

## 1. Einleitung

Pflanzenschutzmittel zielen ihrer Bestimmung nach auf die Vernichtung oder Hemmung von Schaderregern an Kulturpflanzen ab. Da nur etwa 1% der applizierten Menge tatsächlich den Zielorganismus erreicht (SCHINNER & SONNLEITNER 1997), sind von der Anwendung immer auch Nichtzielbereiche des Agrar- oder Forstökosystems betroffen. Dort stellen Pflanzenschutzmittel Stressfaktoren dar, die zum teilweisen oder völligen Ausfall von Populationen von Nichtzielorganismen mit ihren Leistungen führen können. Bei einem Eintrag in den Boden als zentrales Kompartiment terrestrischer Ökosysteme (FITTER ET AL. 1985, GISI 1997) können Pflanzenschutzmittel beispielsweise durch Nebenwirkungen auf Organismen, die als Hauptfunktionsträger bei der strukturellen Dekomposition von Pflanzenstreu zur Mineralisation der enthaltenen Nährstoffe und zum Stoffkreislauf beitragen, wesentliche Funktionen des Ökosystems beeinträchtigen, die unmittelbar in Beziehung zur Bodenfruchtbarkeit und damit zur Pflanzenproduktion stehen. Neben Regenwürmern (Lumbricidae), Kleinringelwürmern (Enchytraeidae), Hornmilben (Oribatei), Asseln (Isopoda) und Doppelfüßern (Diplopoda) gehören zu dieser Gruppe der Zersetzer von Bestandsabfall auch die Springschwänze (Collembola), die als Bewohner des Bodens, der Streuauflage und der Krautschicht einem Pestizideintrag über die Luft in besonderem Maße ausgesetzt sind.

Zur Abwendung derartiger „Gefahren..., die durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln oder durch andere Maßnahmen des Pflanzenschutzes, insbesondere für die Gesundheit von Mensch und Tier und für den Naturhaushalt, entstehen können“ (§1 PflSchG 1998) sieht das Pflanzenschutzmittelgesetz die Durchführung ökotoxikologischer Untersuchungen an Nichtzielorganismen vor, die mit als Grundlage für die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln durch die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) dienen. Für die Beurteilung von Nebenwirkungen auf die Zersetzerlebensgemeinschaft des Bodens wird dabei der Regenwurm stellvertretend für alle anderen o. a. Organismengruppen als Testtier verwendet (OECD 1984, BBA 1998). Es existieren zwar eine Reihe von weiteren ökotoxikologischen Testverfahren mit anderen Bodenorganismen (Zusammenfassungen liefern LØKKE & VAN GESTEL 1998, CORTET ET AL. 1999 und HEIDEN ET AL. 2000), darunter auch ein standardisierter Collembolentest mit der Art *Folsomia candida* (ISO 1999), diese gehören jedoch nicht zum geforderten Grunddatensatz bei der Zulassung.

Gemeinsames Merkmal dieser Biotests ist die Betrachtung der Messparameter Mortalität oder Reproduktion. Diese Testendpunkte können jedoch wenig über das Potenzial von Pflanzenschutzmitteln aussagen, ökologisch relevante Lebensfunktionen der Nichtzielorganismen wie Nahrungsaufnahme, Suche nach Fortpflanzungspartnern oder Flucht vor Räu-

bern zu beeinflussen. Führt ein Pflanzenschutzmittel in umweltrelevanten Konzentrationen z. B. zu einer Störung der Lokomotionsfähigkeit oder zu Vermeidungsreaktionen, kann dies über die Einschränkung der Vitalität bzw. Abwanderung aus kontaminierten Arealen ebenfalls zu einem Populationsrückgang führen. Aus Freiland- und Laboruntersuchungen gibt es zahlreiche Anhaltspunkte für derartige Effekte auf Bodenorganismen, u. a. auch auf Collembolen (EIJSSACKERS 1978, ULBER 1979, SUBAGJA & SNIDER 1981, FÁBIÁN & PETERSEN 1994, CHERNOVA ET AL. 1995, KROGH 1995, AL-ASSIUTY & KHALIL 1996, PETERSEN & GJELSTRUP 1998). Das Verhalten stellt somit einen ökologisch bedeutsamen Angriffspunkt für Pflanzenschutzmittelnebenwirkungen dar, der durch die herkömmlichen Testmethoden nicht abgeschätzt werden kann (HAYNES 1988, LITTLE 1990).

**HAUPTZIEL: Hauptziel dieser Arbeit war es daher, die Wirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf die Lokomotionsfähigkeit und das Vermeidungsverhalten verschiedener, freilandrelevanter Collembolenarten zu untersuchen sowie ein standardisierbares Labortestverfahren für die quantitative Erfassung von Meidereaktionen von Collembolen gegenüber Pestiziden zu entwickeln. Die Ergebnisse der Labortests sollten durch Freilandexperimente verifiziert werden.**

Die Collembolen, die zur Gruppe der Apterygoten (Urinsekten) gehören, stellen eine der arten- und individuenreichsten Gruppen terrestrischer Arthropoden dar (HOPKIN 1997). Sie sind weltweit in allen Klimazonen verbreitet (CHRISTIANSEN & BELLINGER 1995), allein aus Europa sind rund 2700 Arten bekannt (RUSEK 1995). In Waldböden können sie Populationsdichten von weit über 100.000 Individuen pro m<sup>2</sup> erreichen, in Grünlandböden findet man zwischen 10.000 und 100.000 Tiere und in Ackerböden meist unter 20.000 Individuen pro m<sup>2</sup> (WEIGMANN 1998). Nach ihrer morphologischen und physiologischen Anpassung an unterschiedliche Strata des Bodens können die flügellosen Insekten in drei Lebensformtypen eingeteilt werden (GISIN 1943): euedaphische Collembolen leben permanent in tieferen Bodenschichten, während hemiedaphische Arten hauptsächlich die oberflächlichen Bodenschichten und die organische Auflageschicht des Bodens besiedeln. Die epedaphischen Collembolen als phylogenetisch ursprüngliche Formen sind hauptsächlich in der Krautschicht, teilweise auch an Baumstämmen zu finden.

Collembolen beeinflussen die Struktur und die Stoffkreisläufe des Ökosystems Boden als Sekundärzersetzer in vielfacher Hinsicht. Saprophage Arten zerkleinern organische Sub-

stanz und machen sie so der Besiedelung durch Mikroorganismen wie Pilze und Bakterien zugänglich (NAGLITSCH 1965), deren Populationen von mikropytophagen Arten durch selektives Abweiden („Grazing“) in der Phase ständigen Wachstums gehalten werden (WEIGMANN 1993). Collembolen beeinflussen somit über die Zusammensetzung und Sukzession der Saprophytengemeinschaft den Mineralisationsprozess (VISSER 1985). Durch ihre Aktivität können sie zudem das Infektionspotential wurzelpathogener Pilze vermindern oder die Verbreitung von Symbionten fördern (VISSER 1985, KLIRONOMOS & MOUTOGLIS 1999). Durch ihre Exkremete sind Collembolen insbesondere in frühen Sukzessionsstadien auch am Aufbau der Bodenmikrostruktur beteiligt (RUSEK 1975). Zudem stellen sie wichtige und oftmals bevorzugte Beutetiere für eine Vielzahl von räuberischen Bodentieren wie Laufkäfer, Kurzflügelkäfer, Raubmilben, Spinnen, Pseudoskorpione, Hundertfüßer und sogar Krabben dar (SIMON 1967). Durch enge Nahrungsspektren einiger Räuber kann der Ausfall einer einzigen Collembolenart zu Veränderungen der Populationsstruktur der Biozönose führen (MØLLER MARCUSSEN ET AL. 1999).

Aufgrund ihrer hohen ökologischen Relevanz kommt den Collembolen als Testorganismen für ökotoxikologische Untersuchungen wachsende Bedeutung zu (EHRENHARDT & SCHNEIDER 1955, SPAHR 1981, IGLISCH 1985, JANCKE 1989, VAN GESTEL & VAN STRAALLEN 1994, RIEPERT 1996, WILES & KROGH 1998, ACHAZI ET AL. 2000). Dabei werden bevorzugt solche Arten eingesetzt, die einfach im Labor zu halten und ganzjährig zu züchten sind. Bei weitem am häufigsten wird die euedaphische parthenogenetische Art *Folsomia candida* verwendet. Die Befunde dieser Monospezies-Tests sind aufgrund artspezifischer Sensibilitätsunterschiede zunächst nicht auf andere Arten übertragbar. In letzter Zeit wurden jedoch mathematische Modelle entwickelt, mit deren Hilfe eine Extrapolation der Ergebnisse möglich wird (SLOOF ET AL. 1986, KOIJMAN 1987, VAN STRAALLEN & DENNEMAN 1989, ALDENBERG & SLOB 1993). Voraussetzung hierfür ist allerdings eine breite Datengrundlage von Untersuchungen möglichst vieler verschiedener Arten.

Ein weiteres Problem aller Laborversuche ist weiterhin die bislang fehlende Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Freilandbedingungen, die oft durch eine geringe Repräsentanz der Laborarten im Freiland zusätzlich erschwert wird (SCHLOSSER 1994).

**ZIEL:** Die für diese Untersuchung geplanten Versuche sollten daher mit verschiedenen Collembolenarten unterschiedlicher Lebensformtypen durchgeführt werden. Im Hinblick auf die Überprüfung der Laborergebnisse zur Repellentwirkung von Pflanzenschutzmitteln durch Feldversuche sollten Arten verwendet werden, die auch auf der Freilandversuchsfläche gefunden werden

können. Am Anfang der Arbeit stand somit die Etablierung stabiler Laborzuchten möglichst vieler Freilandarten.

Eine Beeinflussung des Verhaltens von Collembolen durch Pflanzenschutzmittel kann auf zwei Ebenen erfolgen.

- a) Durch reversible oder irreversible Schädigungen des motorischen Systems, z. B. als Folge einer neurotoxischen Wirkung von Pflanzenschutzmitteln können Lokomotions- und Koordinationsstörungen auftreten. Derartige Effekte wurden an Collembolen bislang für das Herbizid 2,4,5-T (EIJSAKERS 1975, 1978) sowie die Insektizide Dimethoat (SØRENSEN ET AL. 1995, PETERSEN & GJELSTRUP 1998) und Carbofuran (DENAYER ET AL. 1983) beobachtet.
- b) Durch sensorische Stimulation können gerichtete Orientierungsreaktionen und damit Veränderungen der Position der Tiere im Raum ausgelöst werden. Im Laborversuch konnten Vermeidungsreaktionen gegenüber Pflanzenschutzmitteln bislang bei Versuchen mit den Herbiziden 2,4,5-T (EIJSAKERS 1978), Betanal (ULBER 1979) und Atrazin (SUBAGJA & SNIDER 1981) sowie dem Insektizid Dimethoat (FÁBIÁN & PETERSEN 1994) festgestellt werden. Ein im Freiland häufig beobachtetes Beispiel für natürliche Vermeidungsreaktionen von Collembolen sind die Vertikalwanderungen, die als Reaktion auf eine Veränderung von Umweltfaktoren wie Temperatur und Feuchtigkeit anzusehen sind (CHRISTIANSEN 1964, USHER 1970, HÅGVAR 1983), die aber auch als Folge von Pflanzenschutzmittelkontaminationen beobachtet wurden (KROGH 1995, AL-ASSIUTY & KHALIL 1996).

Beide Effekte sind nicht nur bei Collembolen von hoher ökologischer Relevanz. Durch pestizidinduzierte Störungen der Bewegungsfähigkeit kann ein Tier an der Ausübung sämtlicher Verhaltensweisen, die sein Überleben als Individuum und als Art sichern, gehindert werden (HAYNES 1988, CLARK & HAYNES 1992, BAATRUP & BAYLEY 1993, LENGWILER & BENZ 1994). Wie die oben aufgeführten Untersuchungen zeigen, können diese Effekte durch Pflanzenschutzmittel unterschiedlicher Stoffklassen und Wirkmechanismen ausgelöst werden.

**ZIEL:** Ein Ziel dieser Untersuchung war es daher, Pflanzenschutzmittel aus unterschiedlichen Wirkstoffgruppen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Lokomotionsfähigkeit von Collembolen zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden Akuttests durchgeführt, deren Endpunkt jedoch nicht nur die Mortalität, sondern auch die Mobilität der Versuchstiere war. Dabei wurden zwei Methoden angewendet. Zum einen wurden standardisierte Tests mit einer Expositions-

zeit von 7 Tagen durchgeführt (ACHAZI 2000). In einem zweiten Ansatz wurde das Testdesign jenem der geplanten Wahlversuche angeglichen. Die Versuchsdauer wurde hier auf 24 Stunden verkürzt. Ziel dieser Testreihe war es, jene Pflanzenschutzmittelkonzentrationen zu ermitteln, bei denen Lokomotionsbeeinträchtigungen der Testtiere nicht zu erwarten waren. Diese Konzentrationen wurden in den nachfolgenden Wahlversuchen als Höchstkonzentrationen eingesetzt, um eine Verfälschung der Ergebnisse durch Mobilitätsstörungen auszuschließen.

Für einige Pflanzenschutzmittel ist bekannt, dass sie auf ihre Zielorganismen abschreckend wirken. Diese Wirkung kann erwünscht sein (z. B. um Bienen vor toxischen Effekten zu schützen, SMART & STEVENSON 1982), sie kann aber auch die Exposition der Zielorganismen vermindern (KOEHLER ET AL. 1996) und dadurch einer Resistenzbildung Vorschub leisten (GOULD 1984, PLUTHERO & SINGH 1984, LOCKWOOD ET AL. 1985).

Individuen, die eine potenziell toxische Substanz wahrnehmen und vermeiden, können der Exposition entgehen. Durch das Ausweichen der Tiere vor kontaminierten Arealen kann das Verteilungsmuster einer Population bis hin zur vollständigen Abwanderung verändert werden (SCHAEFER & SCHINK 1994). Ebenso kann die Rekolonisation behandelter Flächen verzögert oder verhindert werden. Die Untersuchung dieser Fähigkeit kann im Labor durch Wahlversuche erfolgen, bei denen den Tieren gleichzeitig eine kontaminierte und eine unkontaminierte Fläche geboten und ihr Aufenthaltsort nach Ablauf der Versuchszeit bestimmt wird.

Zur Bewertung der Lebensraumfunktion von unterschiedlich kontaminierten Böden wurden bereits Wahlversuche an Enchytraeen (Achazi et al. 1996, 1999, PANNECK 2000, WAGNER-VASKE 2000) und Regenwürmern entwickelt, die auf die Untersuchung des Meideverhaltens abzielen (WENTSEL & GUELTA 1988, YEARDLEY ET AL. 1996, SLIMAK 1997, HUND-RINKE & WIECHERING 2001). Mit Collembolen wurden zwar Verhaltenstests durchgeführt, um ihre sinnesphysiologischen Fähigkeiten zu untersuchen (STREBEL 1932, SGONINA 1935, MAYER 1957), ihre ökologischen Ansprüche aufzuklären (BAUER 1979, DIDDEN 1987, VAN STRAALEN & VERHOEF 1997, SALMON & PONGE 1998, 1999) oder ihre bevorzugten Nahrungsquellen zu ermitteln (LEONARD 1984, BENGTSSON ET AL. 1988, 1991, SCHULTZ 1991, SADAKA-LAULAN ET AL. 1998). Ihre Fähigkeit, in Wahlversuchen potenziell toxische Substanzen zu vermeiden, wurde bislang allerdings nur für wenige Stoffe wie Schwermetalle (JOOSSE & VERHOEF 1983, BENGTSSON ET AL. 1994, FILSER & HÖLSCHER 1997, SJÖGREN 1997, FILSER ET AL. 2000) und, wie bereits erwähnt, einige wenige Pflanzenschutzmittel untersucht.

In diesen Untersuchungen an Bodentieren, aber auch in zahlreichen Verhaltensversuchen zur Chemikalienwirkung auf andere Nichtzielorganismen (z. B. GOODRICH & LECH 1990, LITTLE & FINGER 1990, JANSSEN ET AL. 1994) erwies sich die Betrachtung des Testparameters Verhalten gegenüber anderen Endpunkten wie Mortalität und Reproduktion hinsichtlich folgender Aspekte als vorteilhaft:

- a) Verhaltenstests sind oft empfindlicher als Akut- oder andere subletale Tests. Bei der Untersuchung unbekannter Kontaminationen können so niedrigste Schadstoffkonzentrationen erfasst werden. Bei der prospektiven Beurteilung von Pflanzenschutzmitteln können Konzentrationen, die keinen Effekt auf die Versuchstiere haben (NOEC, no effect concentrations), genauer abgeschätzt werden.
- b) Die Testzeit und der Arbeitsaufwand können wesentlich geringer gehalten werden als bei Mortalitäts- oder gar Reproduktionstests.
- c) Durch die Untersuchung von Meidereaktionen lässt sich die Wahrscheinlichkeit einer Exposition als wichtiger Parameter für die Gefährdung einer Organismengruppe besser abschätzen.

**ZIEL:** Ein weiteres Hauptziel dieser Arbeit war es daher, einen Wahlversuch für Collembolen zu entwickeln, mit dessen Hilfe die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln und anderen potenziell toxischen Substanzen auf die räumliche Verteilung der Tiere möglichst einfach, zeit- und kostensparend erfasst werden kann.

**ZIEL:** Die Sensitivität des Wahlversuchs gegenüber Akut- und Reproduktionstests sollte durch einen Vergleich der entsprechenden Ergebnisse abgeschätzt werden.

Analog den Ausführungen von DETHIER ET AL. (1960) zu möglichen Verhaltensreaktionen von Insekten gegenüber Chemikalien werden in der vorliegenden Arbeit Pflanzenschutzmittel, die Insekten zu einer orientierten Bewegung von ihrer Quelle weg veranlassen, als Repellents, ihre Wirkung als repellent bezeichnet.

Nach PLUTHERO & SINGH (1984) bezeichnet die eigentliche Repellentwirkung („repellency“) die Wahrnehmung der Substanz aus der Entfernung, die von der durch Körperkontakt ausgelösten Reizbarkeit („irritability“) unterschieden wird. Ob ein beobachtetes Meideverhalten auf direkten Substanzkontakt oder auf die Wahrnehmung in der Gasphase zurückzuführen ist, bleibt in den meisten Studien allerdings unklar.

**ZIEL:** Die Fähigkeit der Collembolen, die getesteten Substanzen aus der Entfernung (olfaktorisch) wahrzunehmen, sollte daher in der vorliegenden Arbeit als Ergänzung zu den Wahlversuchen (bei denen ein direkter Kontakt über das Bodensubstrat gegeben ist) untersucht werden.

Für die Verhaltensversuche wurden sechs Pflanzenschutzmittel ausgewählt, deren Effekte auf Collembolen aufgrund ihrer unterschiedlichen Wirkmechanismen besonders interessant erschienen:

Aus der Gruppe der synthetischen Pyrethroide stammen die Insektizide **Karate 5 WG** (aktiver Wirkstoff:  $\lambda$ -Cyhalothrin) und **Cymbush 10 EC** (aktiver Wirkstoff: Cypermethrin).

Synthetische Pyrethroide gehören mit zu den wirksamsten Insektiziden, d. h. sie können in sehr geringen Aufwandmengen appliziert werden. Sie leiten sich von den aus getrockneten Blüten der *Chrysanthemum*-Arten gewonnenen natürlichen Pyrethrinen ab, die bereits in der Mitte des 19. Jahrhunderts als Insektizide verwendet wurden. Die synthetischen Pyrethroide sind erheblich lichtbeständiger als die natürlichen Pyrethrine. Sie wirken nicht-systemisch, d. h. sie dringen nicht in Pflanzen ein, sondern entfalten ihre Wirkung als Kontakt- und Fraßgifte auf den Pflanzenoberflächen. Synthetische Pyrethroide können gegen ein breites Spektrum von Schadinsekten eingesetzt werden. Sie sind relativ ungiftig für Säugetiere, jedoch meist sehr toxisch für Fische und Bienen. Charakteristisch für ihre Wirkung ist ein schneller „Knockdown“-Effekt. Ihre biologische Wirkung beruht auf einer Störung der Nervenreizleitung durch eine Blockierung der spannungsgesteuerten Natriumkanäle. Synthetische Pyrethroide sind für ihre Repellentwirkung auf Insekten bekannt. (Zusammenfassende Darstellungen in COATS 1982, SMITH & STRATTON 1986, HAYNES 1988, BRADBURY & COATS 1989, HASSALL 1990, NAUMANN 1990, BÖRNER 1997, DENT 2000).

Karate und Cymbush unterscheiden sich in der Zubereitung des Wirkstoffes im Handelsprodukt (Formulierung). Karate liegt als wasserdispergierbares Granulat, Cymbush als Emulsionskonzentrat vor.

Eine Gruppe von Insektiziden, die ebenfalls über das Nervensystem, allerdings über eine Hemmung der Acetylcholinesterase wirkt, stellen die Carbamate dar. Sie besitzen eine vielseitige biologische Aktivität. Neben Insektiziden gehören auch einige Fungizide und Herbizide zu dieser Stoffgruppe, die sich von der (unbeständigen) Carbamidsäure ableitet. Auch die Carbamate sind für subletale Effekte auf das Verhalten von Insekten bekannt. Repellentwirkungen wurden bisher allerdings nur bei Vögeln festgestellt (LUTTIK 1998; zusammenfassende Darstellungen in BÖCKER & DRABER 1970, COATS 1982, HAYNES 1988, HASSALL 1990, BÖRNER 1997, DENT 2000).

Für die Untersuchung ihrer akuten und subletalen Wirkungen auf Collembolen wurden zwei systemisch, d. h. über ein Eindringen in die Pflanzen wirkende Carbamat-Insektizide ausgewählt, das **Croneton EC 500** (aktiver Wirkstoff: Ethiofencarb), welches gegen Blattläuse eingesetzt wird und das **Curaterr SC 500** (aktiver Wirkstoff: Carbofuran, eines der toxischsten Carbamate), das zur Beize von Rübensamen verwendet wird. Curaterr erscheint hinsichtlich seines Anwendungsbereichs besonders interessant, da einige Collembolenarten als Rübenschädlinge zu den Zielorganismen der Behandlung zählen. Auch diese Produkte liegen in zwei verschiedenen Formulierungen vor, Croneton als Emulsionskonzentrat und Curaterr als Suspensionskonzentrat.

Zum Vergleich mit den Insektizid-Carbamaten und als Positivkontrolle für die Repellentversuche wurde auch ein Herbizid-Carbamat in die Untersuchung mit aufgenommen, das **Betanal** (aktiver Wirkstoff: Phenmedipham), dessen abschreckende Wirkung auf Collembolen bereits nachgewiesen wurde (ULBER 1979).

Zusätzlich zu diesen Vertretern „klassischer“ Pflanzenschutzmittel wurde ein neu entwickeltes Insektizid, das **NeemAzal T/S**, in die Untersuchung mit einbezogen, da es zum einen für seine ausgeprägte Wirkung auf das Verhalten der Zielorganismen bekannt ist, zum anderen über einen völlig anderen Wirkmechanismus verfügt:

Das Ausgangsprodukt für NeemAzal T/S, das NeemAzal, wird aus Kernextrakten des tropischen Neembaums *Azadirachta indica* gewonnen, deren Verwendung als Pflanzenschutzmittel erst 1959 in der westlichen Welt bekannt wurde. Einer der Inhaltsstoffe dieses Extraktes, das Azadirachtin A, ist ein Tetranortriterpenoid mit starker insektistatistischer Wirkung. Diese basiert zum einen auf einem Anti-Fraß-Effekt (LOWERY & ISMAN 1993, SMIRLE & WEI 1996, GOVINDACHARI ET AL. 2000), zum anderen auf einer hormonell gesteuerten Störung der Metamorphose (MORDUE (LUNTZ) & BLACKWELL 1993), des Wachstums und der Fortpflanzung (zusammenfassende Darstellung in SCHMUTTERER 1995).

Das systemisch wirkende Produkt NeemAzal T/S ist erst seit 1998 in Deutschland als Pflanzenschutzmittel zugelassen. Über seine Wirkung auf Collembolen ist bislang nichts bekannt.

Die Handelspräparate enthalten neben dem aktiven Wirkstoff weitere Begleit- und Füllstoffe, die eine optimale Wirkung des Pflanzenschutzmittels im Zielorganismus erzeugen sollen. Sie sorgen z. B. für eine gleichmäßige Verteilung und für die Haftung des Mittels auf Pflanzenoberflächen oder Zielorganismen (Insektizide) bzw. für ein beschleunigtes Eindringen in die Pflanze (Herbizide, systemische Insektizide) (CHADWICK 1985, LEVITAN ET AL. 1995). Viele Begleitstoffe fungieren als Lösungsmittel für die meist wasserunlöslichen Wirkstoffe oder als Antioxidantien (zusammenfassende Darstellung in TELLE 1970 und BÖRNER 1997). Da die

Zusatzstoffe andere chemische und physikalische Eigenschaften besitzen als der aktive Wirkstoff, können sie somit auch die Eigenschaften des Handelsproduktes im Vergleich zu jenen des Wirkstoffs verändern. Im Zuge dessen können auch die toxischen und/oder Repellent-Eigenschaften der Handelpräparate von der Art der Formulierung beeinflusst werden und sich damit teilweise erheblich von jenen der aktiven Wirkstoffe unterscheiden, wie zahlreiche Untersuchungen an verschiedensten Organismen gezeigt haben (EHRENHARDT & SCHNEIDER 1955, EIJSACKERS 1978, DELABIE ET AL. 1985, WILLIAMSON ET AL. 1989, ROSS 1992, SCHMUCK ET AL. 1994, KOEHLER ET AL. 1996)

**ZIEL:** In der vorliegenden Studie sollten daher neben den Handelsformulierungen der sechs Pflanzenschutzmittel auch deren aktive Wirkstoffe auf ihre Toxizität und eventuelle Repellentwirkung gegenüber Collembolen untersucht werden. Für das Herbizid Betanal und das Insektizid NeemAzal T/S standen zudem Leerformulierungen, die alle Beistoffe, jedoch keinen Wirkstoff enthalten, zur Verfügung.

Die Übertragung von Ergebnissen aus Laborversuchen auf Freilandbedingungen ist – nicht nur für Untersuchungen an Collembolen – meist nur schwer möglich, da abiotische und biotische Faktoren die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln in unvorhersehbarer Weise beeinflussen können (SCHNEIDER & BENNETT 1985, ACHIK ET AL. 1989, VAN GESTEL 1992, FILSER & NAGEL 1993, KÖRDEL & RÖMBKE 2001) .

**ZIEL:** Anhand von ausgewählten Pflanzenschutzmitteln sollte daher abschließend überprüft werden, ob ein im Laborversuch beobachtetes Meideverhalten auch unter Freilandbedingungen auftritt und zu einer verminderten Besiedelung kontaminierter Areale durch eine natürlich vorkommende Collembolenpopulation führt.

Zu diesem Zweck sollten mit kontaminierter Streu gefüllte Netzbeutel eingesetzt werden, wie sie üblicherweise für Messungen des Streuabbaus (FRIEBE & GRAMS 1990, LAWRENCE & WISE 2000), aber auch für Untersuchungen zur Sukzession (UVAROV 1994, BERG ET AL. 1998) und zur Besiedelung kontaminierter Areale (BRUCE ET AL. 1999) durch Bodenorganismen verwendet werden.