (2003). Effect of different soil treatment methods and weed control on microbiological properties of soil and potato yield. [Auswirkungen unterschiedlicher Methoden der Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle auf bodenmikrobiologische Parameter und Kartoffelertrag.]. *Landbauforschung Volkenrode*, 53(4), 209-215.
- Kragten, S. (2009). *Breeding birds on organic and conventional arable farms*. Faculty of Science, Leiden University,
- Kragten, S., & de Snoo, G. R. (2007). Nest success of Lapwings *Vanellus vanellus* on organic and conventional arable farms in the Netherlands. *Ibis*, 149(4), 742-749. doi:10.1111/j.1474-919X.2007.00702.x
- Kromp, B. (1989). Carabid beetle communities (Carabidae, coleoptera) in biologically and conventionally farmed agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 27(1), 241-251. doi:10.1016/0167-8809(89)90089-3
- Kromp, B. (1999). Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 74(1-3), 187-228. doi:10.1016/s0167-8809(99)00037-7
- Lester, D., & Morrill, W. L. (1989). Activity density of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in alfalfa and sainfoin. *Journal of Agricultural Entomology*, 6(2), 71-76.

- Lorenz, E., Ulber, B., & Poehling, H. (1994). Influence of different mechanical weed control techniques on the abundance of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) in sugar beets. *Sonderheft*.
- Mazzoncini, M., Canali, S., Giovannetti, M., Castagnoli, M., Tittarelli, F., Antichi, D., . . . Barberi, P. (2010). Comparison of organic and conventional stockless arable systems: a multidisciplinary approach to soil quality evaluation. *Applied soil ecology*, *44*(2), 124-132. doi:10.1016/j.apsoil.2009.11.001
- Melloni, R., Belleze, G., Pinto, A. M. S., Dias, L. B. D., Silve, E. M., Melloni, E. G. P., . . . de Alcantara, E. N. (2013). METHODS OF WEED CONTROL AND THEIR IMPACTS ON MICROBIAL QUALITY OF SOIL UNDER COFFEE. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, *37*(1), 66-75. doi:10.1590/s0100-06832013000100007
- Minarro, M., Espadaler, X., Melero, V. X., & Suarez-Alvarez, V. (2009). Organic versus conventional management in an apple orchard: effects of fertilization and tree-row management on ground-dwelling predaceous arthropods. *Agricultural and Forest Entomology*, *11*(2), 133-142. doi:10.1111/j.1461-9563.2008.00403.x
- Navntoft, S., Kristensen, K., Johnsen, I., Jensen, A. M. M., Sigsgaard, L., & Esbjerg, P. (2016). Effects of weed harrowing frequency on beneficial arthropods, plants and crop yield. *Agricultural and Forest Entomology*, *18*(1), 59-67. doi:10.1111/afe.12134
- Navntoft, S., Petersen, B., Esbjerg, P., Jensen, A., Johnsen, I., Kristensen, K., . . . Ørum, J. (2007). *Effects of Mechanical Weed Control in Spring Cereals: Flora, Fauna and Economy*: Danish Environmental Protection Agency Pesticides Research No.
- Ottens, H. J., Kuiper, M. W., van Scharenburg, C., & Koks, B. J. (2013). Akkerrandenbeheer niet de sleutel tot succes voor de Veldleeuwerik in Oost-Groningen. *Limosa*, *86*(3), 140-152.
- Peruzzi, A., & Sartori, L. (1997). *Guida alla scelta ed all'impiego delle attrezzature per la lavorazione del terreno*: Edagricole.
- Pesticide Action Network Europe. (2018). *Alternative methods in weed management to the use of glyphosate and other herbicides*. Retrieved from Brussels, Belgium:
- Rahkonen, J., Pietikainen, J., & Jokela, H. (1999). The effects of flame weeding on soil microbial biomass. *Biological Agriculture & Horticulture*, *16*(4), 363-368.
- Rego, I. A. C., Trindade, A. V., & Carvalho, J. E. B. d. (2004). Community and efficiency of arbuscular mycorrhizal fungi under different weed control managements in a citrus orchard. [Comunidade e eficiencia de fungos micorrizicos arbusculares sob diferentes manejos da vegetacao espontanea em pomar de citros.]. *Magistra*, *16*(2), 96-104.
- Schreck, E., Gontier, L., Dumat, C., & Geret, F. (2012). Ecological and physiological effects of soil management practices on earthworm communities in French vineyards. *European Journal of Soil Biology*, *52*, 8-15. doi:10.1016/j.ejsobi.2012.05.002
- Seifert, S., & Snipes, C. E. (1996). Influence of flame cultivation on mortality of cotton (*Gossypium hirsutum*) pests and beneficial insects. *Weed Technology*, *10*(3), 544-549.
- Steen, K. A., Therkildsen, O. R., Green, O., & Karstoft, H. (2015). Detection of Bird Nests during Mechanical Weeding by Incremental Background Modeling and Visual Saliency. *Sensors*, *15*(3), 5096-5111. doi:10.3390/s150305096
- Thorbeck, P., & Bilde, T. (2004). Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *Journal of Applied Ecology*, *41*(3), 526-538. doi:10.1111/j.0021-8901.2004.00913.x
- van der Schans, D., Bleeker, P., Molendijk, L., Plentinger, M., van der Weide, R., Lotz, L., . . . Baumann, D. (2006). *Praktisch onkruidbeheer in akkerbouw en vollegrondsgroente zonder chemie*: Wageningen UR, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO-AGV).
- Van der Weide, R., Bleeker, P., Achten, V., Lotz, L., Fogelberg, F., & Melander, B. (2008). Innovation in mechanical weed control in crop rows. *Weed Research*, *48*(3), 215-224.
- van Rozen, K., & Ester, A. (2003). *Structuurproblemen in relatie tot regenwormen in de Flevopolder*. Retrieved from
- Ward, M. J., Ryan, M. R., Curran, W. S., Barbercheck, M. E., & Mortensen, D. A. (2011). Cover Crops and Disturbance Influence Activity-Density of Weed Seed Predators *Amara aenea* and *Harpalus pensylvanicus* (Coleoptera: Carabidae). *Weed Science*, *59*(1), 76-81. doi:10.1614/ws-d-10-00065.1
- Yardim, E. N., & Edwards, C. A. (2002). Effects of weed control practices on surface-dwelling arthropod predators in tomato agroecosystems. *Phytoparasitica*, *30*(4), 379-386. doi:10.1007/bf02979685
- Zaller, J. G., Cantelmo, C., Dos Santos, G., Muther, S., Gruber, E., Pallua, P., . . . Faber, F. (2018). Herbicides in vineyards reduce grapevine root mycorrhization and alter soil microorganisms and the nutrient composition in grapevine roots, leaves, xylem sap and grape juice. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(23), 23215-23226. doi:10.1007/s11356-018-2422-3

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 430
8200 AK Lelystad
T 0320 291 111
www.wur.nl/openteelten

Rapport WPR-782

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

