

Duftöl statt Nervengift

Schutz vor Milliarden-Dollar-Käfer
durch innovativen Pheromoneinsatz

W. Harand, A. Kahrer, F. Hadacek, E. Schneider

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

27/2008

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Duftöl statt Nervengift

Schutz vor Milliarden-Dollar-Käfer
durch innovativen Pheromoneinsatz

Dr. Wolfgang Harand
Calantis Infochemicals GmbH

Dr. Andreas Kahrer
AGES Österr. Agentur für Gesundheit und
Ernährungssicherheit GmbH

Univ.Prof. Dr. Franz Hadacek
Universität Wien

Mag. Eric Schneider
Calantis Infochemicals GmbH

Wien, Februar 2008

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.FABRIKderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzfassung.....	4
2 Project Summary.....	6
3 Einleitung.....	8
4 Ziele des Projektes.....	11
5 Ergebnisse des Projektes.....	12
6 Angaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie.....	21
7 Schlußfolgerungen aus den Projektergebnissen.....	23
8 Literaturverzeichnis.....	25
9 Abbildungsverzeichnis/Tabellenverzeichnis.....	27

1 Kurzfassung

1.1 Motivation

Der Westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) gehört in den USA gemeinsam mit dem Nördlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica barberi*) zu den bedeutendsten Maisschädlingen, die jährlich Schäden und Pflanzenschutz aufwendungen in Höhe von 1 Milliarde US-Dollar verursachen. Der Westliche Maiswurzelbohrer wurde 1992 nach Europa (Jugoslawien) eingeschleppt und breitet sich zunehmend aus (Kroatien, Ungarn, Rumänien, Bosnien-Herzegowina, Bulgarien). Aufgrund seines großen Schadpotentials für Mais wurde *D. virgifera virgifera* als Quarantäneschadorganismus von der EPPO in die A2-Liste und von Seiten der EU in die Richtlinie 77/93/EWG aufgenommen.

In Österreich hat der Käfer bereits etwa 80.000 Hektar (ca. 1% der Staatsfläche bzw. ca. 1/3 der Maisanbaufläche) befallen, so zum Beispiel die gesamte burgenländische Maisanbaufläche. Auf jenen 30 % der Österreichischen Maisanbaufläche, wo keine Fruchtwechselwirtschaft betrieben wird, ist mit einer massiven Bedrohung durch den Schädling zu rechnen. Das bedeutet, daß auf etwa 80.000 ha Landesfläche eine starke Zunahme des Einsatzes schwerer Insektizide zu erwarten ist.

Die Anwendung von Pheromonen zur Kontrolle von Schadinsekten ist eine nachhaltige Form des Pflanzenschutzes, deren breite Anwendung durch hohe Kosten und großen Arbeitsaufwand vereitelt wird. Sie wird gegenwärtig nur in Kulturen mit sehr hoher Wertschöpfung (2.8. Weinbau) mit Erfolg eingesetzt.

1.2 Inhalte und Zielsetzungen

1.2.1 Inhalt

Die Ergebnisse des vorliegenden Projektes sollten die Grundlagen für die Formulierung einer kostengünstigeren Trägermatrix auf Basis nachwachsender Rohstoffe schaffen, die sowohl im Materialpreis als auch in der Anwendung erhebliche Einsparungen ermöglichen. Dadurch soll eine breitere Anwendbarkeit dieser vollkommen giffreien Methode im Pflanzenschutz ermöglicht werden. Die funktionsrelevanten Komponenten der neuen Formulierung sollen aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen (Pflanzenöle, Baumharz etc.), sodaß ein doppelter Nachhaltigkeitseffekt entsteht.

1.2.2 Ziele

Ziel 1 ist die Entwicklung neuer, biologisch abbaubarer bzw. umweltneutraler Trägermatrices für Pheromone auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Erkenntnisse aus Vorarbeiten des Projektwerbers zu Aufbau und Zusammensetzung von Pheromonträgern aus Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen sollen auch umgesetzt werden.

Ziel 2 ist die Entwicklung und Verbesserung der Methoden zur Beobachtung und Bekämpfung von *Diabrotica virgifera virgifera*, in Europa, auf Basis dieser neuen Träger.

Die Übertragbarkeit breiter Erfahrungen aus der Praxis im Einsatz von Pheromonen zur Kontrolle von Schadfaltern auf den Maiswurzelbohrer wird getestet.

1.3 Methodische Vorgehensweise

1.3.1 Angewandte Methoden im Hinblick auf Ziel 1

Anorganische und biologische Träger wurden auf ihre Eignung als Pheromonmatrix getestet und mit einer Kapsel aus einer Kunststoffmembran verglichen. Als Trägermaterialien wurden

Kieselgel, Baumwolle, Filterpapier, Paraffinwachs, Paraffinöl, Maiskeimöl, sowie ölhaltige Samen (Tafeltrauben, Sonnenblumen, Papaya, Melone) untersucht. Darüber hinaus wurde die Wirkung von in der Parfumindustrie eingesetzten Fixativa getestet: Abietinsäure (Hauptbestandteil von Fichtenharz), Tripalmitin (Hauptbestandteil natürlicher Fette) und Maiskeimöl. Bei allen Trägermaterialien wurde die Abgaberate für Ethylcaprat (eine dem natürlichen Pheromon des Maiswurzelbohrers ähnliche, aber ungleich kostengünstigere Verbindung) während 3 Wochen bei konstanter Temperatur bestimmt. Dazu wurde mittels hochempfindlichen Präzisions-Waagen das Gewicht beobachtet und aus der Gewichtsänderung die Abgaberate errechnet. Aufgrund der Beobachtungen mit dem Pheromonersatz Ethylcaprat wurde sodann die Übertragbarkeit für das tatsächliche Pheromon des Maiswurzelbohrers (8-Methyl-2-Decanol-Propanoat) anhand ausgewählter Träger bestimmt. Zusätzlich wurde der Einfluß der Temperatur auf die Abgaberate des Pheromons durch Lagerung unter 3 verschiedenen Klimaregimes untersucht.

1.3.2 Angewandte Methoden im Hinblick auf Ziel 2

Zunächst wurde eine Methode erarbeitet, um ausreichend viele unbegattete Individuen von *Diabrotica virgifera* bereitzustellen. Die bereits erprobte Methode der *Diabrotica* Larvenzucht in Töpfen mit Maispflanzen im Gewächshaus wurde weitergeführt und die klimatischen Tag-Nachtrhythmen bei der anschließenden Lagerung im Klimaraum so eingestellt, daß ausreichend viele Käfer in einem kurzen Zeitintervall schlüpfen. Diese Käfer wurden noch vor ihrer Paarung händisch vereinzelt und weiterhin isoliert gehalten. In einem ersten Arbeitsschritt wurde das Käfigdesign an die Anforderungen der Maiswurzelbohrer angepaßt, um natürliches Verhalten sicherzustellen. Käfige aus in Metallrahmen verspannten dunklen Netzen mit stellen sich als geeignet heraus. Unbegattete Individuen wurden in derartigen Käfigen, die mit jungen Maispflanzen in Töpfen bestückt wurden, freigelassen. In periodischen Zeitintervallen wurden danach weibliche Käfer entnommen, abgetötet und nach dem Vorhandensein von Spermatophoren (Kennzeichen einer erfolgreichen Kopulation) untersucht. In einem Maisfeld in Deutsch Jahrndorf im Burgenland wurden Klebefallen, bzw. „Steinerfallen“, die mit Sexualpheromonen von *Diabrotica virgifera* mit jeweils einem herkömmlichen bzw. einem neu entwickelten Dispenser bestückt, in wöchentlichen und monatlichen Intervallen kontrolliert. Bei jeder Kontrolle wurden die Fallen entleert, die gefangenen Käfer gezählt bzw. die beleimte Folie durch eine neue ersetzt. Die insgesamt 6 Versuchsvarianten waren in 4-facher Wiederholung im Maisfeld in randomisierter Anordnung ausgebracht.

1.4 Ergebnisse

Bei Normalbedingungen zeigten alle getesteten Träger außer Kieselgel vorteilhaftere Eigenschaften als herkömmliche Pheromondispenser aus Gummi. Bei Normalbedingungen übertrafen Pflanzensamen deutlich alle anderen getesteten Trägermaterialien sowie auch die getesteten Kombinationen. Allerdings zeigten die getesteten Pflanzensamen eine stärkere Temperaturabhängigkeit als Pflanzenöl oder kommerzielle Dispenser, so daß bei Temperaturen deutlich über 20°C ihr Vorteil gegenüber herkömmlichen Dispensern abnimmt. Dieses Problem kann voraussichtlich durch Imprägnierung der Pflanzensamen mit einer höheren Wirkstoffkonzentration reduziert oder gelöst werden.

Die Versuche zur Konfusionstechnik brachten große Fortschritte. Die Versuchsbedingungen für eine Wirksamkeitsprüfung der Konfusionstechnik bei Maiswurzelbohrern konnten bestimmt werden und führten zu einem Befruchtungserfolg von 80% in der Kontrolle. Mittels Behandlung mit den neu entwickelten Dispensern aus Pflanzensamen konnte diese Befruchtungsrate auf bis zu 20% reduziert werden.

Dieses Resultat kann einen Wendepunkt im Einsatz von Pheromonen zur Bekämpfung bedeuten, da die Anwendung der erzielten Erkenntnisse eine erhebliche Reduktion des Arbeits- und Materialaufwandes in der Konfusionstechnik ermöglicht.

2 Project Summary

2.1 Background

The western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*), together with its relative *Diabrotica barberi*, represents the most threatening pest organism of corn in the USA, where it causes expenses of approximately one billion US-Dollars each year. The western corn rootworm was introduced to Europe (Yugoslavia) in 1992, where it threatens to spread over the entire continent. Due to its enormous threat to corn it has been classified as quarantine pest by the EU in the directive 77/93/EWG.

In Austria the beetle has already conquered about 80.000 ha (approximately 1% of the total territory or one third of the corn production area). Invading from the east, it has so far affected the whole state of Burgenland. On approximately one third of Austria's corn production area, there is no crop rotation, offering optimum conditions for the new pest. This means that approximately 80.000 ha now face an enormous increase in toxic pesticides.

The application of pheromones offers a sustainable form of plant protection, which is currently limited by high cost and labour intensity. Therefore, this technique is currently mainly employed with high value crops, e.g. viticulture.

2.2 Issues and Objectives

2.2.1 Issues

This project intended to provide fundamental data for the development of an inexpensive pheromone carrier of biological origin, which is competitive in production as well as in application. Such a carrier should enable expansion of the plant protection method called "mating disruption technique" by making it applicable for automated processing. Herewith an instrument shall be offered to substitute toxic plant protection agents with non-toxic biodegradable formulations in corn production and, subsequently, in various other crop plants.

2.2.2 Objectives

Objective 1 is the development of new, biodegradable carriers for pheromones based on renewable resources. We built on previous research of Calantis Infochemicals GmbH regarding composition of pheromone carriers, applying them on renewable resources.

Objective 2 is the development and improvement of strategies for monitoring and fighting of *Diabrotica virgifera virgifera*, the western corn rootworm based on the new carrier. We wanted to investigate the possibility to apply pheromones in the control of a pest beetle, namely *D. virgifera*, which has so far only been realized for the biologically distinct group of moths.

2.3 Methodical approach

2.3.1 Methods applied with respect to Objective 1

Inorganic and biological raw materials were tested for their suitability as pheromone carriers, comparing them with capsules of synthetic polymers. Materials tested include silica gel, cotton, filter paper, paraffin wax, paraffin oil, corn oil and oil containing seeds (grapes, sunflower, papaya and melon). Furthermore the effect of fixatives used in the perfume industry (abietic acid, main component of plant resin); glycerol tripalmitate (typical component of natural fats); corn oil; on retention of volatiles on solid and liquid carriers was studied.

Evaporation rates of ethylcaprate, a cheap and structurally close substitute for the natural pheromone of *D. virgifera*, were monitored at constant temperature on all materials during three weeks. Evaporation rates were determined with a laboratory precision balance. Based on the observations with ethylcaprate, the most suitable carriers were selected and tested with the real pheromone of *D. virgifera* (8-methyl-2-decanol-propanoate). Additionally, the impact of three different temperatures on the evaporation rates was investigated.

2.3.2 Methods applied with respect to Objective 2

As a first step, a method to supply sufficient unmated adult corn rootworm beetles was developed. Environmental conditions in a controlled environment were optimized to maximize larval emergence in a short period of time. The beetles were separated manually immediately after emergence and kept isolated. The unmated adults were released into cages containing living corn plants in pots. In a first approximation, cage design was adapted to suit the necessities of the beetles and to ensure natural behaviour. Cages of dark mesh suspended from an aluminium frame turned out viable. Unmated beetles were set free in such cages, supplied with young corn plants in pots. In regular intervals females were caught and dissected to check for presence of spermatophores, sign of successful copulation.

A corn field near Deutsch Jahrndorf, Burgenland, was chosen for the tests with pheromone traps. Sticky traps and jar traps ("Steinerfallen"), equipped with a traditional or newly developed pheromone dispenser of *D. virgifera*, were used. Sticky traps were checked weekly or monthly for total catches, jar traps were checked monthly. All six test regimes were observed in 4-fold repetition.

2.4 Results

Under standard conditions all tested carrier materials excluding silica gel proved superior to traditional rubber dispensers. Further more, oil-containing plant seeds performed far better under standard conditions than other materials or combinations thereof. However, with elevated temperatures the advantages of oil-rich seeds diminished. From the tests with different concentrations it can be concluded that higher pheromone levels in the substrate reduce this temperature related effect. This observation, however, needs further investigation.

The field studies were heavily affected by exceptionally hot temperatures, which reduced the advantages of the newly developed pheromone dispensers. On the other hand, in the mating disruption experiments, we achieved exceptional results. After setting up a test system that provided a regular mating success of 80 % under controlled conditions, reproduction could be reduced to 20% by application of the mating disruption technique with the new pheromone dispensers. This result might be considered a turning point in the application of pheromones in plant protection, because mating disruption with biologically degradable dispensers, suitable for automated processing, has been used successfully for a beetle for the first time. The proof of concept has been achieved for a technique that is capable of reducing cost and labour intensity of the mating disruption technique, a plant protection method that substitutes hazardous insecticides with harmless natural odours.

3 Einleitung

3.1 Allgemeine Einführung in die Thematik

Flüchtige Signalstoffe stellen wichtige Kommunikationsmittel der Tier- und Pflanzenwelt dar. Die Aufklärung der chemischen Struktur und biologischen Funktion von mittlerweile über 7000 Signalstoffen (www.pherobase.com) schaffte die Voraussetzungen für zahlreiche Anwendungen in der Kontrolle von Schadinsekten im Pflanzen- und Vorratsschutz. Während insbesondere Pheromone, also innerartliche Signale, mittlerweile intensiv erforscht sind, hinkt deren Anwendung noch weit hinterher. Die häufigste Anwendungsform sind Monitoringfallen mit Sexuallockstoffen, die zur Beobachtung der Populationen von Schadorganismen eingesetzt werden. Darüber hinaus können in ausgewählten Kulturen auch Bekämpfungsmaßnahmen ausschließlich mit Pheromonen durchgeführt werden – in der sog. "Konfusionstechnik" wird in der



Abbildung 1: Erwachsener Maiswurzelbohrer, *Diabrotica virgifera virgifera*.

Anbaufläche so viel Signalstoff freigesetzt, daß die natürlichen Quellen überlagert werden und die chemische Kommunikation unterbunden wird. Männchen finden die Weibchen nicht mehr, die Vermehrung wird verhindert. Die Konfusionstechnik stellt somit eine vollkommen ungiftige, ökologisch verträgliche Methode des Pflanzenschutzes dar.

Der Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*, DvV) gilt als einer der zehn bedeutendsten Getreideschädlinge der Welt (Hummel, Hein & Shaw 2005). Er gehört in den USA gemeinsam mit dem Nördlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica barberi*) zu den bedeutendsten Maisschädlingen, die jährlich Schäden und Pflanzenschutz aufwendungen in Höhe von 1 Milliarde US-Dollar verursachen. Seit 1992 ist der ursprünglich in Zentralamerika beheimatete Käfer auch in Europa (Baufeld & Enzian 2005) und seit dem Jahr 2002 auch im Osten Österreichs zu finden, wobei eine ständige Ausbreitung des Schädlings zu beobachten ist (Cate 2005). So

ist zum Beispiel bereits die gesamte burgenländische Maisanbaufläche betroffen, insgesamt hat der Käfer in Österreich bereits 80.491 Hektar befallen, das sind ca. 1% der Gesamtfläche bzw. ca. 1/3 der Maisanbaufläche Österreichs (AGES – Österr. Agentur für Gesundheit und Ernährung GmbH).

3.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Zur Bekämpfung des Maiswurzelbohrers stehen gegenwärtig keine umweltschonenden Methoden zur Verfügung. Die Konfusionstechnik in ihrer gegenwärtigen Form ist für den Einsatz in Maisfeldern nicht geeignet, da sie auf die manuelle Ausbringung von Pheromondispensern aufbaut. Dies ist in Maisfeldern undurchführbar und darüber hinaus auch aus Kostengründen nicht möglich.

3.3 Fokus/Schwerpunkte der Arbeit

Das vorliegende Projekt sollte die Grundlagen für die Weiterentwicklung der Konfusionstechnik schaffen, um sie auch für Kulturpflanzen wie Mais einsetzen zu können. Dazu ist eine neue Formulierung erforderlich, die maschinelle Ausbringung und eine kostengünstigere Herstellung ermöglicht.

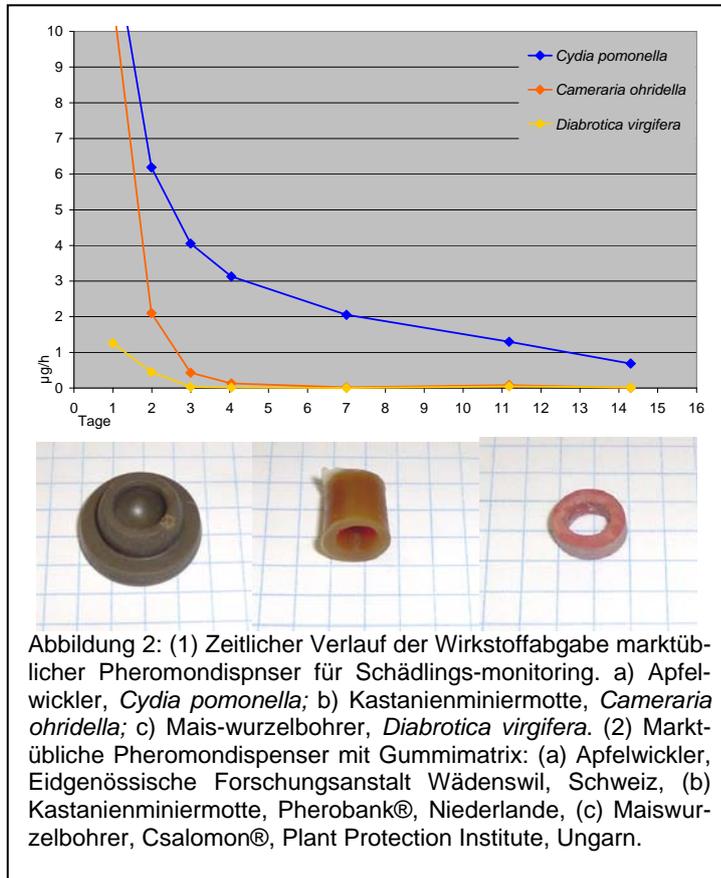


Abbildung 2: (1) Zeitlicher Verlauf der Wirkstoffabgabe marktüblicher Pheromondispenser für Schädlings-monitoring. a) Apfelwickler, *Cydia pomonella*; b) Kastanienminiermotte, *Cameraria ohridella*; c) Mais-wurzelbohrer, *Diabrotica virgifera*. (2) Marktübliche Pheromondispenser mit Gummimatrix: (a) Apfelwickler, Eidgenössische Forschungsanstalt Wädenswil, Schweiz, (b) Kastanienminiermotte, Pherobank®, Niederlande, (c) Maiswurzelbohrer, Csalomon®, Plant Protection Institute, Ungarn.

Der Maisschädling Dvv dient als Modellorganismus, um die Methode der Konfusionstechnik so zu verbessern, daß sie breite Anwendung finden kann. Dazu muß eine Pheromonformulierung in flüssiger oder granulärer Form gefunden werden, welche einfache maschinelle Verarbeitung bei Herstellung und Ausbringung ermöglicht. Für die Funktionalität der Methode ist essentiell, daß der flüchtige Wirkstoff möglichst konstant über einen Zeitraum von mehreren Monaten freigesetzt wird.

Normalerweise nimmt die Abgabe/Freisetzung von flüchtigen Substanzen mit der Zeit exponentiell ab. Beispielsweise verlieren herkömmliche Pheromondispenser, wie sie für Monitoringzwecke eingesetzt werden, innerhalb von 3 - 5 Tagen ihre Wirksamkeit (Abb. 2), deren Grenze je nach Organismus bei etwa 1-2 µg/Dispenser·h liegt. Neueste Studien legen nahe, daß sprühbare

Pheromon-Formulierungen auf Basis natürlicher, biologisch abbaubarer Träger, ausreichend lange wirksam sind (z.B. Stelinski et al. 2005) und zudem mit einer geringeren Menge Pheromon pro Hektar auskommen. Aufgrund der flüssigen Formulierung sind sie in der Herstellung kostengünstiger und in der Anwendung einfacher.

Die erste Herausforderung des Projektes bestand darin, unter Einbeziehung bereits vorhandener eigener und publizierter Erfahrungen eine Formulierung für Pheromone zu finden, die den exponentiellen Verlauf der Wirkstoffabgabe so verändert, daß die Wirkung erst nach mehreren Monaten verloren geht. Um dem Prinzip der Nachhaltigkeit zu genügen, muß diese Formulierung darüber hinaus aus biogenen und natürlich abbaubaren Komponenten bestehen.

Vorversuche hatten gezeigt, daß 2-Komponenten-Systeme eine wesentlich bessere Kontrolle bestimmter physikalischer Eigenschaften ermöglichen als die derzeit eingesetzten 1-Komponenten-Systeme. Ein solches 2-Komponenten-System besteht zum Beispiel aus einem Trägermaterial und einer festen Membran oder aus einem Granulat eingebettet in eine flüssige Matrix. Darüber hinaus wurde auch die Effektivität von Fixativen getestet, wie sie in Parfums zum Einsatz kommen. Durch eine optimale Kombination dieser Komponenten soll eine möglichst konstante Abgaberate des Lockstoffs über einen längeren Zeitraum gewährleistet werden. Außerdem soll die Temperatur- und UV-Sensibilität so weit wie möglich reduziert werden, um volle Funktionstüchtigkeit unter Freilandbedingungen zu gewährleisten.

Für die Bestätigung der Funktionalität der Konfusionstechnik beim Maiswurzelbohrer ist die Adaptierung bestehender Methoden für diesen Schädling erforderlich. Primär mußte eine geeignete Standardsituation im Labor geschaffen werden, welche Vergleiche zwischen ver-

schiedenen Behandlungsmethoden ermöglicht. Das erfordert die ausreichende Verfügbarkeit unbefruchteter Schädlinge im Labor, weiters ein Setup einer Negativ-Kontrolle, in dem unter Laborbedingungen eine funktionierende Reproduktion stattfindet und auch beobachtet werden kann, und ein Setup einer Positiv-Kontrolle, unter der die Reproduktion erfolgreich unterbunden wird. Nur in dieser Vergleichssituation kann die Wirkung einer neuen Formulierung evaluiert werden.

Für die Negativ-Kontrolle werden unbegattete Käfer in unterschiedlich große Käfige (von 1,8 oder 16 m³ Rauminhalt) aus Metallgestellen, die mit Plastikfolien überzogen sind, zusammengebracht und weibliche Käfer in periodischen Zeitintervallen entnommen, abgetötet und nach dem Vorhandensein von Spermaphoren (Kennzeichen einer erfolgreichen Kopulation) untersucht.

Für die Positivkontrolle wurde ein System aus Dispensern verwendet, wie dies bei der Konfusionstechnik dem Stand der Technik entspricht. Geeignete Dispenser existieren für den Maiswurzelbohrer nicht. Die am Markt erhältlichen Modelle zeigen extrem rasche Abnahme der Abgaberate und ermöglichen daher keine standardisierten Bedingungen. Im Rahmen des vorliegenden Projektes sollte daher auch ein Dispensersystem entwickelt werden, das die Pheromone von DvV konstant über einen längeren Zeitraum abgibt. Arbeitstechnisch umfaßt dies die identischen Arbeitsschritte wie die Entwicklung der sprühbaren Formulierung, nur mit anderen Komponenten.

Aus der Entwicklung dieses Dispensersystems erwarten wir uns auch einen erheblichen Zusatznutzen, da dieses für Monitoring-Zwecke wesentlich besser geeignet wäre als die bisher am Markt erhältlichen Produkte. Damit wird ein dringendes Bedürfnis erfüllt, das einen europaweit neuen Standard im Monitoring dieses Schädlings setzen würde.

Aufgrund der großen strukturellen Ähnlichkeit vieler Pheromone lassen sich die gewonnenen Erkenntnisse sowohl bei Dispensern als auch bei der Konfusionstechnik in weiterer Folge einfach auf andere Schadorganismen übertragen.

3.4 Einpassung in die Programmlinie

Die Programmlinie Fabrik der Zukunft strebt Innovationssprünge in drei Bereichen an: Produktionsprozessen, Produkte und Dienstleistungen, Nachwachsende Rohstoffe. Das vorliegende Projekt fällt in alle drei Kategorien.

3.5 Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Ergebnisberichtes

Der Ergebnisbericht stellt die zuerst die Ziele des Projektes dar, erläutert die gewählte Vorgangsweise und beschreibt die erreichten Ergebnisse.

Im Anschluß werden die Ergebnisse aus dem Blickwinkel der Programmlinie erläutert und in einen entsprechenden Zusammenhang gestellt. Abschließend werden noch die Umsetzungspotentiale dargestellt.

4 Ziele des Projektes

4.1 Ziele zur Trägermatrix-Entwicklung

Entwicklung einer oder mehrerer neuer, biologisch abbaubarer Trägermatrizes für Pheromone mit folgenden Merkmalen:

- Abgabe des flüchtigen Wirkstoffes langsamer und gleichmäßiger bzw. umweltneutraler als bei herkömmlichen Dispensern aus Gummi.
- Kostengünstig in Materialkosten und in der Anwendung (Ermöglichung der maschinellen Ausbringung)
- Träger auf Basis nachwachsender Rohstoffe

4.2 Ziele zur Maiswurzelbohrerbekämpfung

Entwicklung von Strategien zur Beobachtung und Bekämpfung von *Diabrotica virgifera virgifera* auf Basis dieser neuen Träger:

- Entwicklung einer Testmethodik für Konfusionstechnik mit dem Maiswurzelbohrer.
- Nachweis der attraktiven Wirkung der entwickelten und mit dem Sexualpheromon des Maiswurzelbohrers versetzten Trägermatrix unter Freilandbedingungen.

4.3 Zielerreichung

Das Ziel zur Trägermatrix-Entwicklung wurden alle Punkte unter Normalbedingungen vollständig erreicht. Aufgrund von Versorgungsschwierigkeiten mit dem Pheromon zeigten sich allerdings in den differenzierenden Tests unter verschiedenen Temperaturregimes Probleme bei hohen Temperaturen ab ca. 30°C. Die Resultate legen nahe, daß diese Probleme höchstwahrscheinlich mit der geringen eingesetzten Wirkstoffmenge zusammen hängen, ein endgültiger Beweis dieser Hypothese konnte im vorliegenden Projekt jedoch nicht erbracht werden.

Das Ziel „Entwicklung einer Testmethodik für Konfusionstechnik mit dem Maiswurzelbohrer“ wurde nicht nur erreicht, sondern sogar übertroffen. Es gelang nicht nur, eine funktionierende Methode zu entwickeln, sondern es gelang darüber hinaus auch ein klarer Beweis, daß die Konfusionstechnik bei *D. virgifera* wirkt, die angepeilte Strategie daher durchführbar ist: Unter kontrollierten Bedingungen konnte eine Reduktion der Reproduktionsrate des Maiswurzelbohrers von 80% auf 20% erreicht werden, obwohl die Dosierung des Wirkstoffes nachträglich als ausgesprochen schwach eingestuft werden muß.

Das Ziel „Nachweis der attraktiven Wirkung der entwickelten und mit dem Sexualpheromon des Maiswurzelbohrers versetzten Trägermatrix unter Freilandbedingungen“ wurde qualitativ zwar erreicht, quantitativ war das Resultat allerdings nicht zufriedenstellend. Auch hier zeichnet die geringe Dosierung aufgrund geringer Verfügbarkeit des Pheromons verantwortlich. Die eingesetzten Dispenser aus natürlichen Rohstoffen waren eindeutig attraktiv für den Maiswurzelbohrer, in absoluten Zahlen war der Fangerfolg aber geringer als bei den Vergleichsdispensern. In diesem Zusammenhang ist allerdings anzumerken, daß wie erhofft der Rückgang der Fänge im Verlauf der Zeit bei den neu entwickelten Dispensern deutlich geringer war als bei den herkömmlichen Vergleichsmodellen.

5 Ergebnisse des Projektes

5.1. Generelle Ergebnisse

Die Ziele des Projektes wurden in mehrerer Hinsicht erreicht. Es wurde der Beweis erbracht, daß die Konfusionstechnik beim Maiswurzelbohrer funktioniert. Dies bedeutet einen Durchbruch in dreifacher Hinsicht: Bisher wurde die Konfusionstechnik nur bei Faltern getestet und eingesetzt. Käfer unterscheiden sich in zahlreichen Merkmalen von Faltern, sodaß es wohl möglich, aber keineswegs gesichert war, daß die Methode auf Käfer wie den Maiswurzelbohrer angewandt werden kann. Weltweit erstmals wurde gezeigt, daß die Konfusionstechnik für die Bekämpfung von schädlichen Käfern wie dem Maiswurzelbohrer Erfolg haben kann. Zweitens gelang die Unterdrückung der Fortpflanzung in einem hohen Ausmaß, bis zu 80% der Weibchen blieben unbefruchtet. Und drittens gelang dies unter Verwendung eines biologischen Trägermaterials, das nicht wieder eingesammelt werden muß. Es ist in Herstellung und Anwendung kostengünstiger und bietet den zusätzlichen Vorteil der besseren ökologischen Verträglichkeit als bisherige Kunststoffdispenser. Jedes einzelne dieser drei Resultate stellt einen großen Fortschritt für einen ökologisch verträglichen Pflanzenschutz dar.

5.2 Ergebnisse der Träger-Matrix Entwicklung

5.2.2 Wirkstoffabgabegeräten

Es wurden unterschiedliche Materialien auf ihre rückhaltende Wirkung auf die pheromonähnliche Substanz Ethyldecanoat untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Zwei Kennzahlen wurden für die Interpretation herangezogen: Die Wirkstoffabgabe in der dritten Woche (M3), die über die Haltbarkeit der Dispenser eine Aussage liefert, sowie der Quotient aus dem Mittelwert der ersten und der dritten Woche ($Q_{1/3}$), der eine Aussage über den Rückgang der Wirkstoffabgabe ermöglicht. Die höchste Abgaberate in Woche 3 wurde mit Dispensern aus Paraffinwachs erzielt, der geringste Abfall der Abgaberate war bei Maiskeimöl zu beobachten, wobei zwischen Maiskeimöl und Paraffinöl kein großer Unterschied zu beobachten war.

Tabelle 1: Verlauf der Wirkstoffabgabe verschiedenen Trägermaterialien bei Raumtemperatur, imprägniert mit 8 µl Ethyldecanoat. Dargestellt sind Wochen-Mittelwerte der Abgaberate und Quotient der Wochen-Mittelwerte aus Woche 1 und 3. Negativkontrolle: reiner, tropfenweise auf Glasplatten aufgetragenen Wirkstoff. Positivkontrolle: Kommerzieller Maiswurzelbohrer Pheromondispenser (Csalmon®)

Trägermaterial	Quotient W1/ W3	Wochen-Mittelwert ($\mu\text{g}/\text{h}$ Dispenser)		
		1	2	3
- Kontrolle	N/A	3.5	1.3	0.0
+ Kontrolle	N/A	0.3	0.0	0.0
Kieselgel	N/A	0.3	0.0	0.0
Baumwolle	4.6	2.3	1.2	0.5
Filter	3.3	2.6	1.2	0.8
Paraffinwachs	3.1	2.8	1.3	0.9
Paraffinöl	2.4	1.2	0.7	0.5
Maiskeimöl	2.2	1.3	0.7	0.6

Im weiteren Projektverlauf wurde untersucht, ob die rückhaltende Wirkung von Öl durch Zusätze verbessert werden kann. Die Resultate sind in Tabelle 2 dargestellt. In diesen Versuchen konnte keine relevante Wirkung der getesteten Zusätze Paraffinwachs, Tripalmitin und Abietinsäure auf die Rückhaltewirkung von Paraffinöl auf Ethyldecanoat festgestellt werden. Im Gegenteil, bei niedriger Konzentration (1% w/w) waren die Kenndaten schlechter als beim reinen Öl.

Tabelle 2: Einfluß von Evaporationshemmern auf den Verlauf der Wirkstoffabgabe von Paraffinöl bei Raumtemperatur, imprägniert mit 8µl Ethylcaprat. Dargestellt sind Konzentration des Evaporationshemmers, Wochen-Mittelwerte der Abgaberate und Quotient der Wochen-Mittelwerte aus Woche 1 und 3. Negativkontrolle: reiner, tropfenweise auf Glasplatten aufgetragenen Wirkstoff. Positivkontrolle: Kommerzieller Maiswurzelbohrer Pheromondispenser (Csalmon®).

Evaporationshemmer	Konzentration (% w/w)	Quotient W1/ W3	Wochen-Mittelwert ($\mu\text{g}/\text{h}$ Dispenser)		
			1	2	3
- Kontrolle		2.7	3.5	1.3	0.0
+ Kontrolle		2.6	0.3	0.0	0.0
Paraffinwachs	1%	2.4	1.6	0.9	0.6
	3%	3.0	1.3	0.6	0.5
	10%	2.6	1.2	0.6	0.5
Tripalmitin	1%	1.9	1.8	0.9	0.6
	3%	3.2	1.8	1.0	0.7
	10%	2.3	1.3	0.8	0.7
Abietinsäure	1%	2.0	1.9	0.9	0.6
	3%	2.7	1.4	0.8	0.6
	10%	2.6	1.0	0.5	0.5

5.2.3 Wirkstoffkonzentration

In einem weiteren Versuch wurde der Einfluß der Wirkstoffkonzentration auf den Verlauf der Wirkstoffabgabe untersucht (Tabelle 3). In allen beobachteten Fällen zeigte sich mit zunehmender Konzentration des Wirkstoffs im Trägermaterial ein zunehmend konstanter Verlauf der Wirkstoffabgabe. Daher ist es wünschenswert, die zu entwickelnden Trägermaterialien mit möglichst hohen Wirkstoffkonzentrationen zu versetzen.

Tabelle 3: Verlauf der Wirkstoffabgabe von mit unterschiedlichen Mengen Ethylcaprat imprägnierten Trägermaterialien bei Raumtemperatur. Dargestellt sind Wochen-Mittelwerte der Abgaberate und Quotient der Wochen-Mittelwerte aus Woche 1 und 3.

Trägermaterial	Menge $\mu\text{l}/\text{Dispenser}$	Quotient W1/ W3	Wochen-Mittelwert ($\mu\text{g}/\text{h}$ Dispenser)		
			1	2	3
Baumwolle	4	33,1	3,1	0,8	0,1
	8	5,0	2,3	1,2	0,5
	16	1,3	2,2	2,2	1,7
Paraffinwachs	4	N/A	0,9	0,0	0,0
	8	4,0	2,1	0,8	0,5
	16	2,0	4,0	2,1	2,0
Baumwolle + Paraffinöl	4	4,0	0,7	0,3	0,2
	8	3,8	1,4	0,5	0,4
	16	1,9	1,6	1,0	0,8

5.2.4 Untersuchte Pflanzensamen

Als granuläre Träger wurden vier verschiedene ölhaltige Pflanzensamen getestet. Dabei wurde darauf geachtet, daß sich diese in wesentlichen Merkmalen wie Größe, Samenschale, äußere Form voneinander unterscheiden. Die Resultate sind in Tabelle 4 zusammengefaßt. Samen von Tafeltrauben haben eine dicke und harte holzige Schale und relativ wenig ölhaltiges Speichergewebe. Die Samen nahmen wenig Wirkstoff auf und verloren diesen rasch wieder. Sonnenblumensamen wurden als geschälte Kerne verwendet. Sie zeigten eine höhere Wirkstoffaufnahme als Samen von Tafeltrauben, aber einen starken Abfall der Abgaberate in der ersten Woche. Samen von Papaya und Melone übertrafen sowohl die zuvor beschriebenen Samen in beiden relevanten Kennzahlen Q1/3 und M3. Die beiden Samentypen unterscheiden sich wesentlich in zahlreichen Merkmalen. Es ist daher mit den vorliegenden Daten nicht möglich, das Resultat in einen gesicherten Kausalzusammenhang zu stellen. Es erscheint aber sehr wahrscheinlich, daß die Beschaffenheit der Samenschale neben dem ölhaltigen Speichergewebe eine zentrale Rolle bei der Regulation der Wirkstoffabgabe spielt.

Tabelle 4: Verlauf der Wirkstoffabgabe von mit Ethylcaprat imprägnierten Pflanzensamen bei Raumtemperatur. Dargestellt sind Wochen-Mittelwerte der Abgaberate und Quotient der Wochen-Mittelwerte aus Woche 1 und 3. Negativkontrolle: reiner, tropfenweise auf Glasplatten aufgetragener Wirkstoff. Positivkontrolle: Kommerzieller Maiswurzelbohrer-Pheromondispenser (Csalmon®).

Trägermaterial	Menge (μl)	Quotient W1/ W3	Wochen-Mittelwert ($\frac{\mu\text{g}}{\text{h}}$ Dispenser)		
			1	2	3
- Kontrolle	8.0	N/A	3.5	1.3	0.0
+ Kontrolle	8.0	N/A	0.3	0.0	0.0
Tafeltrauben	0.8	N/A	2.1	0.0	0.0
Sonnenblumen	2.2	2.8	1.2	0.4	0.4
Papaya	7.5	1.8	1.6	1.2	0.9
Melone	9.8	1.4	2.0	1.7	1.4

5.2.5 Resultate mit Pheromoneinsatz

Es wurden die Resultate aus den Experimenten mit dem Pheromon-Ersatz unter Verwendung des echten Pheromons bestätigt bzw. vertieft (Tabelle 5). Durch die Limitation an Wirkstoff war es nicht möglich, alle vorliegenden Erkenntnisse vollständig einzuarbeiten: Um den gesamten vorgesehenen Versuchsumfang realisieren zu können, wurden die Dispenser mit einer verdünnten Pheromonlösung von 20 mg/l Diethylether hergestellt. Die grundlegenden Erkenntnisse aus Phase 1 konnten bestätigt werden: Bei Raumtemperatur beginnt der kommerzielle Pheromondispenser mit sehr starker Wirkstoffabgabe, die in der ersten Woche bereits stark nachläßt und danach hart an der Nachweisgrenze weiter verläuft. Die Papayasamen hingegen zeigen unter den gleichen Bedingungen einen so gut wie konstanten Verlauf der Abgaberate. Damit übertreffen die pheromon-imprägnierten Papayasamen auch deutlich das pheromon-imprägnierte Maiskeimöl.

Tabelle 5: Verlauf der Wirkstoffabgabe von mit 8-Methyldecan-2-decanol-propanoat imprägnierten Dispensern während 3 Wochen. Dargestellt sind Wochen-Mittelwerte der Abgaberate und Quotient der Wochen-Mittelwerte aus Woche 1 und 3.

Temperatur °C	Trägermaterial	Q1-3	Wochen-Mittelwert ($\mu\text{g}/\text{h}$ Dispenser)		
			1	2	3
10	Papayasame + Pflanzl. Öl + Abietinsre	-2.3	-0.2	0.0	0.1
	Papayasame + Pflanzl. Öl	-1.5	-0.2	0.0	0.1
	Papayasame	-0.6	-0.1	0.0	0.1
	Paraffinwachs	2.5	0.1	0.1	0.0
	Pflanzl. Öl	3.5	0.2	0.1	0.1
	Pflanz. Öl + Abietinsre	6.3	0.2	0.1	0.0
	kommerzieller Dispenser	36.8	0.8	0.0	0.0
	20	Pflanz. Öl + Abietinsre	-22.4	0.3	0.0
	Papayasame	1.6	0.1	0.1	0.1
	Papayasame + Pflanzl. Öl + Abietinsre	2.3	0.1	0.0	0.1
	Papayasame + Pflanzl. Öl	3.0	0.2	0.0	0.1
	Paraffinwachs	8.7	0.3	0.1	0.0
	kommerzieller Dispenser	8.9	0.4	0.0	0.0
	Pflanzl. Öl	53.2	0.2	0.1	0.0
30	Pflanzl. Öl	-903	0.5	0.0	0.0
	Pflanz. Öl + Abietinsre	-12.4	0.6	0.0	0.0
	Papayasame + Pflanzl. Öl + Abietinsre	7.1	0.5	0.0	0.1
	Papayasame + Pflanzl. Öl	9.9	0.4	0.0	0.0
	Papayasame	18.2	0.5	0.1	0.0
	kommerzieller Dispenser	19.2	0.9	0.0	0.0
	Paraffinwachs	21.4	0.4	0.0	0.0

5.2.6 Einfluß der Temperatur auf unsere Ergebnisse

Ein differenzierteres Bild ergibt sich bei Auswertung der Beobachtung bei verschiedenen Temperaturen. Erwartungsgemäß reagieren alle Matrices auf erhöhte Temperatur mit erhöhter Wirkstoffabgabe. Bei Papayasamen kommt bei 30°C allerdings der exponentielle Charakter der Wirkstoffabgabe stark zum Vorschein. Während die Abgaberate bei 20°C annähernd konstant verläuft, findet bei 30°C in der ersten Woche eine deutlich erhöhte Wirkstoffabgabe statt, und erst in der zweiten Woche erreicht sie den Wert der Dispenser bei 20°C. Der Quotient aus Woche 1 und 3 ist bei 30°C für den kommerziellen Dispenser und die Pflanzensamen nahezu identisch, während er bei 20°C weit auseinander liegt. Die Pflanzensamen büßten daher bei höheren Temperaturen ihren Vorteil nahezu vollständig ein. Dieses veränderte Verhalten bei höheren Temperaturen stellt ein unerwartetes Problem dar, das aber lösbar scheint. Wie in vorangehenden Versuchen gezeigt wurde, kann durch Erhöhung der Wirkstoffkonzentration die Wirkstoffabgabe konstanter gestaltet werden. Die Pflanzensamen wurden für die hier beschriebenen Experimente mit einer stark verdünnten Lösung des Pheromons imprägniert. Durch Erhöhung dieser Konzentration sollte obigen Beobachtungen zufolge die Leistung der Dispenser auf Basis von Pflanzensamen noch erheblich verbessert werden können.

In den GCMS - Analysen konnte die Identität des Pheromons bestätigt werden (siehe Abbildung 3). Meßbare Wirkstoffabgabe war allerdings ausschließlich bei den Papayasamen bei den Temperaturen 20°C und 30°C zu beobachten. Die Intensität des Signals spiegelt auch die mit der Wäge - Methode gewonnenen Unterschiede in der Wirkstoffabgabe deutlich wieder. Darüber hinaus zeigen die Messungen klar, daß das aufgetragene Pheromon die einzige abgegebene Verbindung ist. Für die Messungen nach drei Wochen Beobachtung sind keine auswertbaren Resultate vorhanden. Eine Aussage über die Stabilität des Pheromons ist daher aufgrund der gewonnenen Daten nicht möglich.

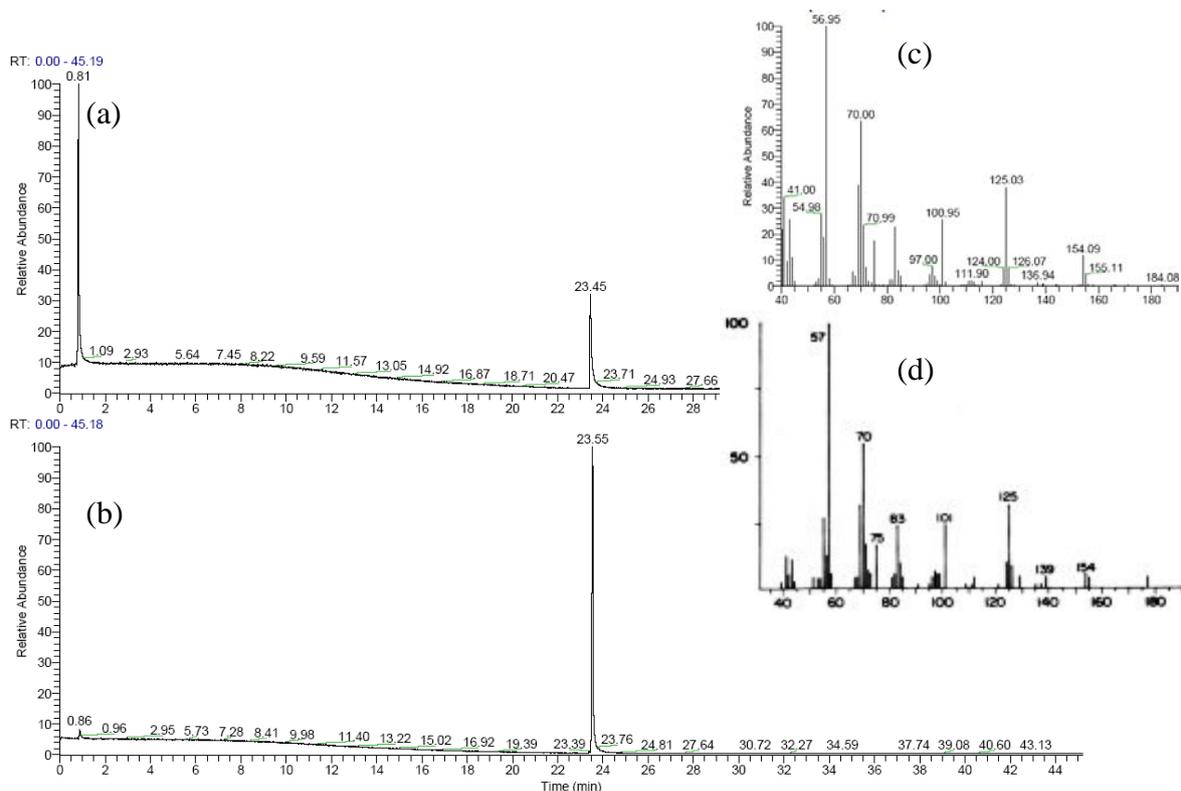


Abbildung 3: Headspace-SPME GCMS-Analysen der Pheromonabgabe von Papayasamen, mit Pheromon imprägniert wie im Text beschrieben. a) 20°C b) 30°C c) Massenspektrum des Signals bei 23,45 min. d) Publiziertes Massenspektrum von 8-Methyldecan-2-decanol-propanoat, dem Pheromon von *D. v. virgifera*.

Überraschend war auch das Resultat bei 10°C, wo es bei den Pflanzensamen in der ersten Woche in allen 3 Behandlungen (Samen, Samen + Öl, Samen + Öl + Abietinsäure) zu einer Gewichtszunahme kam. Dies bedeutet, daß die Papayadispenser zwischen den Messungen Substanzen aus der Umgebung aufgenommen haben. Dieser Effekt ist um so überraschender, als er bei den mit Maiskeimöl behandelten Samen stärker, und am stärksten bei den mit Maiskeimöl und Abietinsäure behandelten Dispensern war. Dieses Phänomen war bei den übrigen getesteten Trägermaterialien (Wachs, Öl, kommerzieller Dispenser) nicht zu beobachten. Es ist daher ein auf die Merkmale der Dispenser zurückzuführender Effekt. Eine Erklärung dieses Phänomens ist nur mit Hilfe weiterer Beobachtungen möglich.

Die 6-wöchige Beobachtung der besten festen und flüssigen Dispenser wurde aufgrund der Beobachtung des großen Temperatur-Einflusses auf alle 3 Temperaturen ausgedehnt. Die detaillierten Resultate sind in Tabelle 6 dargestellt. Der kommerzielle Dispenser zeigt schon in Woche 3-6 keine Wirkstoffabgabe mehr. Negative Werte sind auf Schwankungen in den Messwerten zurückzuführen, da in Beobachtungswoche 5 Probleme mit der Waage unregelmäßige Daten lieferten. Papayasamen und pflanzliches Öl zeigen auch in Woche 6 noch messbare Wirkstoffabgabe bei allen beobachteten Temperaturen. Während der Mittelwert aus Woche 3-6 zwischen pflanzlichem Öl und Papayasamen nahezu identisch ist, sind die Werte

der sechsten Woche bei Papayasamen deutlich höher als beim Öl. Auch in der langfristigen Beobachtung zeigen sich Pflanzensamen daher effektiver als pflanzliches Öl.

Tabelle 6: Verlauf der Wirkstoffabgabe von mit 8-Methyldecan-2-decanol-propanoat imprägnierten Dispensern während 6 Wochen. Dargestellt sind Wochen-Mittelwerte der Abgaberate sowie der Mittelwert der Abgaberate in von Woche 4-6.

Trägermaterial	Temperatur °C	Mittelwert Woche (µg / h)						Mittelwert W4-6 (µg / h)
		1	2	3	4	5	6	
kommerzieller Dispenser	10	0.81	-0.02	0.02	0.05	-0.05	0.02	0.00
	20	0.62	-0.01	0.05	0.09	-4.20	-3.22	-2.44
	30	0.84	0.02	0.05	0.29	-0.44	0.04	-0.03
Paraffinwachs	10	0.09	0.07	0.04	0.04	-0.02	0.02	0.02
	20	0.30	0.06	0.03	0.02	0.00	0.02	0.01
	30	0.39	-0.01	0.02	-0.01	0.00	0.01	0.00
Pflanzliches Öl	10	0.22	0.10	0.06	0.07	0.00	0.01	0.03
	20	0.24	0.07	0.00	0.04	0.01	0.01	0.02
	30	0.45	-0.01	0.00	-0.04	0.06	0.05	0.02
Papayasame	10	-0.03	0.00	0.12	0.09	-0.10	0.09	0.03
	20	0.10	0.07	0.07	0.05	0.00	0.04	0.03
	30	0.48	0.06	0.03	0.04	-0.03	0.06	0.02

5.3 Ergebnisse zur Maiswurzelbohrerbekämpfung

Es wurde die Tauglichkeit der pheromonimprägnierten Pflanzensamen für Monitoring und Konfusionstechnik untersucht. Die Ergebnisse der Arbeiten zu 5.2 lagen zur Zeit der Vorbereitung des Materials für diese Phase noch nicht vollständig vor. Das Ausmaß des Einflusses der Temperatur auf das Abgabeverhalten der Dispenser war noch nicht bekannt. Während der Versuche im Juli 2007 kam es zu einer sehr heißen Phase mit Temperaturen bis 40°C. Die oben beschriebenen Temperatureffekte dürften sich dabei noch verstärkt haben. Es stellte sich heraus, daß die Dispenser auf Pflanzensamen-Basis zu niedrig konzentriert waren, was in letzter Konsequenz auf den Engpaß bei der Verfügbarkeit zurückzuführen ist. Dieses Problem äußerte sich in der Praxis in Form zweier Phänomene, die sich kumulativ auf das Gesamtergebnis auswirkten: Erstens führte die niedrige Pheromonkonzentration zu geringeren Fangzahlen als bei den kommerziellen Dispensern. Zweitens verstärkten die hohen Temperaturen den Effekt des rascheren Abfalls der Wirkstoffabgabe. Die Dispenser auf Pflanzensamen-Basis waren daher in den Monitoring-Versuchen den kommerziellen auf den ersten Blick unterlegen (Tabelle 7). Betrachtet man aber den Gesamtverlauf, so ist der Rückgang in der Fängigkeit bei den Pflanzensamen deutlich geringer ausgefallen als bei den kommerziellen Dispensern (Abbildung 4): Während bei monatlicher Erneuerung der Dispenser beim kommerziellen Produkt im Vergleich zur wöchentlichen Erneuerung ein Rückgang der Fangzahlen um 50% zu beobachten war, lag dieser bei den Pflanzensamen nur bei knapp 30%. Dieses Ergebnis ist dazu geeignet, zu den notwendigen weiteren Arbeiten zur Temperaturbeständigkeit der Dispenser zu motivieren. In weiteren Versuchen muß die optimale Wirkstoffkonzentration in den Dispensern und die Auswirkung einer Konzentrationserhöhung auf den Verlauf der Wirkung im Feld bestimmt werden.

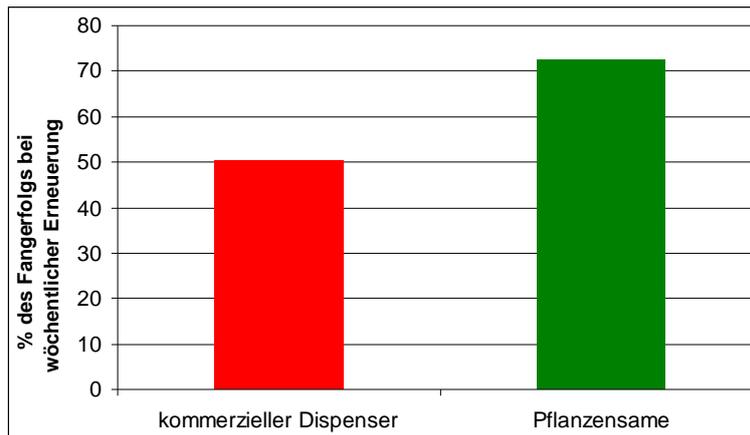


Abbildung 4: Auswirkung der Intervalle der Dispensererneuerung auf den Fangerfolg von Monitoringfallen für *D. virgifera* im Freilandversuch. Dargestellt ist die relative Fangleistung bei monatlicher Erneuerung bezogen auf die Fangleistung bei wöchentlicher Erneuerung unter gleichen Bedingungen. Resultate von Beobachtungen aus 4 Fallen während 2 Monaten.

Tabelle 7: Fangleistung von Monitoringfallen bestückt mit kommerziellen Pheromonen und solchen auf Basis von Pflanzensamen über X Wochen. Dargestellt ist die Gesamtsumme der gefangenen Individuen pro Behandlung, der Mittelwert pro Falle und Woche sowie die relative Fangleistung von monatlicher Erneuerung im Vergleich zu wöchentlicher Erneuerung der Dispenser.

Dispenser	Erneuerungsintervall (Wochen)	Summe (Individuen)	Mittelwert (Individuen)	relativ %
kommerzieller Dispenser	1	9930	248	100
	4	4990	125	50.3
Pflanzensame	1	2439	61	100
	4	1765	44	72.4

Die Vorversuche zur Konfusionstechnik hatten zum Ziel, die Parameter für die Versuchsdurchführung zu ermitteln. Tatsächlich gelang erheblich mehr. Zunächst gelang der Aufbau einer Laborzucht für die Gewinnung unbefruchteter Weibchen, sowie die gesicherte Bestimmung des Kopulationserfolgs mittels Sektion der Weibchen. Die aus Versuchen mit Lepidopteren übernommene Versuchsmethode wurde an die spezifischen Anforderungen von *D. virgifera* angepaßt. Dabei wurde unter anderem die Zahl der Versuchstiere von 10 auf 20 erhöht, die Bespannung des Käfigs von Plastikfolie auf schwarzes Fliegengitter geändert und die Versuchsdauer von 1 auf 3 Tage verlängert. Nach Abschluß dieser Vorbereitung wurden 2 Kontrollversuche ohne Pheromondispenser zur Bestätigung der Versuchsanordnung durchgeführt. In beiden Fällen blieben 2 von 10 Weibchen unbefruchtet. Im Anschluß wurden Behandlung und Kontrolle parallel durchgeführt. 25 Dispenser (6,5 / m²) wurden einmalig in einem Versuchskäfig ausgebracht und alle 5 Tage 10 Männchen und 10 Weibchen freigelassen und nach 3 Tagen ausgewertet. Die Ergebnisse, graphisch dargestellt in Abb. 5, zeigen eine anfänglich starke Unterdrückung der Befruchtung (80% unbefruchtete Weibchen), die mit der Zeit abnimmt. Da die Temperaturen im Versuchszeitraum bei 30°C lagen, und daher angenommen werden muß, dass die Wirkstoffabgabe der Dispenser daher zurückging, ist dieser Verlauf nicht überraschend. In allen 3 Versuchen jedenfalls lag die Zahl der unbefruchteten Weibchen in der Behandlung erheblich über jener in der Kontrolle. Damit konnte gezeigt werden, daß Versuche zur Konfusionstechnik mit Maiswurzelschneider durchgeführt werden können,

und daß die Konfusionstechnik als ungiftige Bekämpfungsmaßnahme von *D. virgifera* eine realistische Option darstellt. Die eingesetzten Pheromondispenser hatten eine zu niedrige Konzentration und keine ausreichende Konstanz bzw. Dauer der Wirkung. Diese Mängel können aber leicht durch Imprägnierung mit einer höher konzentrierten Pheromonlösung in den Griff bekommen werden.

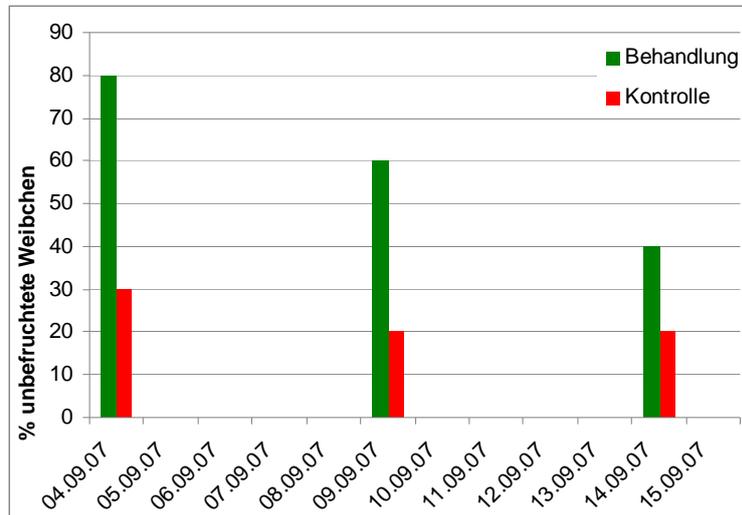


Abbildung 5: Verlauf der Wirkung der Konfusionstechnik mit pheromon-imprägnierten Pflanzensamen bei *D. virgifera*. Versuche mit Papayasamen (Imprägnierung siehe Text, siehe auch Abb. 1) in Käfigen (siehe auch Abb. 2). Die Dispenser wurden zu Versuchsbeginn ausgebracht und nicht erneuert. Für jeden Versuch wurden 10 unbefruchtete Weibchen und 10 Männchen freigelassen und nach 3 Tagen eingesammelt. Der Kontrollversuch lief parallel in einem abgetrennten Raum ohne Luftaustausch zwischen den Versuchsräumen.

Um die Möglichkeiten, welche die neuen Dispenser bieten, ausschöpfen zu können, müssen sie noch weiter verbessert werden. Insbesondere muß die Anfälligkeit für hohe Temperaturen verbessert werden. Dies kann durch einfache Konzentrationserhöhung des Wirkstoffes oder auch durch Suche nach einem noch besseren Träger innerhalb der Pflanzensamen erfolgen. Des Weiteren muß das Schicksal des Dispensers im Feld überwacht werden, er darf z.B. nicht vorzeitig von Tieren gefressen werden. Eventuell ist es notwendig, ihn mit einer klebenden Schicht zu überziehen, die eine Haftung auf den Blättern der zu schützenden Kulturpflanze ermöglicht.

6 Angaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie

6.1 Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie

Die Programmlinie Fabrik der Zukunft strebt Innovationssprünge in drei Bereichen an: Produktionsprozessen, Produkte und Dienstleistungen, Nachwachsende Rohstoffe. Das vorliegende Projekt fällt in alle drei Kategorien.

Innovative Produkte: Das Projekt hat europaweit einen neuen Standard für das Schädlings-Monitoring gesetzt. Lange Wirksamkeit und exakte Dosierung unterscheiden das Produkt der ersten Stufe von den gegenwärtig am Markt befindlichen Alternativen. Derselbe Entwicklungsprozeß schafft gleichzeitig die Voraussetzungen für eine neue Pflanzenschutzanwendung, die auf Gift verzichtet. Zielorganismus ist primär der sogenannte "Milliarden Dollar Käfer", ein Schädling an Mais, der zu den zehn bedeutendsten Schädlingen der Welt gehört und allein in den USA Schäden in der Höhe von etwa 1 Mrd. US-Dollar verursacht. Für Europa liegen verlässliche Schätzungen über das Schadensausmaß noch nicht vor, doch muß mit einer ähnlichen Größenordnung gerechnet werden. Zur Kontrolle des Maiswurzelbohrers stehen nur synthetische Pestizide zur Verfügung, die laut Amtlichem Pflanzenschutzmittelregister mit 750 g Wirkstoff/ha eingesetzt werden müssen. Auf den mindestens 80.000 ha, wo der Schädling chemisch bekämpft werden wird, ist daher allein in Österreich eine jährliche Zusatzbelastung mit etwa 60 Tonnen akut toxischer, neurotoxischer und krebserregender Pestizide zu rechnen. Im Gegensatz dazu soll aus dem gegenständlichen Projekt ein Produkt hervorgehen, das nur etwa 100 g/ha (Stelinski et al. 2005) eines ungiftigen Lockstoffs benötigt. Das aus dem gegenständlichen Projekt zu entwickelnde Produkt stellt den Leuchtturm des Projektes dar, das Konzept kann leicht auf zahlreiche andere Schadorganismen erweitert werden und in vielen Bereichen der Landwirtschaft zu einer Reduktion des Gifteinsatzes führen.

Innovative Produktionsprozesse: Die landwirtschaftliche Produktion wird durch die Verfügbarkeit einer giffreien Pflanzenschutzmethode im doppelten Wortsinn nachhaltig verbessert. Die "Konfusionstechnik" kommt bisher aufgrund hoher Kosten und großen Arbeitsaufwandes nur in sehr geringem Ausmaß zum Einsatz und ist darüber hinaus nur für sehr wenige Kulturen verfügbar. Die neue Methode führt beim Rohstoff selbst (eingesetzte Menge Pheromon pro Hektar) und auch beim Herstellungsprozeß des Produktes (Verarbeitung einer Flüssigkeit statt Abfüllung unzähliger Kunststoffkapseln) zu einer erheblichen Kostenreduktion im Vergleich zu bisherigen Methoden der Konfusionstechnik. Im Vergleich zur Schädlingsbekämpfung mit Pestiziden werden 100g ungiftiger Lockstoff statt 750g hoch toxischem Gift pro Hektar ausgebracht. Indem die Ausbringung als Flüssigkeit automatisiert über Sprühen möglich wird, reduziert sich auch der Arbeitsaufwand in der Anwendung im Vergleich zur bisherigen Konfusionstechnik erheblich. Billiger, besser, einfacher – dieser dreifache Effekt sollte dazu führen, die Lebensmittelproduktion auf breiter Front zu "entgiften", da die Methode so auch in Kulturen eingesetzt werden kann, wo sie bisher nicht rentabel war.

Nachwachsende Rohstoffe: Die Hauptkomponente des neu zu entwickelnden Produktes besteht neben etwa 5-10% Wirkstoff selbst vor allem aus Trägermaterialien. Hierbei ist vor allem die Eignung natürlicher Harze und Öle getestet worden. Es erscheint realistisch, daß dabei als Hauptkomponente Maiskeimöl eingesetzt werden kann, wodurch der kürzest denkbare Kreislauf entstehen würde: Maiskeimöl als Hauptkomponente eines Pflanzenschutzmittels gegen einen Maisschädling.

6.2 Beschreibung der Umsetzungspotentiale (Marktpotential, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotential) für die Projektergebnisse

Wie schon die Bezeichnung des Schädlings als "Milliarden Dollar Käfer" nahelegt, ist das Marktpotential enorm. Der Käfer stellt eine schwere Bedrohung der Maiskulturen Europas und Nordamerikas dar und muß dementsprechend intensiv bekämpft werden. Jedes Prozent Marktanteil in Europa sorgt für Tonnen weniger Gift in Europas Kulturlandschaft sowie für hochqualitative Arbeitsplätze in einem innovativen Österreichischen Unternehmen.

Ein biologisch abbaubarer Dispenser zum Einsatz in der Konfusionstechnik hat breite Anwendungsmöglichkeiten. Gegenwärtig ist die Konfusionstechnik aufgrund des hohen Arbeitsaufwands in den meisten Kulturen nicht wirtschaftlich. Das vorliegende Projekt zeigt eine Alternative, die das manuelle Ausbringen (und Einsammeln) überflüssig macht. Somit wird diese nachhaltige Pflanzenschutzmethode für eine große Zahl von Kulturen verfügbar. Und während bisher Konfusionstechnik nur gegen schädliche Lepidopteren (Falter) eingesetzt wurde, eröffnen die Resultate des vorliegenden Projekts auch Möglichkeiten des Einsatzes gegen schädliche Coleoptera (Käfer), von denen der Maiswurzelbohrer nur ein Beispiel ist. Auf diese Weise läßt sich ein großes Spektrum an Schädlingen statt wie bisher mit Insektiziden mit ungiftigen Pheromonen bekämpfen.

Für eine Anwendung im Monitoring genügt eine Erhöhung der in den Dispenser eingebrachten Pheromonmenge, um die herkömmlichen Dispenser auf Basis von Gummi weit zu übertreffen. Hier bietet sich ein Produkt an, das einen erheblichen Kundennutzen bietet und sofort angeboten werden kann. Für eine exakte Populationsüberwachung von Schädlingen, die heute fester Bestandteil vieler landwirtschaftlicher Produktionssysteme ist, aber besondere Bedeutung in der biologischen und integrierten Landwirtschaft hat, sind zuverlässige Pheromondispenser eine Grundvoraussetzung. In diesem Punkt gelang ein großer Schritt vorwärts hin zu einem besseren Produkt.

6.3 Potential für Demonstrationsvorhaben (Chancen/Schwierigkeiten/Risiken bei der Realisierung/Umsetzung in Richtung Demonstrationsprojekt?)

6.3.1 Chancen

Dieses Projekt baut auf dem Konzept der Entwicklungskette auf und stellt den ersten Schritt in diesem Prozeß dar. Grundsätzliche Fragen zu Möglichkeiten und Grenzen wurden geklärt. Darauf aufbauend kann im Rahmen eines weiteren Projektes eine Anwendung gegen den in ganz Europa gefürchteten Maisschädling *Diabrotica virgifera virgifera* weiterentwickelt werden. Diese Anwendung wäre ein ganz konkretes Pilot-/ Demonstrationsvorhaben, da das Konzept in Zukunft auch für zahlreiche andere Schädlinge zur Anwendung kommen kann.

Die Entwicklungskette sieht folgendermaßen aus:

- Erarbeiten der biologischen und physikalisch-chemischen Rahmenbedingungen (gegenständliches Projekt)
- Kontrollierte Glashausversuche zur Konfusionstechnik mit dem Maiswurzelbohrer. Parallel dazu Behandlung von Fragen der Applikationstechnik, um die Methode zur Praxisreife zu führen.
- Demonstrationsprojekt zur Anwendung der neuen Technik im Freiland an Mais.

6.3.2 Risiken

Ein Demonstrationsprojekt im Pflanzenschutz kann nur im Freiland durchgeführt werden. Dabei besteht eine große Abhängigkeit von unkontrollierbaren Einflüssen. An erster Stelle steht hierbei das Wetter, das insbesondere bei Insekten einen enormen Einfluß auf die Entwicklung hat. Ungünstige Witterungsverhältnisse können schlecht interpretierbare Ergebnisse zur Folge

haben, die klare Aussagen unmöglich machen. Ein weiteres Risiko bei Freilandversuchen ist die Ausgangssituation bei der zu untersuchenden Schädlingspopulation. Aufgrund von Beobachtungen von Vorjahren ist in aller Regel eine gute Prognose möglich, besonders strenge Winter oder neu auftretende biologische Gegenspieler (insbesondere Krankheiten) können aber für unerwartet niedrigen natürlichen Befall sorgen, der die Aussagekraft eines Demonstrationsprojektes gefährden würde.

7 Schlußfolgerungen aus den Projektergebnissen

7.1 Was sind die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse für das Projektteam? (fachliche Einschätzung)

Unter den getesteten Einzelkomponenten zeigte Paraffinwachs die höchste absolute Abgaberate am Ende des Beobachtungszeitraums, während der geringste Rückgang bei Maiskeimöl zu beobachten war, wobei zwischen Maiskeimöl und Paraffinöl kein relevanter Unterschied bestand. Keiner der Zusätze Paraffinwachs, Tripalmitin oder Abietinsäure zeigte relevante Wirkung auf die Rückhaltewirkung von Paraffinöl auf Ethylcaprat. Aufgrund dieser Resultate erscheinen pflanzliche Öle ohne Zusätze am besten geeignet für die Ausbringung von Pheromonen. Allerdings legten Beobachtungen während der Laborarbeiten nahe, daß die Wirkstoffabgabe stark von der freien Oberfläche des ausgebrachten Trägers abhängt, die bei Flüssigkeiten im Freiland praktisch nicht kontrollierbar ist. Daher wurde der Fokus im weiteren Verlauf auf granuläre Trägermatrizes gelegt.

Der Quotient des Mittelwertes aus erster und dritter Woche als Kennzahl für den Rückgang der Wirkstoffabgabe lag bei Paraffinwachs bei 3.1, also deutlich höher als bei allen getesteten Pflanzensamen (Melonensamen 1.4, Papayasamen 1.8, und Sonnenblumensamen bei 2.8). Daher sind Pflanzensamen als „zusammengesetzte Materialien“, mit einem ölhaltigen Kern und einer mehr oder weniger verholzten Schale für die Anwendung als granuläre Pheromont Träger wesentlich besser geeignet als Paraffinwachs. Es erscheint sehr wahrscheinlich, daß die Beschaffenheit der Samenschale neben dem ölhaltigen Speichergewebe eine zentrale Rolle bei der Regulation der Wirkstoffabgabe spielt. Pheromon-imprägnierte Papayasamen übertrafen in der Konstanz der Wirkstoffabgabe auch deutlich das pheromonimprägnierte Maiskeimöl.

Eine Enttäuschung stellte die Tatsache dar, daß Pflanzensamen bei höheren Temperaturen ab ca. 30°C ihren Vorteil nahezu vollständig einbüßten. Dieses veränderte Verhalten bei höheren Temperaturen stellt ein unerwartetes Problem dar, das aber lösbar scheint: Wie in vorangehenden Versuchen gezeigt wurde, kann durch Erhöhung der Wirkstoffkonzentration die Wirkstoffabgabe konstanter gestaltet werden. Die Pflanzensamen wurden für die hier beschriebenen Experimente mit einer stark verdünnten Lösung des Pheromons imprägniert. Durch Erhöhung dieser Konzentration sollte obigen Beobachtungen zufolge die Leistung der Dispenser auf Basis von Pflanzensamen erheblich verbessert werden können.

Der Monitoring-Versuch war zeitlich an die Aktivität der Schädlinge im Freiland gebunden. Unglücklicherweise kam es in dieser Phase zu historischen Temperaturhöchstständen, welche den Versuchserfolg beeinträchtigten. Es zeigte sich, daß die eingesetzten Dispenser von Anfang an eine zu niedrige Wirkstoffkonzentration hatten. Dies bewirkte unter den extremen Witterungsverhältnissen eine in absoluten Zahlen zu geringe Fangleistung.

Die richtige Konzentration einzuschätzen war angesichts des Fehlens von Referenzdispensern mit konstanter Abgaberate schwierig, ein Vergleich verschiedener Konzentrationen aufgrund des bereits erwähnten Mangels an Pheromon nicht möglich. In weiteren Versuchen

muß daher ein Schwerpunkt auf die optimale Wirkstoffkonzentration für Dispenser im Freiland gelegt werden.

Die Versuche zur Konfusionstechnik mit dem Maiswurzelbohrer brachten einen großen Durchbruch.

Erstmals konnte der wissenschaftliche Nachweis erbracht werden, daß auch bei Käfern die Vermehrung mittels Pheromonausbringung unterbunden werden kann. So ist es im vorliegenden Projekt nicht nur gelungen, die entsprechenden Methoden bereitzustellen, sondern mit deren Hilfe sogar den entscheidenden Hinweis zu liefern, daß die Konfusionstechnik als ungiftige Bekämpfungsmaßnahme von *D. virgifera* und wahrscheinlich zahlreicher weiterer schädlicher Käfer eine realistische Option darstellt.

7.2 Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?

Um die Möglichkeiten, welche die neuen Dispenser bieten, ausschöpfen zu können, müssen sie noch weiter verbessert werden. Insbesondere muß die Anfälligkeit für hohe Temperaturen verbessert werden. Dies kann durch einfache Konzentrationserhöhung des Wirkstoffes oder auch durch Suche nach einem noch besseren Träger innerhalb der Pflanzensamen erfolgen. Des Weiteren muß das Schicksal des Dispensers im Feld überwacht werden, er darf z.B. nicht vorzeitig von Tieren gefressen werden. Eventuell ist es notwendig, ihn mit einer klebenden Schicht zu versehen, die eine Haftung auf den Blättern der zu schützenden Kulturpflanze ermöglicht. Der Weg für die weitere Entwicklungsarbeit zur Ermöglichung einer kostengünstigen und arbeitsextensiven nachhaltigen Pflanzenschutzmaßnahme wurde geebnet, die zentralen Fragen konnten beantwortet werden. Nun gilt es, den eingeschlagenen Weg fortzusetzen und das Konzept im Rahmen weiterer Projekte zur Praxisreife zu führen.

Der Antragsteller wird die Ergebnisse und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten potentiellen Partnern präsentieren um eine wirtschaftliche Umsetzungsmöglichkeit zu suchen. Auch mit Personen aus dem Kreis der Finanzierungspartner wird über eine weitere Zusammenarbeit gesprochen.

7.3 Für welche Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?

Unsere Zielgruppen sind insbesondere landwirtschaftliche Produzenten, darunter vor allem jene, die sich um biologische oder integrierte Produktion bemühen. Der größte Vertreter dieser Zielgruppe, der Dachverband der Bio-Landwirte Österreichs (Bio-Austria) ist ein Partner in diesem Projekt und hat schon damit sein Interesse an diesem Projekt unter Beweis gestellt. Calantis wird danach trachten die Projektergebnisse weiter zu bearbeiten. Unmittelbar nach Projektende wird die Suche nach Partnern im Vordergrund stehen, die ein wirtschaftliches Interesse an diesem Projekt haben.

8 Literaturverzeichnis

Amtsblatt der Europäischen Union, Aktenzeichen K(2003) 3880.

Atterholt C.A., Delwiche M.J., Rice R.E., Krochta J.M., 1999: Controlled release of insect sex pheromones from paraffin wax and emulsions. *J. contr. Release* 57, 233-247.

Baca F., 1993: New member of the harmful entomofauna of Yugoslavia *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (Coleoptera:Chrysomelidae). *IWGO News Letter*, 13 (1-2), 21-22.

Baufeld P., Enzian S. 2005: *Diabrotica virgifera virgifera*, its potential spread and economic and ecological consequences in Germany. Symposium on the Introduction and the Spread of Invasive Species, Humboldt University, Berlin, Germany.

Cardé R.T., Minks A.K. 1995: Control of moth pests by mating disruption: successes and constraints. *Ann. Rev. Entomology* 40: 559-585

Cate P. 2005: Spread and population development of western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) in Austria. Symposium on the Introduction and the Spread of Invasive Species, Humboldt University, Berlin, Germany.

Chapman B., Penman D., Hicks P., 1986: Natural pest control. An Australian Guide for Commercial growers, orchardists and farmers. Viking O'Neil Penguin Books Australia Ltd.

Department for Environmental and Rural Affairs, Central Science Laboratory. www.csl.gov.uk

European and Mediterranean Plant Protection Organization, Reporting Service 2004. No.04; www.eppo.org

Guss P.L. et al. 1988: Synthetic pheromone 8-methyl-2-decanol Propanoat. United States Patent No. 4 734 524.

Guss P.L., Sonnet P.E., Carney R.L., Branson T.F., Tumlinson J.H., 1984: Response of *Diabrotica virgifera virgifera*, *D. v. zea*, and *D. porracea* to stereoisomers of 8-methyl-2-decyl propanoate. *J. Chem. Ecol.* 10:1123-1131.

Guss P.L., Tumlinson J.H., Sonnet P.E., Proveaux A.T., 1982: Identification of a female-produced sex pheromone of the western corn rootworm. *J. Chem. Ecol.* 8:545-556.

Hummel H.E., Hein D.F., Shaw J.T., 2005: Towards biotechnical pest management of the western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*). Symposium on the Introduction and the Spread of Invasive Species, Humboldt University, Berlin, Germany.

Isman M.B., Koul O., Luczynski A., Kaminski J. 1990: Insecticidal and antifeedant bioactivities of neem oils and their relationship to Azadirachtin content. *J. Agric. Food Chem.* 38, 1406-1411.

Judd G. J. R., de Lury N. C., Gardiner M. G. T., 2005: Examining disruption of pheromone communication in *Choristoneura rosaceana* and *Pandemis limitata* using microencapsulated (Z)-11-tetradecenyl acetate applied in a laboratory flight tunnel. *Entomol. Exp. Appl.* 114(1), 35-45.

Kydonieus A.F. 1976: Verfahren zur Kontrolle von landwirtschaftlichen Schädlingen unter Verwendung von Teilchen mit verzögerter Abgabe. Offenlegungsschrift DE 27 40 497 A1.

- Meissner H. E., Atterholt C. A., Walgenbach J. F., Kennedy G. G., 2000: Comparison of pheromone application rates, point source densities, and dispensing methods for mating disruption of tufted apple bud moth (Lepidoptera: Tortricidae). J. Econ. Entomol. 93 (3), 820-827.
- Neumann U. 1991: Vorrichtung zur Abgabe von Pheromonen. Europäische Patentanmeldung 0496102 A1.
- Ryne C., Svensson G.P., Löfstedt C., 2001: Mating disruption of *Plodia interpunctella* in small-scale plots: effects of pheromone blend, emission rates, and population density. J. Chem. Ecol. 27 (10), 2109 -2124.
- Stelinski L.L., Gut L.J., Mallinger R.E., Epstein D., Reed T.P., Miller J.R., 2005: Small plot trials documenting effective mating disruption of Oriental Fruit Moth by using high densities of wax-drop pheromone dispensers. Horticult. Entomol. 98, 1267-1274.
- Trimble R. M., Pree D. J., Barszcz E. S., Carter N. J. 2004: Comparison of a sprayable pheromone formulation and two hand-applied pheromone dispensers for use in the integrated control of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae). J. Econ. Entomol. 97(2), 482-489.
- Richtlinie 2003/766/EG, Amtsblatt der Europäischen Union, Aktenzeichen K(2003) 3880

9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Erwachsener Maiswurzelbohrer.....	8
Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Wirkstoffabgabe.....	9
Tab. 1: Verlauf Wirkstoffabgabe.....	13
Tab. 2: Einfluß von Evaporationshemmern.....	13
Tab. 3: Verlauf Wirkstoffabgabe.....	14
Tab. 4: Verlauf Wirkstoffabgabe.....	15
Tab. 5: Verlauf Wirkstoffabgabe.....	16
Abb. 3: GCMS Analysen.....	17
Tab. 6: Verlauf Wirkstoffabgabe.....	18
Abb. 4: Intervalle der Dispensererneuerung.....	19
Tab. 7: Fangleistung von Monitoringfallen.....	19
Abb. 5: Verlauf Wirkung Konfusionstechnik.....	20