

Gisbert Zimmermann

Wirkung und Anwendungsmöglichkeiten ätherischer Öle im Pflanzenschutz: Eine Übersicht¹

Efficacy and potential use of essential oils in plant protection: A Review

Zusammenfassung

In den letzten 10 Jahren ist das internationale Interesse an der Anwendung ätherischer Öle in verschiedenen Bereichen des Pflanzenschutzes stark gestiegen. Dies zeigt die stetig steigende Zahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen. In der vorliegenden Übersichtsarbeit wird deshalb über den aktuellen Stand der Forschung zur Wirkung und Anwendung ätherischer Öle und wichtiger Einzelkomponenten im Pflanzenschutz berichtet. Nach einer Einführung werden die bisherigen Ergebnisse gegen folgende Schadorganismen geschildert: Phytopathogene Bakterien, phytopathogene Pilze, Schädlinge, Nematoden, Unkräuter und Schnecken. Abschließend werden die beiden Aspekte Nebenwirkungen und Phytotoxizität bei der Verwendung ätherischer Öle im Pflanzenschutz diskutiert und gesundheitliche sowie umwelthygienische Fragen besprochen.

Stichwörter: Ätherische Öle, Bakterien, Pilze, Schädlinge, Nematoden, Unkräuter, Schnecken, Pflanzenschutz

Abstract

During the last decade the interest in the use of essential oils in different areas of plant protection has increased considerably. This is documented by the permanently increasing amount of scientific literature. In the following review, the actual research on the effect and potential use of essential oils and their main components in plant protection is compiled. After a general introduction, results against the following plant pests are presented: Phytopathogenic bacteria, phytopathogenic fungi, pest insects, mites, nematodes, weeds and snails. Finally, side effects

and phytotoxicity of essential oils in plant protection as well as safety issues and environmental effects are discussed.

Key words: Essential oils, bacteria, fungi, pest insects, nematodes, weeds, snails, plant protection

Einleitung

Bei dem Begriff ‚ätherische Öle‘ (ÄÖ) denkt man zunächst an Kosmetika, Parfüms, Duftlampen, schleimlösende Arzneimittel, Zusätze in Haushaltsprodukten oder die Düfte von Gewürzpflanzen. Tatsächlich werden ätherische Öle von Menschen bereits seit Jahrtausenden genutzt, so zum Beispiel für religiöse Riten und Bräuche (z.B. Weihrauch), in der Kosmetik- und Parfümindustrie sowie als Heilstoffe im naturheilkundlichen und medizinischen Bereich. Eine Verwendung von ÄÖ im Pflanzenschutz spielte dagegen bisher nur eine untergeordnete Rolle. Betrachtet man aber die in den letzten 10 Jahren veröffentlichten Arbeiten zur Wirkung und Anwendung ätherischer Öle auf verschiedenen Gebieten des Pflanzenschutzes, vor allem gegen phytopathogene Mikroorganismen und Schadarthropoden, so stellt man ein enorm gestiegenes Interesse an diesen pflanzlichen Stoffen fest.

Die Ursachen für die in Deutschland bisher relativ geringe Bedeutung von ÄÖ sind sicher vielseitig. Viele Publikationen stammen von Autoren aus Ländern, in denen Gewürze und dementsprechend auch ätherische Öle eine besondere und traditionell wichtige Rolle spielen. Solche Arbeiten sind bei uns oft weniger bekannt. Außerdem

¹ Herrn Prof. Dr. F. Klingauf zum 75. Geburtstag gewidmet.

Institut

Ehemals: Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Biologischen Pflanzenschutz, Darmstadt

Kontaktanschrift

Dr. Gisbert Zimmermann, In der Hohl 25 A, 64367 Mühltal, E-Mail: gisbert.zimmermann@gmx.net

Zur Veröffentlichung angenommen

25. Oktober 2011

wurden viele Publikationen einschließlich neuerer Reviews in Zeitschriften veröffentlicht, die in der Regel dem Phytopathologen, Entomologen oder an Pflanzenschutzfragen Interessierten schwerer zugänglich sind oder auch relativ selten gelesen werden und daher weniger Beachtung finden. Dabei ist die Anwendung ÄÖ gegen schädliche Insekten keineswegs neu. Auch bei uns ist bekannt, dass man Lavendelblüten in den Wäscheschrank legen soll, um Kleidermotten zu vertreiben, und auch die Anlage von Mischkulturen bestimmter Nutzpflanzen, wie Karotten und Lauch, um bestimmte Schädlinge fernzuhalten, gehört dazu. Bereits in den 1980er Jahren wurden am Institut für Biologischen Pflanzenschutz in Darmstadt verschiedene Versuche mit ÄÖ gegen Vorratsschädlinge und Blattläuse durchgeführt (BESTMANN et al., 1984, 1988; KLINGAUF et al., 1983; DIBS und KLINGAUF, 1983; STEIN et al., 1988), die zu interessanten und vielversprechenden Ergebnissen geführt haben.

Die wachsende Bedeutung ÄÖ und anderer Pflanzeninhaltsstoffe im Pflanzenschutz, im medizinischen Bereich oder auf dem Gebiet der Lebensmittelhygiene wird durch die in den letzten Jahren erschienenen, zahlreichen Übersichtsarbeiten deutlich. Allgemeine Zusammenfassungen über Pflanzeninhaltsstoffe und insbesondere von ÄÖ und ihren Anwendungsmöglichkeiten im Pflanzenschutz liegen von REGNAULT-ROGER (1997), SCHMUTTERER und HUBER (2005), ISMAN (2000, 2006), COPPING und DUKE (2007), SLUSARENKO et al. (2008), DAYAN et al. (2009), RIEFLER et al. (2009), TRIPATHI et al. (2009) und DUKE et al. (2010) vor. Eine Übersicht über die Verwendung von Eucalyptus Öl als Pestizid wurde von BATISH et al. (2008) zusammengestellt, und über insektizide Wirkungen von Pfefferarten sowie Minze-Arten liegen Reviews von SCOTT et al. (2008) bzw. von KUMAR et al. (2011) vor. Über die Verwendung ÄÖ gegen Vorratsschädlinge berichteten RAJENDRAN und SRIRANJINI (2008), und der Stand der Forschung beim Einsatz natürlicher Produkte im Nachernteschutz (TRIPATHI und DUBEY, 2004) sowie von ÄÖ besonders gegen bakterielle und pilzliche Lagerfäulen wurde kürzlich von ANTUNES und CAVACO (2010) zusammengefasst. Das derzeitige Wissen über die biologischen Aktivitäten und Eigenschaften von ÄÖ eher im medizinischen Bereich wurde von BAKKALI et al. (2008) und ADORJAN und BUCHBAUER (2010) veröffentlicht, und über die antibakterielle Wirkung pflanzlicher ÄÖ gegen eine Vielzahl humanpathogener, phytopathogener und hygienisch bedenklicher Bakterien liegen Zusammenfassungen von DORMAN und DEANS (2000), BURT (2004) sowie von TRIPATHI et al. (2011) vor.

Seit einiger Zeit sind ÄÖ auch als Pflanzenschutzmittel oder Pflanzenstärkungsmittel vor allem in den USA erhältlich. So wurden von RANGER et al. (2009) und CLOYD et al. (2009) verschiedene kommerzielle Produkte auf der Basis ÄÖ gegen eine Reihe von Schädlingen getestet. In Deutschland ist Pelargonsäure als Herbizid zugelassen. Sie kommt in Form ihrer Ester in den Blättern von *Pelargonium roseum* und anderen Pflanzen vor (s. Wikipedia.org., Pelargonsäure). Auf der Liste der Pflanzenstärkungsmittel des Bundesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) sind zahlreiche Produkte

aufgeführt, die als Inhaltsstoff allgemein ÄÖ (z.B. Aroma Pflanzentherapie, Blattlaus-Feind), Knoblauch (Knoblauch Power), Extrakte aus Thymian und Wacholder (z.B. Bio-Spritzmittel AE gegen Raupen, Raupen-Frei) oder Eukalyptusöl (Ox54) enthalten. Über Knoblauchpräparate wurde zudem ausführlich von STEIN (2005) berichtet. Auf der Wirkstoffliste der EU (Directive 91/4141/EEC) sind zahlreiche Pflanzenöle und Extrakte aufgeführt, von denen einige zurzeit positiv gelistet sind (Stand Juli 2011). Dazu gehören Teebaumextrakt (extract from tea tree), Knoblauchextrakt (garlic extract), Pelargonsäure (pelargonic acid), Pfeffer (pepper), Citronellaöl (plant oils/citronella oil), Nelkenöl (plant oils/clove oil) und Pfefferminzöl (plant oils/spear mint oil).

Im Folgenden soll ein aktueller Überblick über die bekannten Wirkungen von ÄÖ auf phytopathogene Mikroorganismen (Bakterien, Pilze) und Schadorganismen (Insekten, Milben, Nematoden, Unkräuter, Schnecken) und ihre Einsatzmöglichkeiten im Pflanzenschutz gegeben werden. Abschließend wird auf Fragen der Nebenwirkungen und Phytotoxizität sowie auf verschiedene Gesundheits- und Umweltaspekte eingegangen. Wegen der Fülle und der stetig steigenden Zahl an Veröffentlichungen auf diesem Gebiet ist ein vollständiger und lückenloser Überblick nicht möglich.

Was sind ätherische Öle und welche Funktion haben sie?

Ätherische Öle (Englisch: Essential oils) sind Duftstoffe, die in verschiedenen Pflanzenteilen wie in Blüten, Blättern, Stängeln, Rinde oder Wurzeln als kleine Öltröpfchen meist in Ölzellen, Ölgängen, Harzkanälen oder Öldrüsenhaaren vorkommen. Chemisch betrachtet handelt es sich bei ihnen um flüchtige Gemische von Alkoholen, Estern, Ketonen, Terpenen, Phenolen und anderen aromatischen Verbindungen, die meist durch Wasserdampfdestillation oder Auspressen aus dem geernteten Pflanzenmaterial gewonnen werden (s. Wikipedia.org., Ätherische Öle und Abb. 1.). Pflanzen, die ätherische Öle enthal-

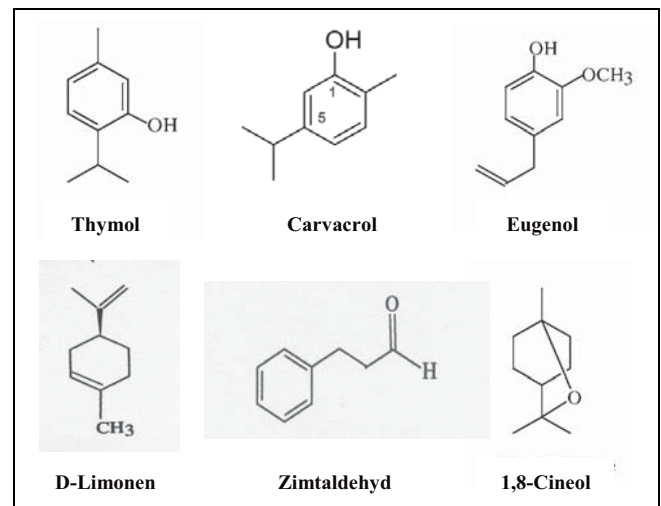


Abb. 1. Wichtige Komponenten ätherischer Öle (Beispiele).

ten, kommen überwiegend in bestimmten Familien vor (TRIPATHI et al., 2009 und Tab. 1). Nach TRIPATHI et al. (2009) sind etwa 17.500 aromatische Pflanzenarten bekannt und etwa 3000 ÄÖ, von denen etwa 300 bisher kommerziell in der pharmazeutischen Industrie oder in der Parfüm- und Kosmetikindustrie bedeutend sind, nach anderen Quellen sind es rund 120 (s. Wikipedia.org., Ätherische Öle). Die meisten der im Folgenden genannten ÄÖ sind im Handel frei erhältlich. Da die Bezeichnung „ätherisches Öl“ nicht gesetzlich geschützt ist, werden sie unter den Bezeichnungen naturbelassen, natürlich, naturidentisch und künstlich angeboten (s. Wikipedia.org., Ätherische Öle).

Für ÄÖ enthaltende Pflanzen sind diese Inhaltsstoffe von besonderer Bedeutung, da sie vielseitige ökologische und physiologische Funktionen haben (RIEFLER et al., 2009; TRIPATHI et al., 2009). Sie fungieren als Signal- oder Botenstoffe, die im tritrophischen System Pflanze, Insekt und Mikroorganismus agieren. Neben einer anlockenden Wirkung (Attraktant) können auch abweisende Wirkungen (Deterrent) auf Schadarthropoden oder Nützlinge auftreten, und neben der insektiziden Wirkung sind fraßabschreckende, eiablage- und entwicklungshemmende Eigenschaften bekannt. Daneben haben ÄÖ auch die Funktion, die Pflanze vor pathogenen Bakterien oder Pilzen zu schützen.

Wirkung gegen phytopathogene und andere Bakterien

Ätherische Öle wurden bisher vor allem gegen Bakterien aus dem medizinisch-hygienischen Bereich getestet (DOR-

MAN und DEANS, 2000; BURT, 2004; TRIPATHI et al., 2011). Aber auch solche Arbeiten können Hinweise auf die Wirkung gegenüber phytopathologisch relevanten Arten geben. So wiesen DORMAN und DEANS (2000) nach, dass ÄÖ von *Piper nigrum*, *Syzygium aromaticum*, *Pelargonium graveolens*, *Myristica fragrans*, *Oreganum vulgare* ssp. *hirtum* und *Thymus vulgaris* eine starke antibakterielle Wirkung gegen 25 Arten haben, darunter auch die phytopathogene Art *Erwinia carotovora*, den Erreger der Schwarzbeinigkeit vor allem an Kartoffeln. In ausgiebigen *in vitro* Studien gegen *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* O157:H7, *Shigella dysenteriae*, *Bacillus cereus* und *Staphylococcus aureus* stellte BURT (2004) eine starke antibakterielle Wirkung der von ihm getesteten ÄÖ bei Konzentrationen von 0,2–10 µg/ml fest. Gram-negative Arten waren etwas weniger empfindlich als Gram-positive. Die wirksamsten Hauptkomponenten waren Carvacrol, Thymol, Eugenol, Perillaldehyd, Zimtaldehyd und Zimtsäure mit einer minimalen Hemmkonzentration (MIC) von 0,05–5 µl/ml. Höhere Konzentrationen von 0,5–20 µl/g sind als Zusatz zu Lebensmitteln zur Konservierung notwendig und etwa 0,1–10 µl/ml zur Flüssigdesinfektion von Früchten und Gemüse. Synergistische Wirkungen traten zwischen Zimtaldehyd und Eugenol sowie Carvacrol und p-Cymol auf. Gegen Bakterien aus dem medizinisch-hygienischen Bereich haben auch Oreganumöl (ELGAYAR et al., 2001), die bekannten Wirkstoffe Zimtaldehyd, Carvacrol, Thymol und Eugenol (FRIEDMAN et al., 2002), Zwiebel- und Knoblauchöl (BENKEBLA, 2004) sowie das ÄÖ von Coriander (*Coriandrum sativum*, SILVA et al., 2011) eine antibakterielle Wir-

Tab. 1. Wichtige Pflanzenfamilien und Arten, die ätherische Öle enthalten

Familie (lateinisch)	Familie (deutsch)	Bekannte Pflanzenarten mit ätherischen Ölen
Apiaceae	Doldenblütler	Anis (<i>Pimpinella anisum</i>) Dill (<i>Anethum graveolens</i>) Fenchel (<i>Foeniculum vulgare</i>)
Asteraceae	Korbblütler	Kamille (<i>Matricaria chamomilla</i>)
Cupressaceae	Zypressengewächse	Thuja (z.B. <i>Thuja occidentalis</i>) Zeder (<i>Cedrus</i> spp.)
Lamiaceae	Lippenblütler	Basilikum (z.B. <i>Ocimum basilicum</i>) Lavendel (z.B. <i>Lavandula angustifolia</i>) Majoran (<i>Origanum majorana</i>) Melisse (<i>Melissa officinalis</i>) Origanum (<i>Origanum vulgare</i>) Thymian (<i>Thymus</i> spp.)
Lauraceae	Lorbeergewächse	Kampher (<i>Cinnamomum camphora</i>) Lorbeer (<i>Laurus nobilis</i>) Zimt (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)
Myrtaceae	Myrtengewächse	Gewürznelke (<i>Syzygium aromaticum</i>) Teebaum (<i>Melaleuca alternifolia</i>)
Piperaceae	Pfeffergewächse	Pfeffer (<i>Piper nigrum</i>)
Poaceae (Gramineae)	Süßgräser	Zitronengras (<i>Cymbopogon citratus</i>)
Rutaceae	Rautengewächse	Zitruspflanzen (<i>Citrus</i> spp.)
Zingiberaceae	Ingwergewächse	Ingwer (<i>Zingiber officinale</i>) Kardamom (<i>Amomum subulatum</i>)

kung. Eine Übersicht über die Wirkung ÄÖ gegen medizinisch und phytopathologisch relevante Bakterien, die als Kontaminanten und Erreger von Lagerfäulen an Erntegut auftreten, wurde kürzlich von ANTUNES und CAVACO publiziert (2010).

Umfassende Untersuchungen über die antibakterielle Wirkung der ÄÖ und Extrakte aus *Satureja spicigera*, *Thymus fallax* sowie *Achillea biebersteinii* und *Achillea millefolium* auf 25 phytopathogene Bakterien aus den Gattungen *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Clavibacter*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacter*, *Pantoea*, *Pseudomonas* und *Xanthomonas* haben ergeben, dass die Hauptkomponenten der ÄÖ von *S. spicigera* und *T. fallax* sowie die in Hexan Extrakten enthaltenen ÄÖ-Komponenten Thymol, Carvacrol, p-Cymene, Thymolmethylether und γ -Terpinen eine starke bakterizide Wirkung gegen alle phytopathogenen Arten besitzen (KOTAN et al., 2010). Dagegen war die Wirkung der *Achillea* Öle nur gering. Eine Saatgutdesinfektion (Tomaten, Salat) mit dem ÄÖ von *S. spicigera* sowie mit Carvacrol und Thymol gegen *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* und *Xanthomonas axonopodis* pv. *vitians* zeigte eine bessere Wirkung als Streptomycinsulfat.

Gegen den durch *Erwinia amylovora* verursachten Feuerbrand an bestimmten Obst- und Ziergehölzen wurden das ÄÖ von *Thymus spicata* (ZELLER und YEGEN, 2004) sowie Rosenöl (BASIM und BASIM, 2004) getestet. Das in der Türkei als Aksebio2 registrierte und in Deutschland als BioZell-2000B auf der Liste der Pflanzenstärkungsmittel geführte Thymianöl zeigte bei ersten Freilandversuchen in der Türkei eine Reduktion der Astwelke bei Birnen um 64%. Versuche in Deutschland an *Cotoneaster salicifolius* unter künstlichen Bedingungen ergaben eine Reduktion der Stängelwelke um 84% und eine Reduktion der Blütenwelke bei Äpfeln um 43–52%. Auch das

ÄÖ von *Rosa damascena* besitzt eine antibakterielle Wirkung gegen *E. amylovora*, wobei die erforderliche Hemmkonzentration deutlich höher ist als bei *Thymian* Öl (1500 $\mu\text{g/ml}$ gegenüber 500 $\mu\text{g/ml}$; BASIM und BASIM, 2004). Gegen den Erreger der bakteriellen Ringfäule der Kartoffel, *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, hatten ÄÖ von *Oreganum* (Wirkstoff Thymol), *Thymian*, *Dyctamus* und *Majoran* (alle reich an Carvacrol) eine starke wachstumshemmende Wirkung bei rel. niedrigen Konzentrationen von 85–300 $\mu\text{g/ml}$ (DAFERERA et al., 2003). Neben *in vitro* Versuchen wurden auch Freilandtests mit ÄÖ gegen *Ralstonia solanacearum*, dem Erreger einer Bakterienwelke und Schleimkrankheit durchgeführt (JI et al., 2005; PARET et al., 2010). Nach Bodenbehandlung mit Thymol (0,7%) beobachteten die Autoren an Tomaten eine gute Wirkung: 33,1% der Pflanzen hatten Welkesymptome nach Thymol-Behandlung gegenüber 92,3% in der Kontrolle. Bei einem zweiten Versuch lagen die Werte bei 12,0% gegenüber 65,5%. Eine deutliche Ertragssteigerung durch die Thymolbehandlung wurde nachgewiesen. Auch die ÄÖ von Palmarosa (*Cymbopogon martinii*) und Zitronengras (*Cymbopogon citratus*) führten bei 0,07 und 0,14% zu einer völligen Wachstumshemmung von *R. solanacearum* (PARET et al., 2010). Nach Zugabe der beiden ÄÖ in den Pflanzboden wurde die Bakterienwelke an Ingwer (*Zingiber officinale*) völlig unterdrückt. Eine Beeinträchtigung der Ingwerpflanzen trat nicht auf.

Wirkung gegen phytopathogene Pilze

Ätherische Öle haben nicht nur eine bakterizide sondern auch eine starke fungizide Wirkung. Dies wurde in zahlreichen Untersuchungen nachgewiesen (Tab. 2) und betrifft nicht nur phytopathogene Pilze sondern auch human-

Tab. 2. Anwendung ätherischer Öle oder ihrer Wirkstoffe gegen phytopathogene Pilze (Pilze alphabetisch geordnet; innerhalb der Arten nach Erscheinungsjahr)

Pilz	Testmethode, Pflanze	Pflanze, wirksame äther. Öle oder einzelne Komponenten	Literatur
<i>Alternaria alternata</i>	<i>in vitro</i> , Tomate	Ajowan (<i>Carum copticum</i>) Fenchel (<i>Foeniculum vulgare</i>)	ABDOLAHI et al., 2010
<i>Alternaria dauci</i>	Freilandversuche,	Thymianöl (1%)	KOCH et al., 2010
<i>Alternaria radicina</i>	Karotten		
<i>Alternaria spp.</i>	Karotten	Allicin (Knoblauch)	SLUSARENKO et al., 2008
<i>Aspergillus flavus</i>	<i>in vitro</i>	Zitronengras (<i>Cymbopogon citratus</i>)	MISHRA und DUBEY, 1994
	Maiskörner	Zimt (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>) Minze (<i>Mentha piperita</i>) Basilikum (<i>Ocimum basilicum</i>) Origanum (<i>Origanum vulgare</i>) Wohlrüchender Gänsefuß (<i>Teloxys = Chenopodium ambrosioides</i>) Gewürznelke (<i>Syzygium aromaticum</i>) Thymian (<i>Thymus vulgaris</i>) Thymol o-Methoxyzimtaldehyd	MONTES-BELMONT und CARVAJAL, 1998
	<i>in vitro</i>	Bengalische Quitte (<i>Aegle marmelos</i>)	SINGH et al., 2009

Tab. 2. Fortsetzung

Pilz	Testmethode, Pflanze	Pflanze, wirksame äther. Öle oder einzelne Komponenten	Literatur
<i>Aspergillus niger</i>	<i>in vitro</i>	Origanum (<i>Origanum</i> sp.) Anis (<i>Pimpinella anisum</i>)	ELGAYYAR et al., 2001
<i>A. flavus</i> <i>A. parasiticus</i>	<i>in vitro</i>	Anis (<i>Pimpinella anisum</i>) Minze (<i>Mentha spicata</i>) Thymian (<i>Thymus vulgaris</i>) Zimt (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	SOLIMAN und BADEAA, 2002
<i>A. niger</i>	<i>in vitro</i>	Knoblauchöl (<i>Allium sativum</i>) Zwiebelöl (<i>Allium cepa</i>)	BENKEBLIA, 2004
<i>A. flavus</i> , <i>A. parasiticus</i>	<i>in vitro</i>	Anis (<i>Pimpinella anisum</i>) Boldo (<i>Peumus boldus</i>)	BLUMA et al., 2008
<i>A. parasiticus</i>	<i>in vitro</i>	Mexikan. Leberbalsam (<i>Ageratum conyzoides</i>)	PATIL et al., 2010
<i>Botrytis cinerea</i>	<i>in vitro</i>	Palmarosa (<i>Cymbopogon martinii</i>) Roter Thymian (<i>Thymus zygis</i>) Zimtblätter (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>) Gewürznelken (<i>Syzygium aromaticum</i> = <i>Eugenia caryophyllata</i>)	WILSON et al., 1997
	<i>in vitro</i>	Dictamus (<i>Origanum dictamus</i>) Majoran (<i>Origanum majorana</i>) Origanum (<i>Origanum</i> sp.) Thymian (<i>Thymus</i> sp.)	DAFERERA et al., 2003
	<i>in vitro</i> , Weintrauben	Indisches Basilikum (<i>Ocimum sanctum</i>) Pfirsich (<i>Prunus persica</i>) Ingwer (<i>Zingiber officinale</i>)	TRIPATHI et al., 2008
	<i>in vitro</i> , Apfel	Fenchel (<i>Foeniculum vulgare</i>) Gewürznelke (<i>Syzygium aromaticum</i>)	PEIGHANMI-ASHNAEI et al., 2009
	Tomate	Origanum (<i>Origanum syriacum</i> var. <i>bevanii</i>)	SOYLU et al., 2010
<i>Botrytis fabae</i>	<i>in vitro</i> , Bohnen	Basilikum (<i>Ocimum basilicum</i>) Methyl Chavicol, Linalool	OXENHAM et al., 2005
<i>Fusarium moniliforme</i>	<i>in vitro</i>	Anis (<i>Pimpinella anisum</i>) Minze (<i>Mentha spicata</i>) Thymian (<i>Thymus vulgaris</i>) Zimt (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	SOLIMAN und BADEAA, 2002
<i>Fusarium solani</i> var. <i>coeruleum</i>	<i>in vitro</i>	Dictamus (<i>Origanum dictamus</i>) Majoran (<i>Origanum majorana</i>) Origanum (<i>Origanum</i> sp.) Thymian (<i>Thymus</i> sp.)	DAFERERA et al., 2003
<i>F. proliferatum</i>	Maiskörner	Gewürznelke (<i>Syzygium aromaticum</i>) Origanum (<i>Origanum</i> sp.) Palmarosa (<i>Cymbopogon martinii</i>) Zimt (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>) Zitronengras (<i>Cymbopogon citratus</i>)	VELLUTI et al., 2003
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>gladioli</i>	<i>in vitro</i>	Gewürznelke (<i>Syzygium aromaticum</i>) Thymian (<i>Thymus vulgare</i>) Zimt (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	BARRERA-NECHA et al., 2009
<i>Penicillium digitatum</i>	<i>in vitro</i> , Tomate	Ajowan (<i>Carum copticum</i>) Fenchel (<i>Foeniculum vulgare</i>)	ABDOLAHI et al., 2010
<i>Phytophthora infestans</i>	Tomate	Fenchel (<i>Foeniculum vulgare</i>) Origanum (<i>Origanum syriacum</i> var. <i>bevanii</i>) Thymian (<i>Thymus spicata</i> subsp. <i>spicata</i>) Allicin (Knoblauch)	SOYLU et al., 2006 PORTZ et al., 2008; SLUSARENKO et al., 2008
<i>Phytophthora nicotianae</i>	Bodenanwendung, Immergrün	Pfeffer Extrakt-Senföl Mischung Cassia Extrakt Nelkenöl Zimtöl (synth.)	BOWERS und LOCKE, 2004
<i>Plasmopara viticola</i>	Weinreben	Salbei (<i>Salvia officinalis</i>)	DAGOSTIN et al., 2010

Tab. 2. Fortsetzung

Pilz	Testmethode, Pflanze	Pflanze, wirksame äther. Öle oder einzelne Komponenten	Literatur
<i>Pseudoperonospora cubensis</i>	Gurken	Allicin (Knoblauch)	PORTZ et al., 2008
<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>in vitro</i>	Zimtkassie (<i>Cinnamomum cassia</i>)	NGUYEN et al., 2009
<i>Sclerotium cepivorum</i>	<i>in vitro, in vivo</i> , Feldversuche	Diallyldisulfid (Knoblauch)	HOVIUS und McDONALD, 2002; MCLEAN et al., 2005
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Tomate	Fenchel (<i>Foeniculum vulgare</i>) Origanum (<i>Origanum syriacum</i> var. <i>bevanii</i>)	SOYLU et al., 2007
<i>Uromyces fabae</i>	Bohnen	Basilikum (<i>Ocimum basilicum</i>) Methyl-Chavicol, Linalool	OXENHAM et al., 2005
<i>Verticillium dahliae</i>	<i>in vitro</i>	Origanum (<i>Origanum</i> spp.) Thymian (<i>Thymus</i> spp.)	ARSLAN und DERSVIS, 2010
Mehrere Arten			
<i>Botrytis cinerea</i> <i>Phytophthora infestans</i> <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> <i>Verticillium dahliae</i>	<i>in vitro</i>	Einjähriger Beifuß (<i>Artemisia annua</i>)	SOYLU et al., 2005
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> <i>Ganoderma australe</i> <i>Fusarium solani</i> <i>Rhizoctonia solani</i>	<i>in vitro</i>	<i>Cinnamomum osmophloeum</i> (Zimtaldehyd, Eugenol, Geraniol, Citral)	LEE et al., 2005
<i>Aspergillus</i> spp. <i>Cercospora arachidicola</i> <i>Fusarium</i> spp. <i>Phaeoisariopsis personata</i>	<i>in vitro</i> , Erdnuss	Gewürznelke (<i>Syzygium aromaticum</i>) Zimt (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>) Citral	KRISHNA KISHORE et al., 2007
<i>Fusarium solani</i> <i>Rhizoctonia solani</i> <i>Sclerotium rolfsii</i> <i>Macrophomina phaseolina</i>	<i>in vitro</i> , Gewächshaus, Freiland (Bohnen)	<i>Dianthus caryophyllus</i> , <i>Carum carvi</i> , <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Mentha piperita</i> , <i>Geranium viscosissimum</i>	ABDEL-KADER et al., 2011
Lagerfäuleerreger: <i>Alternaria</i> spp. <i>Botrytis cinerea</i> <i>Colletotrichum</i> spp. <i>Fusarium</i> spp. <i>Penicillium</i> spp. u.a.	Übersicht	Zahlreiche äther. Öle und ihre Wirkstoffe	ANTUNES und CAVACO, 2010
<i>Pythium ultimum</i> <i>Rhizoctonia solani</i> u.a.	<i>in vitro</i>	Eukalyptus (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	KATOOLI et al., 2011

pathogene, wie *Candida* Arten oder Dermatophyten, die durch Nelkenöl (PINTO et al., 2009) oder Lavendelöl (ZUZARTE et al., 2011) abgetötet werden.

Die Wirkung ÄÖ gegen phytopathogene Pilze wurde in den letzten 10 Jahren vor allem gegen Erreger von Lagerfäulen und Schimmelpilze an Obst und Gemüse erprobt (Tab. 2). Lagerfäulen, zu denen *Aspergillus*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Penicillium* und andere Pilze gehören, verursachen regelmäßig große Schäden an Erntegütern. Beim Einsatz von ÄÖ geht es um die Suche nach Alternativen für herkömmliche Fungizide, die zur Konservierung und im Nachernteschutz eingesetzt werden. Gleichzeitig soll aber auch eine mögliche Mykotoxinproduktion durch z.B. *Aspergillus*- oder *Fusarium* Arten verhindert werden.

In einer kürzlich veröffentlichten Übersicht wurde ausführlich über die Wirkung und die Einsatzmöglichkeiten ÄÖ im Nachernteschutz gegen bekannte bakterielle und pilzliche Krankheitserreger berichtet, wobei auch gesundheitliche und umwelthygienische Aspekte besprochen wurden (ANTUNES und CAVACO, 2010). Zuvor hatten bereits TRIPATHI und DUBEY (2004) über die Einsatzmöglichkeiten sogenannter natürlicher Produkte gegen verschiedene Fäuleerreger berichtet. Gegen Schimmelpilze (*Aspergillus* spp., *Penicillium* spp.) und andere pilzliche Krankheitserreger (*Botrytis cinerea*, *Colletotrichum* spp., *Fusarium* spp. u.a.) sind vor allem Oreganumöl, Thymianöl und Zitronengrasöl mit den Wirkstoffen Thymol, Carvacrol und Citral wirksam. In anderen Untersuchungen zeig-

ten weitere ÄÖ gegen die Aflatoxin-Produzenten *Aspergillus flavus*, *A. niger* und *A. parasiticus* eine starke fungizide Wirkung. So wurden *A. flavus* und die Aflatoxin B1 Produktion durch das ÄÖ der Bengalischen Quitte, *Aegle marmelos*, bei 500 µl/l völlig unterdrückt (SINGH et al., 2009). *Aspergillus* Arten werden aber auch von anderen ÄÖ stark gehemmt (Tab. 2), wie Zitronengrasöl (MISHRA und DUBEY, 1994), Zimtöl u.a. (MONTES-BELMONT und CARVAJAL, 1998), Knoblauchöl (BENKEBLIA, 2004) sowie Anisöl (ELGAYYAR et al., 2001; SOLIMAN und BADEAA, 2002; BLUMA et al., 2008).

Ähnlich gute fungizide Wirkungen wie mit den o.g. ÄÖ wurden auch mit Fenchelöl oder Nelkenöl gegen den Grauschimmel, *B. cinerea*, und *Fusarium* spp. erzielt (s. Tab. 2). Gegen die beiden Fäuleerreger an Tomaten, *Alternaria alternata* und *Penicillium digitatum*, zeigten das ÄÖ von Ajowan (*Carum copticum*) und Fenchel (*Foeniculum vulgare*) mit den Inhaltsstoffen Thymol (63%), trans-Anethol (64%) und 2-Caren-10-al sowohl *in vitro* als auch *in vivo* die beste Wirkung (ABDOLAHY et al., 2010). Auf der Suche nach Alternativen für Fungizide gegen *B. cinerea* an Tomaten erwies sich Origanumöl (*Origanum syriacum* var. *bevanii*) in flüchtiger Form bei 0,2 µg/ml Luft als sehr wirksam (SOYLU et al., 2010). Es verhinderte das Wachstum des Grauschimmels vollständig. Die entsprechende Kontaktwirkung lag dagegen bei 12,8 µg/ml. Sporenkeimung und Keimhyphenwachstum wurden ebenfalls unterdrückt. Mikroskopische Untersuchungen zeigten eine deutliche Degeneration der Hyphen. Die Wirkung von Lavendelöl und Rosmarinöl war etwas schlechter. In Gewächshausversuchen konnten empfindliche Tomatenpflanzen vor einem Befall mit *B. cinerea* nach kurativer Anwendung von Origanumöl weitgehend geschützt werden. Auch das ÄÖ aus *Origanum acutidens* und die Hauptwirkstoffe Carvacrol und Thymol besitzen eine breite fungizide Wirkung gegen zahlreiche phytopathogene Pilze (KORDALI et al., 2008). Gegen *B. cinerea* als Lagerfäuleerreger an Weintrauben zeigten 10 von 26 getesteten ÄÖ eine 100%ige Wachstumsreduktion. Die ÄÖ von *Ocimum sanctum*, *Prunus persica* und *Zingiber officinale* waren mit einer minimalen Hemmkonzentration (MIC) von 200, 100 und 100 ppm am wirksamsten und zeigten keine phytotoxischen Schäden an den Weintrauben (TRIPATHI et al., 2008).

Das Wachstum von *Phytophthora infestans*, dem Erreger der Braunfäule an Tomaten, wurde *in vitro* durch die flüchtigen Inhaltsstoffe aus Origanumöl (*Origanum syriacum* var. *bevanii*) und Thymianöl (*Thymbra spicata* subsp. *spicata*) vollständig gehemmt (0,3 µg/ml Luft) (SOYLU et al., 2006). Dabei traten auch starke morphologische Veränderungen an den Hyphen auf. Die flüchtige Phase war insgesamt wirksamer als der direkte Kontakt. Gegen *P. infestans* und weitere pilzliche Erreger, wie z.B. den Gurkenmehltau (*Pseudoperonospora cubensis*), zeigte auch der aus Knoblauch stammende flüchtige Wirkstoff Allicin (Diallylthiosulfinat) eine sehr gute Wirkung mit Befallsreduktionen von 45–100% (PORTZ et al., 2008; SLUSARENKO et al., 2008). Bei einer Dosis von 50 µg/ml verhinderte Allicin die Sporangienkeimung und das

Keimhyphenwachstum von *P. infestans* sowohl *in vitro* als auch *in vivo* auf Tomatenblättern. Topf- und Gewächshausversuche gegen *Phytophthora nicotianae* ergaben, dass die Zahl der Chlamydosporen des Pilzes im Boden durch eine Behandlung mit wässrigen Emulsionen einer Pfeffer Extrakt-Senföl Mischung sowie von Nelkenöl, Cassia Extrakt und synthetischem Zimtöl um 98,4–99,9% unterdrückt wurden (BOWERS und LOCKE, 2004). Im Gewächshaus konnte der Befall mit *P. nicotianae* an Immergrün als Testpflanze nach 35 Tagen mit einer 10%igen wässrigen Emulsion einer Formulierung von Pfeffer Extrakt-Senföl, von Cassiaöl sowie von synthetischem Zimtöl um 93,0–96,7% reduziert werden.

Auch gegen Sklerotien bildende Bodenpilze wie *Sclerotinia sclerotiorum* waren ÄÖ als Kontaktfungizid und in der flüchtigen Phase wirksam (SOYLU et al., 2007). Eine Zugabe von Origanumöl (*Origanum syriacum* var. *bevanii*) und Fenchelöl (*Foeniculum vulgare*) in den Boden hatte einen signifikanten Hemmeffekt auf die Lebensdauer der Sklerotien. Dabei wurden Keimung und Mycelwachstum gehemmt, und die Zahl der überlebenden Tomatenkeimlinge um 69,8% bzw. 53,3% gegenüber der Kontrolle gesteigert. Eine andere Strategie verfolgte man bei der Anwendung von Diallyldisulfid gegen *Sclerotium cepivorum* an Zwiebeln. Die bei der Zersetzung von Alliin aus Zwiebeln oder Knoblauch entstehende Substanz fördert nachweislich die Keimung der Sklerotien in Erde auch ohne Wirtspflanzen, so dass diese innerhalb von 3 Monaten absterben (HOVIUS und McDONALD, 2002; McLEAN et al., 2005). Auf diese Weise konnte *S. cepivorum* vor der Einsaat von Zwiebeln auch in Feldversuchen drastisch reduziert werden. ÄÖ wurden auch in Versuchen zur Saatgutbehandlung gegen verschiedene bodenbürtige Erreger eingesetzt (KOCH et al., 2010; ABDEL-KADER et al., 2011). Gegen *Alternaria dauci* und *Alternaria radicina* erwies sich eine Behandlung von Karottensamen mit 1% Thymianöl in Wasser als ebenso wirksam wie die eingesetzten Antagonisten *Pseudomonas* sp. und *Clonostachys rosea* (KOCH et al., 2010). In anderen *in vitro* Tests, Gewächshaus- und Freilandversuchen gegen verschiedene Bodenpathogene an *Vicia fabae* zeigten die ÄÖ von Nelke, Kümmel, Thymian, Pfefferminze und Geranium als Saargutbehandlung eine signifikante Befallsreduktion von etwa 40–50% und eine deutliche Ertragssteigerung. Die Wirkung wurde noch durch eine Kombination mit *Trichoderma harzianum* gesteigert (ABDEL-KADER et al., 2011).

Wirkung gegen Schädlinge

Ätherische Öle wurden bisher am häufigsten gegen Schadinsekten und Milben getestet, werden aber auch bereits gegen Hygieneschädlinge und in zahlreichen Sprays zur Abwehr von Mücken und Zecken eingesetzt. Auch eine direkte, larvizide Wirkung gegen verschiedene Mückenarten wurde beobachtet (z.B. ZHU et al., 2006, 2008). Über die insektizide Wirkung von ÄÖ und deren Hauptkomponenten gegen verschiedene Schadarthropoden lie-

gen einige Übersichtsarbeiten vor (REGNAULT-ROGER, 1997; ISMAN, 2000, 2008; SCOTT et al., 2008; KOSCHIER, 2008; TRIPATHI et al., 2009; RIEFLER et al., 2009). Relativ wenig ist allerdings über die Wirkungsweise von ÄÖ auf Insekten bekannt (s. TRIPATHI et al., 2009). Da sowohl eine Kontaktwirkung als auch eine Wirkung über die flüchtige Phase nachgewiesen wurde, kann man davon ausgehen, dass ÄÖ über das Respirationssystem aufgenommen werden. Aufgrund der dann folgenden Symptome wird eine neurotoxische Wirkung vermutet, wobei ÄÖ in das Octopamin-System eingreifen. Octopamin ist ein Neurotransmitter bei Wirbellosen und an zahlreichen weiteren physiologischen Prozessen beteiligt. Ein Ausfall von Octopamin bei Insekten würde dann zum Zusammenbruch des gesamten Nervensystems führen. Das Fehlen von Octopamin-Rezeptoren bei Wirbeltieren wird auch als Grund angeführt, warum ÄÖ für Säugetiere relativ ungefährlich sind (s. TRIPATHI et al., 2009). In dem folgenden Kapitel und in Tab. 3 werden die wichtigsten Ergebnisse zur Wirkung ÄÖ gegen Schadarthropoden dargestellt.

Blattläuse

Nur relativ wenige Arbeiten zur Wirkung ÄÖ und von Pflanzenextrakten liegen gegen Blattläuse vor. Dies ist umso erstaunlicher, da Blattläuse im Gewächshaus aber auch im Haus- und Kleingartenbereich regelmäßig und relativ häufig auftreten. BESTMANN et al. (1984) untersuchten die aphizide Wirkung des ÄÖ aus den Blättern des Balsamkrautes, *Chrysanthemum balsamita*. Sie wiesen 30 Komponenten im Öl nach, das eine geringe Phytotoxizität besitzt. In weiteren Untersuchungen stellten sie fest, dass die insektizide Eigenschaft mit dem Gehalt an Pyrethrin I zusammenhängt, wobei ein Hauptbestandteil des ÄÖ auch (-) Carvon ist (BESTMANN et al., 1988). Die Zugabe von (-) Carvon zu Pyrethrin I erhöhte dessen insektizide Wirkung gegen die Blattlaus *Metopolophium dirhodum*, was auf eine synergistische Wirkung schließen lässt. Extrakte aus dem Heiligen Basilikum, *Ocimum sanctum*, zeigten eine relativ hohe aphizide Wirkung gegen *Metopolophium dirhodum*, *Aphis fabae*, *Sitobion avenae*, *Acyrtosiphon pisum*, und *Myzus persicae*, die nicht nur allein auf dem Gehalt an Eugenol beruht (STEIN et al., 1988). In den letzten Jahren wurden ÄÖ auch vereinzelt gegen Blattläuse neben anderen Gewächshauschädlingen getestet. ERLER und TUNÇ (2005) stellten fest, dass 99% der weiblichen Tiere von *Aphis gossypii* innerhalb von 2 bis 3 Tagen durch die flüchtigen ÄÖ-Komponenten Anethol, Carvacrol, p-Cymen und γ -Terpinen starben. Dagegen fanden CLOYD et al. (2009) in Gewächshausversuchen, dass *Myzus persicae* mit keinem der getesteten, kommerziellen ÄÖ-Produkte ausreichend bekämpft werden konnte.

Coleopteren

Versuche mit ÄÖ gegen schädliche Coleopteren wurden, mit Ausnahme von Vorratsschädlingen (siehe unten), gegen den Westlichen Maiswurzelbohrer, *Diabrotica virgifera virgifera* (LEE et al., 1997), gegen Engerlinge verschiedener Scarabaeiden (SCOTT et al., 2005; RANGER et al., 2009), gegen Drahtwürmer, *Agriotes obscurus* (WALIWIYYA et

al., 2005), gegen den Rapsglanzkäfer, *Meligethes aeneus* (PAVELA, 2011) und gegen den Kartoffelkäfer, *Leptinotarsa decemlineata* (MAHDI et al., 2011) durchgeführt.

Der mittlerweile auch in Deutschland angekommene Westliche Maiswurzelbohrer bedroht zunehmend den deutschen Maisanbau. Die ÄÖ-Komponenten Citronellol und Thujon hatten eine starke Kontaktwirkung. In Bodentests gegen die Larven war Perillaldehyd am stärksten toxisch (LC₅₀ – 3 µg/g Erde; LC₅₀ von Carbofuran 1 µg/g), und in Topfversuchen zeigte α -Terpineol die beste Wirkung, um Maiswurzeln vor einem Befall zu schützen (LEE et al., 1997). In Gewächshausversuchen gegen die L3-Larven von *Rhizotrogus majalis* (Coleoptera, Scarabaeidae) lag die LC₅₀ nach Anwendung von Schwarzem Pfeffer Extrakt nach 7 Tagen bei 2,5% (SCOTT et al., 2005). In Freilandversuchen auf Rasenflächen wurde von SCOTT et al. (2005) eine 2% ige *P. nigrum* Formulierung erfolgreich gegen L2- und L3-Larven eingesetzt. Die Wirkung war vergleichbar mit der von Diazinon. Gegen ältere L3-Larven war eine 4%ige Formulierung notwendig. Dabei wurde allerdings auch die Regenwurmpopulation geschädigt. Die Halbwertszeit im Boden der im Pfeffer enthaltenen Piperamide betrug 1–2,6 Tage. Die relativ hohen Kosten des Verfahrens könnten nach Auskunft der Autoren durch eine Spot-Behandlung reduziert werden. In ausgiebigen Laborversuchen (Bodentauchmethode) wurde die Wirkung von acht in den USA kommerziell erhältlichen Botanicals gegen Engerlinge (L3) von *Popillia japonica*, *Rhizotrogus majalis*, *Anomala orientalis* und *Cyclocephala borealis* getestet (RANGER et al., 2009). Dabei gehörte das Produkt Armorex®, ein Gemisch verschiedener ÄÖ (Rosmarinöl, Knoblauchöl, Eugenol, Weißer Pfeffer), zu den wirksamsten. Die LC₅₀ Werte lagen bei allen Engerlingen zwischen 0,39 ml/l und 0,49 ml/l. In ersten und vorläufigen Laborversuchen gegen die Engerlinge des Feldmaikäfers, *Melolontha melolontha*, konnte die gute Wirkung bestätigt werden (ZIMMERMANN, unveröffentlicht). Versuche zur Kontaktwirkung und volatilen Toxizität von Thymol, Citronellal, Eugenol und Rosmarinöl wurden auch gegen Altlarven von *A. obscurus* (Drahtwürmer) durchgeführt (WALIWIYYA et al., 2005). Thymol zeigte die stärkste Kontaktwirkung (LD₅₀ 196,0 µg/Larve). Rosmarinöl war praktisch unwirksam. Bei den Tests zur volatilen Toxizität war Citronellal am wirksamsten (LC₅₀ 6,3 µg/cm³) gefolgt von Rosmarinöl, Thymol und Eugenol. Allerdings verursachten Thymol, Eugenol und Citronellal auch eine Keim- und Wachstumshemmung von Mais, bei Rosmarinöl traten dagegen nur minimale Effekte auf. Neuere Untersuchungen zur Wirkung ÄÖ oder deren Komponenten liegen auch gegen den Rapsglanzkäfer und den Kartoffelkäfer vor. Gegen die Adulten von *M. aeneus* verursachten die ÄÖ von Kümmel (*Carum carvi*) und Thymian (*Thymus vulgaris*) *in vitro* die höchste Mortalität bei einer LD₅₀ von 197 bzw. 250 µg/cm². Beide ÄÖ zeigten auch eine starke Repellent-Wirkung (PAVELA, 2011). Gegen die Larven und Adulten von *L. decemlineata* hatten die Monoterpene Fenchon, Linalool, Citronellal und Menthon die stärkste Wirkung, auch gegenüber Endosulfan® (50% WP) resistenten Käfern (MAHDI et al., 2011).

Tab. 3. Anwendung ätherischer Öle oder ihrer Wirkstoffe gegen Schädarthropoden (Schädlinge (Gruppe oder Ordnung) alphabetisch geordnet; innerhalb der Gruppe/Ordnung nach Erscheinungsjahr)

Schädling (Gruppe, Ordnung)	Art	Pflanze, wirksame äther. Öle oder einzelne Komponenten	Literatur
Blattläuse	<i>Metopolophium dirhodum</i> u.a.	Balsamkraut (<i>Chrysanthemum balsamita</i>)	BESTMANN et al., 1984, 1988
	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	<i>Ocimum sanctum</i> (Indisches Basilikum, Extrakte)	STEIN et al., 1988
	<i>Aphis fabae</i>		
	<i>Metopolophium dirhodum</i>	Anethol, Carvacrol, p-Cymene, γ -Terpinen	ERLER und TUNÇ, 2005 CLOYD et al., 2009
	<i>Myzus persicae</i>		
	<i>Sitobion avenae</i>		
	<i>Aphis gossypii</i>		
<i>Myzus persicae</i>	Keines der getesteten Produkte war ausreichend wirksam		
Coleopteren	<i>Diabrotica virgifera virgifera</i>	Citronellol (topikal) Thujon (topikal) Perillaldehyd (Boden)	LEE et al., 1997
	<i>Rhizotrogus majalis</i>	Pfeffer-Extrakte (<i>Piper</i> spp.)	SCOTT et al., 2005
	<i>Agriotes obscurus</i>	Thymol, Citronellal, Rosmarin, Eugenol	WALIWIYITA et al., 2005
	<i>Anomala orientalis</i>	Armorex® u.a. kommerzielle Produkte	RANGER et al., 2009
	<i>Cyclocephala borealis</i>		
	<i>Popillia japonica</i>	Kümmel (<i>Carum carvi</i>) Thymian (<i>Thymus vulgaris</i>)	PAVELA, 2011
	<i>Rhizotrogus majalis</i>		
	<i>Meligethes aeneus</i>		
<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Fenchon, Linalool, Citronella, Menthon	MAHDI et al., 2011	
Gewächshaus-schädlinge (Spinnmilben, Thripse, Weiße Fliegen)	<i>Tetranychus urticae</i>	Carvomenthenol Terpinen-4-ol	LEE et al., 1997
	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Carvacrol, Thymol	SEDY und KOSCHIER, 2003
	<i>Thrips tabaci</i>		
	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Lorbeer, Kümmel, Gewürznelken, Minze, Teebaum	CHOI et al., 2003
	<i>Tetranychus urticae</i>	Kümmel Citronella, Java (<i>Cymbopogon winterianus</i>) Lemon-Eukalyptus (<i>Eucalyptus staigeriana</i>) Pennyroyal (<i>Mentha pulegium</i>) Pfefferminze (<i>Mentha</i> spp.)	CHOI et al., 2004
	<i>Aphis gossypii</i>	Anethol, Carvacrol, Thymol	ERLER und TUNÇ, 2005
	<i>Frankliniella occidentalis</i>		
	<i>Tetranychus cinnabarinus</i>		
	<i>Bemisia tabaci</i>	Arab. Bergkraut (<i>Micromeria fruticosa</i>) Katzenminze (<i>Nepeta racemosa</i>) Oreganum (<i>Origanum vulgare</i>)	ÇALMAŞUR et al., 2006
	<i>Tetranychus urticae</i>		
	<i>Tetranychus urticae</i>	Rosmarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	MIRESMALLI und ISMAN, 2006; MIRESMALLI et al., 2006
	<i>Frankliniella</i> spp. (Freiland)	Geraniol Zitronengras (<i>Cymbopogon flexuosus</i>) Teebaum (<i>Melaleuca alternifolia</i>)	REITZ et al., 2008
	<i>Bemisia tabaci</i> B-Biotyp <i>Frankliniella occidentalis</i> <i>Planococcus citri</i> <i>Tetranychus urticae</i>	Verschiedene kommerzielle Produkte	CLOYD et al., 2009
	<i>Thrips tabaci</i>	Eugenol	RIEFLER und KOSCHIER, 2009
	<i>Tetranychus urticae</i>	Lemon-Eukalyptus, Pfefferminze, Citronella Java, Roter Thymian (<i>Thymus zygis</i>), Kümmelsamen, Gewürznelke, Pennyroyal	HAN et al., 2010
<i>Frankliniella occidentalis</i>	Carvacrol, Thymol	PENEDER und KOSCHIER, 2011	

Tab. 3. Fortsetzung

Schädling (Gruppe, Ordnung)	Art	Pflanze, wirksame äther. Öle oder einzelne Komponenten	Literatur
Lepidopteren	<i>Spodoptera litura</i>	Thymol	HUMMELBRUNNER und ISMAN, 2001
	<i>Pseudaletia unipunctata</i>	Rosmarin, Campher, μ -Terpineol	ISMAN et al., 2008
	<i>Trichoplusia ni</i> <i>Sesamia cretica</i>	Zimt, Eugenol	EL-HOSARY, 2011
Schaben	<i>Blattella germanica</i>	1,8 Cineole, (-) Menthon, Carvacrol, Thymol, Trans-Zimtaldehyd	PHILLIPS und APPEL, 2010; PHILLIPS et al., 2010
Termiten	<i>Reticulitermes speratus</i>	Gewürznelke, Knoblauch, Diallyltrisulfid, Diallyldisulfid, Eugenol	PARK und SHIN, 2005
Vorratsschädlinge (Coleopteren, Lepidopteren)	<i>Acanthoscelides obtectus</i> <i>Sitotroga cereallela</i>	Pfefferminze, Thymian, Zimt	KLINGAUF et al., 1983
	<i>Acanthoscelides obtectus</i> <i>Sitotroga cereallela</i>	Weihrauch (<i>Boswellia carterii</i>)	DIBS und KLINGAUF, 1983
	<i>Sitophilus zeamais</i> <i>Tribolium castaneum</i>	Knoblauch (<i>Allium sativum</i>)	HO et al., 1996
	<i>Oryzaephilus surinamensis</i> <i>Rhyzopertha dominica</i> <i>Sitophilus oryzae</i> <i>Tribolium castaneum</i> <i>Tribolium confusum</i>	Äther. Öl aus Labiaten (ZP51)	SHAAYA et al., 1997
	<i>Sitophilus zeamais</i> <i>Tribolium castaneum</i>	Zimtaldehyd, 4-Allyl-Anisol	OJIMELUKWE und ADLER, 1999
	<i>Sitophilus zeamais</i> <i>Tribolium castaneum</i>	Eugenol, Isoeugenol, Methyleugenol	HUANG et al., 2002
	<i>Acanthoscelides obtectus</i>	Pfefferminze (<i>Mentha microphylla</i> , <i>Mentha viridis</i>) Lavendel (<i>Lavandula hybrida</i>) Rosmarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	PAPACHRISTOS und STAMOPOULOS, 2002
	<i>Lasioderma serricorne</i>	Zimt (<i>C. cassia</i>), Meerrettich (<i>Cochlearia armoracea</i>) Senf (<i>Brassica juncea</i>)	KIM et al., 2003a
	<i>Callosobruchus chinensis</i> <i>Sitophilus oryzae</i>	Zimt (<i>C. cassia</i>), Meerrettich (<i>Cochlearia armoracea</i>) Senf (<i>Brassica juncea</i>)	KIM et al., 2003b
	<i>Tribolium confusum</i> <i>Ephestia kuehniella</i> <i>Lasioderma serricorne</i> <i>Sitophilus granarius</i>	Anethol, Carvacrol, 1,8-Cineol, Thymol <i>Origanum vulgare</i> <i>Nepata racemosa</i>	TUNÇ und ERLER, 2003 ASLAN et al., 2005
	<i>Sitophilus granarius</i> <i>Tribolium confusum</i>	<i>Origanum acutidens</i>	KORDALI et al., 2008
	<i>Acanthoscelides obtectus</i> <i>Lasioderma serricorne</i> <i>Oryzaephilus surinamensis</i>	<i>Clausena anisata</i> (Rutaceae) <i>Agastache foeniculum</i> (Duftnessel oder Anis-Riesenysop)	NDOMO et al., 2008 EBADOLLAHI et al., 2010
	<i>Ectomyelois ceratoniae</i> <i>Ephestia kuehniella</i>	<i>Pistacia lentiscus</i>	BACHROUCH et al., 2010
	<i>Sitophilus zeamais</i> <i>Tribolium castaneum</i>	<i>Ostericum sieboldii</i> (Apiaceae)	LIU et al., 2011
	<i>Sitophilus zeamais</i>	<i>Eucalyptus</i> spp. (<i>E. dunnii</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. benthamii</i>)	MOSSI et al., 2011
	<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	Thymian (<i>Thymus vulgaris</i>) Nelken (<i>Eugenia caryophyllata</i> = <i>Syzygium aromaticum</i>)	NESCI et al., 2011

Gewächshausschädlinge

Ein Schwerpunkt beim Einsatz ÄÖ sind verschiedene Gewächshausschädlinge, wie Spinnmilben, Thripse oder Weiße Fliegen (Tab. 3). Die Anwendung in diesem Bereich erscheint wegen der Flüchtigkeit der ÄÖ und ihrer damit verbundenen guten Wirkung in mehr oder weniger geschlossenen Räumen besonders interessant. Auf der anderen Seite kann es aber auch zu Problemen mit der Phytotoxizität oder Nebenwirkungen auf gleichzeitig eingesetzte Nutzarthropoden kommen (CHOI et al., 2004; CLOYD et al., 2009; HAN et al., 2010). Neben der insektiziden Wirkung sind unter Gewächshausbedingungen auch andere Wirkungen der ÄÖ von Bedeutung, wie z.B. als Attraktantien, Repellentien oder als Entwicklungshemmer (SEDY und KOSCHIER, 2003; KOSCHIER, 2008; RIEFLER und KOSCHIER, 2009; RIEFLER et al., 2009; PENEDER und KOSCHIER, 2011).

Gegen Spinnmilben (*Tetranychus urticae*) erwies sich Rosmarinöl als sehr wirksam und verursachte eine totale Mortalität bei Konzentrationen, die nicht phytotoxisch gegenüber Tomaten waren (MIRESMALLI und ISMAN, 2006; MIRESMALLI et al., 2006). Zudem war das natürliche Öl besser als die Einzelkomponenten. In weiteren Versuchen gegen Spinnmilben wurde die Wirkung verschiedener ÄÖ getestet (LEE et al., 1997; CHOI et al., 2004; ERLER und TUNÇ, 2005; CALMASUR et al., 2006; CLOYD et al., 2009; HAN et al., 2010). So verursachten Kümmelöl, Citronella Java, Lemon-Eukalyptus, Pennyroyal und Pfefferminzöl bei $14 \times 10^{-3} \mu\text{l/ml}$ Luft in Biotests eine mehr als 90%ige Mortalität. Diese Öle hatten auch eine ovizide Wirkung (CHOI et al., 2004). ERLER und TUNÇ (2005) fanden, dass Anethol, Carvacrol und Thymol die größte toxische Wirkung zeigten. Ausgiebige Biotests mit 10 ÄÖ gegen empfindliche und akarizid-resistente Stämme von *T. urticae* ergaben, dass vor allem das o.g. Lemon-Eukalyptusöl gegen alle getesteten Stämme eine hohe Mortalität verursachte (HAN et al., 2010).

In Versuchen gegen Thripse (*Thrips tabaci*, *Frankliniella occidentalis*) mit den ÄÖ-Komponenten Carvacrol, Thymol oder Eugenol zeigten die Versuchstiere eine relativ geringe Mortalität dafür aber besondere Verhaltensänderungen (SEDY und KOSCHIER, 2003; RIEFLER und KOSCHIER, 2009; KOSCHIER, 2008; PENEDER und KOSCHIER, 2011). Dies zeigte sich z.B. in einer reduzierten Eiablage, in einer Vermeidung der Wirtspflanzen oder kürzeren Saugzeiten auf behandelten Blättern. In Freilandversuchen an Tomaten gegen *Frankliniella* spp. wiesen REITZ et al. (2008) auch eine hohe Mortalität durch Geraniol, Zitronengrasöl (*Cymbopogon flexuosus*) und Teebaumöl (*Melaleuca alternifolia*) nach. Dabei war die Wirkung von Teebaumöl formuliert mit Kaolin vergleichbar mit einer Insektizid-Behandlung. Eine Übersicht über die verschiedenen Wirkungen ÄÖ auf Thripse wurde kürzlich von KOSCHIER veröffentlicht (2008).

Gegen die Weiße Fliege (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*) waren die Wirkungen von ÄÖ unterschiedlich. Von 53 ÄÖ, die gegen Eier, Nymphen und Adulte von *T. vaporariorum* in einem Filterpapier-Test geprüft wurden, zeigten 10 ÄÖ eine hohe Aktivität gegen alle Stadien,

darunter solche aus Lorbeer, Kümmel, Gewürznelken, Minze und Teebaum (CHOI et al., 2003). Gegen Nymphen und Adulte von *B. tabaci* verursachten die ÄÖ von 3 Lamiaceen (*Micromeria fruticosa*, *Nepeta racemosa*, *Origanum vulgare*) in Biotests die höchste Mortalität nach 120 h bei $2 \mu\text{l/l}$ Luft. Dagegen war keines der von CLOYD et al. (2009) getesteten kommerziellen Produkte wirksam genug gegen *B. tabaci*.

Lepidopteren

Die Wirkung ÄÖ wurde im Labor gegen die schädlichen Noctuiden *Spodoptera litura* (HUMMELBRUNNER und ISMAN, 2001; ISMAN et al., 2001) und gegen *Pseudaletia unipunctata* sowie *Trichoplusia ni* (ISMAN et al., 2008) getestet. Im Freiland wurden Versuche gegen den Maisstängelbohrer *Sesamia cretica* durchgeführt (EL-HOSARY, 2011). Von 21 auf ihre insektizide Wirkung gegen L3-Larven von *S. litura* geprüften ÄÖ verursachten die von *Satureja hortensis* (Bohnenkraut), *Thymus serpyllum* (Sand-Thymian) und *Origanum creticum* (Oreganum) über 90% Mortalität nach 24 h bei einer Dosis von 100 μg pro Larve nach topikal Applikation (ISMAN et al., 2001). Wirksame Komponenten sind wahrscheinlich Thymol und Carvacrol, die Hauptinhaltsstoffe der o.g. ÄÖ. Dies bestätigte sich auch in weiteren Versuchen (HUMMELBRUNNER und ISMAN, 2001). Nach topikal Applikation auf *S. litura* Larven war Thymol aus *Thymus vulgaris* am wirksamsten (LD_{50} 25,4 $\mu\text{g/Larve}$). Dabei wurden auch Wachstumsdepressionen sowie eine fraßabschreckende Wirkung bei Kohlblättern beobachtet. Positive synergistische Effekte traten zwischen trans-Anethol mit Thymol, Citronellal und α -Terpineol auf. In den Untersuchungen von ISMAN et al. (2008) wurden 10 kommerzielle Proben von Rosmarinöl auf ihre Wirkung gegen *P. unipunctata* und *T. ni* geprüft. Hauptinhaltsstoffe der Öle sind 1,8-Cineol (52%), α -Pinen, β -Pinen und Campher. Von den getesteten Ölen und Einzelkomponenten hatte Campher die beste Wirkung gegen *P. unipunctata* (LD_{50} 189,4 μg pro Larve), und μ -Terpineol wirkte am besten gegen *T. ni* (LD_{50} 128,5 μg pro Larve). Die LD_{50} Werte für die 10 Rosmarinöle lagen zwischen 167,1 bis 372,1 $\mu\text{g/Larve}$ bei *P. unipunctata* und 58,9 bis 335,9 $\mu\text{g/Larve}$ bei *T. ni*. Dies zeigt die Bedeutung einer Standardisierung kommerzieller Produkte. Die Wirkung mit dem reinen Öl war immer besser als ein aus 9 Komponenten künstlich zusammengesetztes Rosmarinöl. Bei den Freilandversuchen im Mais gegen *S. cretica* führte Zimtöl bei 5%iger Anwendung zu einer Reduktion der Eigelege um 95,2% und der Larvenzahl von 85,5%. Der höchste Ertrag wurde ebenfalls nach Anwendung von Zimtöl (5%) und Eugenol (0,4%) mit 89,9 bzw. 86,2% verglichen mit der Kontrolle erreicht (EL-HOSARY, 2011).

Schaben

In zwei kürzlich erschienenen Arbeiten berichteten PHILLIPS und APPEL (2010) sowie PHILLIPS et al. (2010) über die Wirkung verschiedener Einzelkomponenten von ÄÖ auf die Deutsche Schabe *Blattella germanica*. In der flüchtigen Phase waren 1,8-Cineol mit LC_{50} Werten von 5,3–1,4 mg/l

Luft je nach Stadium und (-) Menthon sowie Carvacrol mit LC₅₀ Werten von 9,0 bzw. 3,6 mg/l Luft nach 24 h am wirksamsten. (-) Menthon reduzierte die Schlüpftrate am stärksten. Nach topikaler Anwendung von 12 Komponenten ÄÖ zeigten dagegen Thymol und trans-Zimtaldehyd die beste Wirkung (PHILLIPS et al., 2010). Adulte Weibchen waren am widerstandsfähigsten, und keine der getesteten Komponenten verhinderte die Schlupfrate völlig, so dass bei einer Anwendung in der Praxis mehrere Behandlungen nötig sind.

Termiten

Gegen die Japanische Termiten *Reticulitermes speratus* wurden die ÄÖ aus 29 Pflanzen in einem Biotest (fumigation bioassay) getestet. Dabei verursachten Gewürznelkenöl und Knoblauchöl eine 100%ige Mortalität nach 2 Tagen bei 0,5 µl/l Luft. Von den Einzelkomponenten waren Diallyltrisulfid, Diallyldisulfid und Eugenol am wirksamsten (PARK und SHIN, 2005).

Vorratsschädlinge

Die meisten Untersuchungen zur Wirkung ÄÖ wurden mit Vorratsschädlingen durchgeführt, wobei die im Vorratsschutz schädlichen Käfer häufiger Testobjekte waren als Lepidopteren (Tab. 3). Offensichtlich wird hier auch ein Schwerpunkt beim Einsatz ÄÖ gesehen, wenn auch viele Tests nur im Labor und nicht unter Praxisbedingungen durchgeführt worden sind (RAJENDRAN und SRUJANJINI, 2008; SCOTT et al., 2008; KUMAR et al., 2011). Unter den Lepidopteren wurden ÄÖ gegen die Getreidemotte *Sitotroga cerealella* (KLINGAUF et al., 1983), gegen die Johannisbrotbaum-Motte *Ectomyelois ceratoniae* und die Mehlmotte *Ephestia kuehniella* (ASLAN et al., 2005; BACHROUCH et al., 2010) versuchsweise eingesetzt. Die wirksamsten ÄÖ gegen *S. cerealella* waren Pfefferminzöl, Thymianöl und Zimtöl (> 90% Mortalität nach 3 h bei 6 µl/l Luft; KLINGAUF et al., 1983). Gegen *E. ceratoniae* und *E. kuehniella* erwies sich das ÄÖ von *Pistacia lentiscus* (Anacardiaceae) mit den Hauptkomponenten Terpinen-4-ol, α-Terpineol und β-Caryophyllen in der flüchtigen Phase am wirksamsten. Der Effekt war stärker gegenüber der Mehlmotte (LD₅₀ 1,84 µl/l; LC₉₅ 5,14 µl/l) als gegen *E. ceratoniae* (LC₅₀ 3,29 µl/l; LC₉₅ 14,24 µl/l). Mit steigender Konzentration wurden auch die Fekundität und Schlüpftrate reduziert (BACHROUCH et al., 2010). Frühere Untersuchungen gegen Larven von *E. kuehniella* hatten ergeben, dass das ÄÖ von *Origanum vulgare* am wirksamsten war (ASLAN et al., 2005).

Bei den vorratsschädlichen Coleopteren kamen ÄÖ vor allem gegen folgende Arten zum Einsatz: *Acanthoscelides obtectus*, *Callosobruchus chinensis*, *Lasioderma serricorne*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus zeamais*, *Sitophilus orycae*, *Tribolium confusum* und *Tribolium castaneum* (Tab. 3). Neben der insektiziden Wirkung nach Kontakt zeigten die meisten ÄÖ oder deren Hauptkomponenten eine repellente Wirkung sowie eine Reduktion der Fekundität und Schlüpftrate vor allem in der flüchtigen Phase. So hatte Knoblauchöl in einem Filterpapierertest gegen die Adulten von *T. castaneum*

und *S. zeamais* sowohl eine ovizide (4,4 mg/cm²) als auch eine insektizide Wirkung (Ho et al., 1996). Gegen diese beiden Vorratsschädlinge zeigte auch das ÄÖ aus *Ostericum sieboldii* (Apiaceae) eine starke insektizide Wirkung nach Kontakt und in der flüchtigen Phase (LIU et al., 2011). Mit einem nicht näher bezeichneten ÄÖ aus einer Labiaten (Oil ZP 51) wurden bei 1,4–4,5 µl/l Luft nach 24 h 90% Mortalität gegen verschiedene Käfer erzielt (SHAAYA et al., 1997). Das ÄÖ aus der Zimtkassie (*Cinnamomum cassia*) (KIM et al. 2003a, 2003b) sowie Zimtaldehyd (OJIMELUKWE und ADLER, 1999) verursachten nach Kontakt und in der flüchtigen Phase eine hohe Mortalität bei *L. serricorne*, *T. confusum*, *S. orycae* und *C. chinensis* nach 1 bis 3 Tagen. Unter den bisher eher seltener getesteten ÄÖ zeigten solche aus verschiedenen Eukalyptus-Arten (*Eucalyptus dunnii* u.a.) gegen *S. zeamais* (MOSSI et al., 2011) und Senfö (*Brassica juncea*) gegen *L. serricorne* sowie *S. orycae* und *C. chinensis* (KIM et al. 2003a, 2003b) sowohl eine insektizide als auch eine repellente Wirkung. Gegen den Speisebohnenkäfer *A. obtectus* erwies sich eine Mischung aus dem ÄÖ des Pferdeholzbaums (*Clausena anisata*, Rutaceae) mit Ton als toxischer verglichen mit dem reinen ÄÖ (LD₅₀ 0,069 µl/g Körner) (NDOMO et al., 2008). Von 13 gegen *A. obtectus* in der flüchtigen Phase getesteten ÄÖ zeigten die meisten eine repellente Wirkung und reduzierten die Fekundität und Schlüpftrate bei erhöhter Larvalmortalität (PAPACHRISTOS und STAMOPOULOS, 2002). Am meisten toxisch für Männchen waren Pfefferminzöle (*Mentha microphylla*, *Mentha viridis*) und für Weibchen Lavendelöl (*Lavandula hybrida*) und Rosmarinöl (*Rosmarinus officinalis*). Das ÄÖ der Duftnessel oder des Anis- Riesenysop (*Agastache foeniculum*), das zu 94% aus Methylchavicol (= Estragol oder 4-Allylanisol) besteht, hatte eine LC₅₀ von 18,78 und 21,56 µg/l gegen die Adulten des Getreideplattkäfers *O. surinamensis* bzw. des Tabakkäfers *L. serricorne* nach 24 h (EBADOLLAHI et al., 2010).

Wirkung gegen Nematoden

Auf der Suche nach Alternativen für die meist toxischen und wenig umweltschonenden Nematizide wurden ÄÖ auch gegen phytoparasitäre Nematoden getestet. Im Mittelpunkt der bisherigen Untersuchungen standen verschiedene Bodennematoden, u.a. *Meloidogyne* Arten, aber auch der Kiefernholznematode *Bursaphelenchus xylophilus*. Gegen letzteren zeigten von 43 getesteten ÄÖ vor allem Knoblauchöl und Zimtöle die beste Wirkung. Die LC₅₀ Werte der Einzelkomponenten Diallyltrisulfid, Diallyldisulfid und Zimttacetat lagen bei 2,79, 37,06 bzw. 32,81 µl/l Luft (PARK et al., 2005). Die ÄÖ der Zimtkassie (*Cinnamomum cassia*), des Zimtbaums (*Cinnamomum zeylanicum*) und ihrer Komponenten erwiesen sich auch in weiteren Biotests toxisch gegenüber *B. xylophilus* (KONG et al., 2007). Die beste nematizide Wirkung hatte trans-Zimtaldehyd (0,051 mg/ml). Von den Autoren werden deshalb ÄÖ der Zimtkassie und des Ceylon-Zimtbaums als potentielle Nematizide gegen den Kiefernholznema-

toden angesehen, oder ihre chemischen Komponenten könnten als Leitstruktur für weitere Substanzen dienen.

Gegen freilebende, phytoparasitäre Bodennematoden sowie gegen die beiden auch in Deutschland im Gewächshaus an Gemüsekulturen und Zierpflanzen vorkommenden Wurzelgallenälchen *Meloidogyne javanica* und *Meloidogyne incognita* wurden zahlreiche ÄÖ *in vitro* und auch *in vivo* getestet. Dabei zeigten die ÄÖ der Gewürznelke (*Syzygium aromaticum* = *Eugenia caryophyllata*) (SANGWAN et al., 1990), sowie die von Kümmel (*Carum carvi*), Fenchel (*Foeniculum vulgare*), Minze-Arten (*Mentha rotundifolia*, *Mentha spicata*), *Origanum* spp. (OKA et al., 2000), Thymian (PÉREZ und LEWIS, 2006) und die monoterpenoiden Wirkstoffe Borneol, Carveol, Citral, Geraniol und α -Terpineol (ECHEVERRIGARAY et al., 2010) die stärkste nematizide Wirkung. Nach BATISH et al. (2008) soll auch Eucalyptusöl gegen Nematoden wirken. Die *in vitro* Ergebnisse wurden auch in Topfkulturen und Freilandtests bestätigt. So konnte nachgewiesen werden, dass die ÄÖ von Kümmel, Fenchel, Minze und *Origanum* die durch *M. javanica* verursachte Gallenbildung an Gurkensämlingen im Topf signifikant reduzierten (OKA et al., 2000). Die Komponenten Carvacrol, t-Anethol, Thymol und (+) Carvone immobilisierten die Larven und verhinderten den Schlupf bei 125 μ l/l *in vitro*. In 3 l Topfexperimenten wurde die nematizide Wirkung bei Konzentrationen von 150–200 mg/kg bestätigt (OKA et al., 2000). Gegen *M. incognita* hatten die Einzelkomponenten Borneol, Carveol, Citral, Geraniol, und α -Terpineol die beste nematizide Wirkung in *in vitro* Tests. Neben einer deutlichen Reduktion der Schlupfrate und der L2 Lebensdauer wurde in Topfversuchen an Tomaten auch die Wurzelgallenbildung weitgehend unterdrückt (100 und 250 mg/kg) (ECHEVERRIGARAY et al., 2010). Auch eine Kombination von entomopathogenen Nematoden (*Steinernema carpocapsae*) mit Diallyldisulfid, einer flüchtigen Komponente des Knoblauchöls, führte zu einer signifikanten Reduktion der *M. javanica* Population an Tomaten (ANASTASIADIS et al., 2011). In zweijährigen Freilandversuchen zur Bekämpfung verschiedener Nematoden an Buchsbaum konnten PÉREZ und LEWIS (2006) die Population nahezu aller phytoparasitärer Nematoden mit Thymianöl (3,5%, formuliert als Promax®, 9,3 l/ha) signifikant auch noch 60 Tage nach der Behandlung reduzieren.

Wirkung gegen Unkräuter

Die phytotoxische Wirkung vieler ÄÖ ist bekannt und nicht selten ein Nachteil bei ihrer Anwendung gegen Phytopathogene oder Schadinsekten. So ist es nicht verwunderlich, dass ÄÖ auch gegen Unkräuter getestet wurden und teilweise auch eingesetzt werden. Wie eingangs erwähnt, ist in Deutschland Pelargonsäure, eine Komponente mancher ÄÖ, als Herbizid zugelassen. Auch in den USA werden zum Beispiel verschiedene Herbizide auf der Basis von ÄÖ angeboten: Die Firma EcoSMART vertreibt einen sog. Weed- and Grasskiller mit dem Wirkstoff Eugenol, und Soil Technologies Corp. bietet das Totalher-

bizid Phydura® mit den Inhaltsstoffen Nelkenöl und Essig an. Auch von der kalifornischen Firma Marrone Organic Innovations wird für den organischen Landbau ein Nachauflauf-Herbizid mit dem Namen GreenMatch Ex angeboten, das Zitronengrasöl (*Cymbopogon citratus*, Citral 80%, Myrcen 20%) enthält.

Die Wirkung dieser und weiterer ÄÖ gegen verschiedene Unkrautarten wurde auch wissenschaftlich untersucht (DUDAI et al., 1999; TWORKOSKI, 2002; YOUNG, 2004; BAINARD et al., 2006; BOYD und BRENNAN, 2006; ZANELLATO et al., 2009). So wurde nachgewiesen, dass Nelkenöl und sein Hauptwirkstoff Eugenol eine starke herbizide Wirkung z.B. auf das Keimlingswachstum von Broccoli, Ackermelde (*Chenopodium album*) und Amaranth (*Amaranthus retroflexus*) haben (BAINARD et al., 2006). Auch gegen Brenneseln (*Urtica urens*) und Portulak (*Portulaca oleracea*) wurde eine herbizide Wirkung beobachtet (BOYD und BRENNAN, 2006). Zimtblätteröl, dessen Hauptwirkstoff ebenfalls Eugenol ist, hatte eine starke phytotoxische Wirkung auf Keimlinge von *Sorghum halepense*, *Ambrosia artemisiifolia* und *Chenopodium album* (TWORKOSKI, 2002), und Carvacrol sowie Thymol verhinderten die Keimung und das Keimlingswachstum von *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* und *Rumex crispus* (KORDALI et al., 2008). Von 25 an Blättern des Löwenzahns im Labor und Gewächshaus getesteten ÄÖ (1%ig) hatten die von *Thymus vulgaris*, *Satureja hortensis*, *Cinnamomum zeylanicum* und *Syzygium aromaticum* die stärkste phytotoxische Wirkung (TWORKOSKI, 2002). Auch von Lavendelöl (*Lavandula officinalis*) wurde ein herbizider Effekt beschrieben (ZANELLATO et al., 2009). Gegen eine großflächige Freilandanwendung solcher ÄÖ könnten allerdings die hohen Kosten sprechen, da die anzuwendenden Konzentrationen relativ hoch sind. Auf diesen Aspekt wird von YOUNG (2004) sowie von BOYD und BRENNAN (2006) hingewiesen. So waren die Kosten für eine einmalige oder mehrmalige Verwendung natürlicher Produkte, wie Essigsäure oder Kiefernöl, etwa 10mal höher als 1 bis 2 Anwendungen von Glyphosat (YOUNG, 2004).

Über einen anderen Bereich der Unkrautregulierung, nämlich die Unkrautunterdrückung durch Aromapflanzen im Feld, wurde kürzlich berichtet (DHIMA et al., 2010). In einem zweijährigen Freilandversuch in Griechenland zur Bestimmung des Konkurrenzverhaltens von Aromapflanzen stellten die Autoren fest, dass die ÄÖ von Fenchel und Basilikum am meisten phytotoxisch gegen Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) waren. Zudem zeigten Aromapflanzen, wie Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), Anis und Fenchel, ein starkes Konkurrenzverhalten und verursachten eine starke Unterdrückung der Unkrautflora.

Wirkung gegen Schnecken

Untersuchungen über die Wirkung von ÄÖ gegen Schnecken wurden vor allem gegen bestimmte Wasserschnecken (*Biomphalaria pfeifferi*, *Bulinus truncatus*) durchgeführt, die als Überträger und Zwischenwirt gefährlicher Tropenkrankheiten beim Menschen, wie der Schistosomiasis,

auch Bilharziose genannt, bekannt sind. Molluskizide Wirkungen gegen *B. pfeifferi* und *B. truncatus* besitzen die ÄÖ aus *Cymbopogon nervatus* Blättern (Zitronengras-Verwandte) und *Boswellia papyrifera* (Weihrauch) (LD₅₀ etwa zwischen 200 und 300 ppm; EL-KAMALI et al., 2010). Gegen *B. truncatus* zeigten auch ÄÖ aus *Chrysanthemum viscidifolium* (KHALLOUKI et al., 2000) und aus verschiedenen marokkanischen Kiefernarten eine deutliche Wirkung (LAHLOU, 2003), wobei Zedernöl (*Cedrus atlantica*) mit den Komponenten α -Pinen, β -Pinen und Myrcen am wirksamsten war (LC₅₀ 0,47 ppm). Da auch die Öle aus *Eucalyptus*-Arten eine molluskizide Wirkung haben, wurde von HAMMOND et al. (1994) vorgeschlagen, Eucalyptus Bäume dort bevorzugt anzupflanzen, wo Schnecken als Überträger von Tropenkrankheiten vorkommen. Gegen eine Landschnecke, die Mittelmeersand-schnecke *Theba pisana*, wiesen ABDELGALEIL und BADAWY (2006) eine starke Wirkung des ÄÖ von *Lantana camara* (Wandelröschen) und von *Mentha microphylla* (Minze) nach. Die Wirkung des ÄÖ von *L. camara* war dabei größer als die des chemischen Vergleichsprodukts Methomyl. In Deutschland wird ein Vergrämungsmittel (Repellent) gegen Schnecken von der Firma ARIES® Umweltprodukte unter dem Namen Schnecken-Granulat vertrieben. Es enthält die ätherischen Öle Geraniol und Lavandinöl und soll Schnecken nach dem Ausstreuen von bestimmten Flächen und Pflanzen fernhalten (www.aries-online.de).

Kritische Anmerkungen zu Nebenwirkungen und Phytotoxizität

Die starke Wirkung der meisten ÄÖ gegen Mikroorganismen und Schädarthropoden einerseits bei gleichzeitiger geringer Gefährdung von Mensch und anderen Säugtieren andererseits sowie der rasche Abbau in der Umwelt (Boden, Wasser) werden allgemein als besonderer und interessanter Vorteil gegenüber herkömmlichen Pflanzenschutzmitteln angesehen. Diesen Vorteilen stehen aber auch zwei kritische Punkte gegenüber, nämlich (1) eventuelle Nebenwirkungen auf Nichtzielorganismen und Nutzarthropoden und (2) die früher schon erwähnte Phytotoxizität. Auf Grund der großen Breitenwirkung vieler ÄÖ und der damit verbundenen geringen Selektivität ist davon auszugehen, dass bei einer Anwendung auch Nichtzielorganismen und Nützlinge getroffen werden. Dieser Aspekt ist bei bisherigen Untersuchungen häufig vernachlässigt worden, wird aber durchaus auch gesehen (ISMAN, 2006). Auf Grund der hohen Flüchtigkeit und der geringen Persistenz der ÄÖ unter Freilandbedingungen wird jedoch argumentiert, dass eine Neubesiedlung behandelter Flächen nach 1 bis 2 Tagen wieder möglich ist (ISMAN, 2006).

So liegen nur wenige Untersuchungen über die Wirkung ÄÖ gegenüber Nutzarthropoden, Bienen oder Regenwürmer vor. CHOI et al. (2004) stellten fest, dass die gegen die Spinnmilbe *Tetranychus urticae* getesteten und wirksamen ÄÖ von Kümmel, Citronella, Lemon-Eukalyptus, Pennyroyal und Pfefferminze bei $7,1 \times 10^{-3} \mu\text{l/ml}$ Luft auch eine Mortalität von > 90% bei der Raubmilbe *Phyto-*

seiulus persimilis verursachten. Nach Versuchen von MIRESMALLI und ISMAN (2006) im Labor und Gewächshaus waren dagegen *Ph. persimilis* Raubmilben weniger empfindlich gegenüber Rosmarinöl als Spinnmilben. Auch gegen die polyphage Raubmilbe *Neoseiulus californicus* war Lemon-Eukalyptusöl am meisten toxisch, wobei die Raubmilben 1–2mal toleranter gegenüber dem ÄÖ als *T. urticae* waren (HAN et al., 2010). Bei einer Freilandanwendung ÄÖ sind Nebenwirkungen auch auf andere Nutzinsekten, wie z.B. Bienen, durchaus möglich. Bei Laboruntersuchungen zur Bekämpfung der parasitischen Varroa-Milbe (*Varroa jacobsoni*) an Bienen zeigten Nelkenöl, Thymol und Carvacrol eine gewisse Bienentoxizität (Milbenmortalität > 70% bei gleichzeitiger Bienemortalität von < 30%), wobei die Wirkung und Selektivität mit der von Ameisensäure vergleichbar war (LINDBERG et al., 2000). Über die Auswirkungen von Schwarzem Pfeffer-Extrakt (*Piper nigrum*) auf Regenwürmer nach einer entsprechenden Bodenbehandlung gegen Engerlinge berichteten SCOTT et al. (2005). Nach Anwendung einer 4%igen Formulierung gegen ältere L3 wurde die Regenwurmpopulation deutlich geschädigt. Allerdings betrug die Halbwertszeit der Piperamide im Boden nur 1–2,6 Tage.

Der zweite o.g. Aspekt ist die relativ hohe Phytotoxizität vieler ÄÖ. Dies wurde auch in bisherigen Arbeiten häufig als kritisch angesehen (ISMAN, 2000, 2006; BAINARD et al., 2006; TRIPATHI et al., 2009; RIEFLER et al., 2009; CLOYD et al., 2009) und ist auch ein Grund, warum manche ÄÖ als Totalherbizide eingesetzt werden (s. Kapitel ‚Wirkung gegen Unkräuter‘). Aber nicht jedes ÄÖ ist phytotoxisch, und die Wirkung ist oft dosisabhängig (LEE et al., 1997; ERLER und TUNÇ, 2005). So zeigten zum Beispiel einige monoterpenoide ÄÖ an Blättern und Wurzeln von Maispflanzen deutliche phytotoxische Schäden (LEE et al., 1997). l-Carvon war am meisten phytotoxisch, während die Wirkung von Thymol dosisabhängig war, und Pulegon zeigte die geringsten Schäden. Bei ihren Versuchen gegen Drahtwürmer stellten WALIWITIYA et al. (2005) ebenfalls bei Mais eine signifikante Keimhemmung und Wuchshemmungen durch Thymol, Eugenol und Citronellal fest, wogegen Rosmarinöl nur minimale phytotoxische Effekte hatte. In ausführlichen Untersuchungen beklagen CLOYD et al. (2009) dagegen, dass die in den USA als ‚minimal risk pesticides‘ von der EPA zugelassenen Produkte auf der Basis ÄÖ häufig nicht ausreichend auf Wirksamkeit und auch auf Phytotoxizität getestet wurden. So waren einige Produkte stark phytoxisch gegenüber manchen Gewächshauspflanzen. Versuche haben aber auch gezeigt, dass bestimmte synthetische Derivate, wie z.B. Thymol-ethylether, nur eine im Vergleich zu Thymol stark verringerte Phytotoxizität besitzen (LEE et al., 1997). In jedem Fall sind vor einer Kommerzialisierung ÄÖ sorgfältige Phytotoxizitätstests erforderlich.

Gesundheitliche und umwelthygienische Aspekte

Seit Jahrhunderten werden ÄÖ in unterschiedlicher Form und in verschiedenen täglichen Lebensbereichen des Men-

schen verwendet. Daher sind sie auch heute noch und wieder in verstärktem Maße wichtige Komponenten für die pharmazeutische und kosmetische Industrie. Dennoch sind nicht alle Naturstoffe bekanntermaßen für den Menschen unbedenklich. So ist bekannt, dass die meisten ÄÖ in konzentrierter Form haut- und schleimhautreizend sind, d.h. ein Kontakt mit den Augen und Schleimhäuten sollte mit unverdünnten Ölen vermieden werden. Ferner sind Dermatitis Erkrankungen zum Beispiel nach Anwendung von Teebaumöl und D-Limonen, einem Hauptwirkstoff aus Zitrusfrüchten, bekannt (TRIPATHI et al., 2009). Auch Allergien können bei entsprechend disponierten Personen auftreten (z.B. bei Zimtaldehyd, s. Wikipedia.org). Die beiden Substanzen Thujon (Hauptwirkstoff im ÄÖ von *Artemisia absinthium*) und Pulegon (Hauptwirkstoff im ÄÖ von *Mentha pulegium*) werden als besonders gesundheitsschädlich eingestuft (TRIPATHI et al., 2009; s. Wikipedia.org).

Das seit einigen Jahren verstärkte Interesse an der Verwendung vieler ÄÖ im Pflanzenschutz hängt vor allem mit ihrer geringen Säugetiertoxizität und ihren weitgehend umweltschonenden Eigenschaften zusammen (ISMAN, 2000, 2006; RIEFLER et al., 2009, TRIPATHI et al., 2009; ANTUNES und CAVACO, 2010). So werden in den USA bei Produkten auf der Basis von ÄÖ von der EPA (Environmental Protection Agency) keine umfangreichen Studien zur Toxizität gefordert (TRIPATHI et al., 2009). Die geringe Toxizität wird durch entsprechende LD₅₀ Angaben bestätigt. Bei Ratten liegen die LD₅₀ Werte nach oraler Gabe verschiedener ÄÖ im Allgemeinen zwischen 2–3 g/kg (ISMAN, 2000). Für Zimtaldehyd wird eine LD₅₀ von 2220 mg/kg angegeben, für Eugenol von 1930 mg/kg und für Thymol ebenfalls von 1930 mg/kg (s. Wikipedia.org). Die LD₅₀ bei Mäusen des ÄÖ aus der Bengalischen Quitte, *Aegle marmelos*, mit der Hauptkomponente DL-Limonen beträgt sogar 23.659,93 mg/kg (SINGH et al., 2009). In Untersuchungen an Ratten zur akuten und subakuten Toxizität der ÄÖ von *Cymbopogon citratus*, *Ocimum gratissimum* und *Ocimum basilicum* verursachten erst Dosen höher als 1500 mg/kg deutliche Schäden an Magen und Leber (FANDOHAN et al., 2008). Das als Nahrungsmittelzusatz vorgesehene Korianderöl (*Coriandrum sativum*) mit seiner Hauptkomponente Linalool (ca. 70%) hatte bei Ratten eine NOEL (no observed effect level) von etwa 160 mg/kg/Tag. Linalool ist nicht mutagen (BURDOCK und CARABIN, 2009). Über die verschiedenen, aus medizinischer Sicht eher positiven biologischen und pharmakologischen Aktivitäten von ÄÖ (z.B. entzündungshemmend, antimutagen, antikarzinogen) und die Einsatzmöglichkeiten in der Humanmedizin liegt eine Zusammenfassung von BAKKALI et al. (2008) vor. Über Carvacrol und Carvacrol enthaltende ÄÖ aus den Gattungen *Origanum*, *Thymus*, *Coridothymus*, *Thymbra*, *Satureja* und *Lippia* erstellte BASER (2008) eine entsprechende, umfangreiche Studie.

Was den Einfluß auf die Umwelt anbetrifft, so gelten ÄÖ im Allgemeinen als umweltschonend. Dies hängt zum einen mit ihrer hohen Flüchtigkeit zusammen, zum anderen aber auch mit ihrem raschen Abbau im Boden (RABENHORST, 1996; ISMAN, 2000, 2006), so dass eine Anreicherung in der Umwelt ausgeschlossen werden

kann. So beträgt die Halbwertszeit von α -Terpineol im Boden unter aeroben Bedingungen bei 23°C 30–40 h, und völliger Abbau erfolgte nach 50 h (ISMAN, 2000). Bei den insektizid wirksamen Piperamiden aus Pfeffer-Extrakten lag die Halbwertszeit im Freiland bei 1–2,6 Tagen (SCOTT et al., 2005) und ist damit wesentlich niedriger als die der meisten konventionellen Insektizide. Eugenol wird beispielsweise durch das Bodenbakterium *Pseudomonas* sp. HR 199 zu Vanillinsäure, Ferulasäure und Koniferyl-Alkohol abgebaut (RABENHORST, 1996). Zur industriellen Gewinnung von Ferulasäure aus Nelkenöl durch den Abbau von Eugenol hatte sich auch *Pseudomonas fluorescens* E118 als effektiv erwiesen (FURUKAWA et al., 2003). Auch Zimtaldehyd wird rasch im Boden abgebaut (COPPING und DUKE, 2007). In einer ausgiebigen Studie zur Fischtoxizität wurde die Wirkung von Thymianöl, α -Terpineol, Eugenol und einer Mischung der drei Komponenten gegen junge Lachse (*Oncorhynchus kisutch*) und die Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) getestet (STROH et al., 1998). Wegen der hohen Flüchtigkeit der Stoffe war eine Wirkung nur in den ersten 24 h nachweisbar. α -Terpineol war mit 6,3 ppm bzw. 6,6 ppm am meisten toxisch, während die Werte für Thymianöl und Eugenol bei 16,1 bis 66,1 ppm lagen. Verglichen mit den LC₅₀ Daten für das Insektizid Carbofuran oder den Naturstoff Pyrethrum war eine Kombination der drei ÄÖ bzw. Wirkstoffe wesentlich weniger toxisch, so dass die Autoren zu dem Schluß kommen, dass bei einer Anwendung von 5 kg Produkt/ha keine Gefährdung für junge Lachse in nahen Fließgewässern besteht.

Nach den bisherigen Erkenntnissen kann man also davon ausgehen, dass die Anwendung ÄÖ im Pflanzenschutz zu keinen besonderen gesundheitlichen und umwelthygienischen Problemen führt.

Schlussfolgerungen

Die Zahl der wissenschaftlichen Publikationen über ÄÖ und das öffentliche Interesse an natürlichen Substanzen, vor allem aus Pflanzen, und ihr Einsatz auf verschiedenen Gebieten des Pflanzenschutzes ist, international betrachtet, in den letzten Jahren stark gestiegen. Dies trifft in besonderem Maße für ÄÖ zu, die bisher aber in Deutschland und anderen europäischen Nachbarländern nur eine marginale Rolle spielen. Dabei ist die Wirkung dieser Pflanzenstoffe gegenüber mikrobiellen oder tierischen Schaderregern äußerst effektiv und nicht selten vergleichbar mit der von synthetischen, chemischen Pflanzenschutzmitteln. Bei der vorgelegten Übersicht fällt auf, dass es häufig dieselben Pflanzenöle und deren Hauptwirkstoffe sind, die gegen Bakterien, Pilze, Schädlinge, Nematoden und gegen Unkräuter eingesetzt wurden und eine hohe Effektivität zeigten. Zu diesen gehören vor allem die ÄÖ oder deren Hauptkomponenten aus Gewürznelke (Eugenol), Thymian und Origanum-Arten (Thymol, Carvacrol), Pfefferminze-Arten (Menthol), Zimt (Zimtaldehyd) oder Zitronengras (Citral, Myrcen). Dies zeigt eine starke Breitenwirkung (z.B. KORDALI et al., 2008),

was auch als Nachteil angesehen werden kann, da keine oder nur eine geringe Selektivität besteht. Bei den veröffentlichten Untersuchungen fällt weiter auf, dass häufig nur *in vitro* Tests durchgeführt wurden, und dass eine Anwendung unter Praxisbedingungen oft noch fehlt. Dies ist aber Voraussetzung für eine Kommerzialisierung entsprechender Produkte. Hinzu kommen auch andere Aspekte (ISMAN, 2000, 2006; TRIPATHI et al., 2009):

1. Begrenzte Verfügbarkeit der Aromapflanzen in der Natur
2. Notwendigkeit einer chemischen Standardisierung und Qualitätskontrolle
3. Zulassungsfragen
4. Formulierung

Die Gewinnung ÄÖ aus Pflanzen in der Natur könnte durch einen verstärkten Anbau von Aromapflanzen aber auch durch Synthese der Hauptkomponenten oder entsprechend abgewandelter chemischer Derivate, wie bei Pyrethrum und den Pyrethroiden, optimiert werden. Da ätherische Öle aus einer Vielzahl von Einzelsubstanzen bestehen, die je nach Pflanzenart und Standort variieren können (z.B. ISMAN et al., 2008), ist eine Standardisierung und Qualitätskontrolle entsprechender Produkte unerlässlich. Bezüglich einer Zulassung ist festzustellen, dass viele ÄÖ, wie bereits erwähnt, im kosmetisch-pharmazeutischen und medizinischen Bereich eingesetzt werden und entsprechend getestet wurden. Sie gelten gemeinhin als mindertoxisch, verursachen durch ihre Flüchtigkeit keine Rückstände und werden auch im Boden rasch abgebaut, so dass eine Kontaminierung des Grundwassers ausgeschlossen ist. Allerdings ist die Frage der Nebenwirkung auf Nichtzielorganismen, wie Bienen, Regenwürmer oder Nützlinge, bisher nicht ausreichend untersucht.

Zur Standardisierung und Qualitätskontrolle von Produkten auf der Basis ÄÖ gehört auch die Entwicklung geeigneter Formulierungen. Dies hat man in den letzten Jahren verstärkt erkannt (RIEFLER et al., 2009; TRIPATHI et al., 2009). Die leichte Flüchtigkeit ÄÖ hat den Vorteil einer raschen Wirkung und geringen Persistenz und damit Umweltbelastung und könnte z.B. im Gewächshaus positiv ausgenutzt werden. Auf der anderen Seite sind aber in bestimmten Pflanzenschutzbereichen, wie z.B. beim Einsatz gegen Vorratsschädlinge, eine höhere Umweltstabilität und eine längere Wirkungsdauer gefragt, was besondere Formulierungen erforderlich macht. So stellten NDOMO et al. (2008) fest, dass das ÄÖ aus dem Pferdeholzbaum *Clausena anisata* (Rutaceae) wesentlich besser gegen den Speisebohnenkäfer *Acanthoscelides obtectus* wirkte, wenn es mit Ton vermischt wurde. In Freilandversuchen an Tomaten in den USA gegen Thripse (*Frankliniella* spp.), die als Vektoren für das Tomato spotted wilt virus gelten, wurden die ÄÖ-Komponente Geraniol sowie Zitronengrasöl (*C. flexuosus*) und Teebaumöl (*M. alternifolii*) ohne und mit Zusatz von Kaolin eingesetzt (REITZ et al., 2008). Die Kaolinformulierung reduzierte den Virusbefall an Tomatenpflanzen in zwei Versuchsjahren um 32–51% bzw. 6–25%, wobei die Wirkung von Teebaumöl

plus Kaolin vergleichbar mit der einer Insektizid-Behandlung war und zu einer Ertragssteigerung um 26% verglichen mit dem reinen ÄÖ ohne Kaolin-Zusatz führte. Wie wichtig die Formulierung ÄÖ gerade beim Einsatz im Freiland ist, zeigten auch Versuche von DAGOSTIN et al. (2010) mit einem Extrakt aus *Salvia officinalis* gegen *Plasmopara viticola* an Wein. Während im ersten Versuchsjahr eine Befallsreduktion von 94% und von 63% bei starkem Befallsdruck erzielt wurde, betrug die Wirkung im Folgejahr weniger als 30%. Nach Ansicht der Autoren war der Grund eine lange Regenperiode zwischen den beiden Behandlungen und die schlechte Regenstabilität des Salbeiextraktes. Ein neuer Ansatz zur Formulierung und Stabilisierung ÄÖ ist die Verwendung von Cyclodextrinen. Hierbei handelt es sich um ringförmige Abbauprodukte von Stärke, in deren Hohlräumen sich ÄÖ einlagern lassen. Über eine Mikroverkapselung von Zimt- und Knoblauchöl in β -Cyclodextrin wurde von AYALAZAVALA et al. (2008) und von Thymianöl von DEL TORO-SÁNCHEZ et al. (2010) berichtet. Dies führte zu einer Reduktion der Flüchtigkeit und einer kontrollierten Abgabe des ÄÖ aus den Kapseln (controlled release). Eine aktuelle Übersicht über die sogenannte Cyclodextrin-Verkapselung von ÄÖ wurde kürzlich von MARQUES (2010) publiziert.

Ein gewisser Risikofaktor bei der Anwendung ätherischer Öle oder ihrer Wirkstoffe ist ihre bereits oben erwähnte relativ hohe Phytotoxizität (z.B. CLOYD et al., 2009). Dies könnte durch eine Verringerung der Anwendungskonzentration, durch Ausnutzung synergistischer Effekte oder auch durch den Einsatz synthetischer Derivate einzelner Komponenten mit geringerer Phytotoxizität gelöst werden (LEE et al., 1997; RIEFLER et al., 2009).

Auf Grund der bisherigen Ergebnisse sind folgende, zukünftige Einsatzbereiche im Pflanzenschutz denkbar: Haus- und Kleingarten, Saatgut- und Bodendesinfektion, Gewächshaus, Vorratsschutz sowie Nachernteschutz bei Obst und Gemüse. Offenbar sind Resistenzen gegen ÄÖ bisher nicht bekannt, so dass sie auch als interessante Alternativen im Rahmen eines Resistenzmanagements fungieren könnten. Die fehlende Patentierbarkeit von ÄÖ oder deren Hauptkomponenten und die damit verbundene Gefahr der Herstellung von Nachahmerprodukten könnte allerdings manche Firma von einer Produktentwicklung abhalten. In diesem Fall bieten sich vielleicht die wirksamsten Inhaltsstoffe mancher ÄÖ als Leitstruktur zur Herstellung neuer, effektiver Derivate an.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ÄÖ auf Grund ihrer Effektivität und der relativ geringen Gefährdung für Mensch und Umwelt in manchen Bereichen des Pflanzenschutzes zukünftig eine interessante Alternative oder Ergänzung zu herkömmlichen, synthetischen Pflanzenschutzmitteln darstellen könnten.

Danksagung

Für die Durchsicht des Manuskripts und wertvolle Korrekturvorschläge danke ich Frau Dr. A. SCHMITT und Herrn Dr. E. KOCH, beide Julius Kühn-Institut Darmstadt.

Literatur

- ABDELGALEIL, S.A.M., M.E.I. BADAWY, 2006: Acaricidal and molluscicidal potential of three essential oils isolated from Egyptian plants. *J. Pest Cont. & Environm. Sci.* **14**, 35-46.
- ABDEL-KADER, M.M., N.S. EL-MOUGY, S.M. LASHIN, 2011: Essential oils and *Trichoderma harzianum* as an integrated control measure against Faba bean root rot pathogens. *J. Plant Prot. Res.* **51**, 306-313.
- ABDOLAH, A., A. HASSANI, Y. GHOSTA, T. JAVADI, M.H. MESHKATALSADAT, 2010: Essential oils as control agents of postharvest *Alternaria* and *Penicillium* rots on tomato fruits. *J. Food Safety* **30**, 341-352.
- ADORJAN, B., G. BUCHBAUER, 2010: Biological properties of essential oils: an updated review. *Flavour and Fragrance J.* **25**, 407-426.
- ANASTASIADIS, I., A.C. KIMBARIS, M. KORMPI, M.G. POLISSIOU, E. KARANASTASI, 2011: The effect of a garlic essential oil component and entomopathogenic nematodes on the suppression of *Meloidogyne javanica* on tomato. *Hellenic Plant Prot. J.* **4**, 21-24.
- ANTUNES, M.D.C., A.M. CAVACO, 2010: The use of essential oils for postharvest decay control. A review. *Flavour and Fragrance J.* **25**, 351-366.
- ARSLAN, M., S. DERVIS, 2010: Antifungal activity of essential oils against three vegetative-compatibility groups of *Verticillium dahliae*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* **26**, 1813-1821.
- ASLAN, I., Ö. CALMASUR, F. SAHIN, Ö. CAGLAR, 2005: Insecticidal effects of essential plant oils against *Ephestia kuehniella* (Zell.), *Lasioderma serricorne* (F.) and *Sitophilus granarius* (L.). *J. Plant Dis. Prot.* **112**, 257-267.
- AYALA-ZAVALA, J.F., H. SOTO-VALDEZ, A. GONZALES-LEON, E. ALVAREZ-PARRILLA, O. MARTIN-BELLOSO, G.A. GONZALEZ-AGUILAR, 2008: Microencapsulation of cinnamon leaf (*Cinnamomum zeylanicum*) and garlic (*Allium sativum*) oils in β -cyclodextrin. *J. Inclusion Phenom. Macrocylic Chem.* **60**, 359-368.
- BACHROUCH, O., J.M.B. JEMAA, A.W. WISSEM, T. TALOU, B. MARZOUK, M. ABDERRABA, 2010: Composition and insecticidal activity of essential oil from *Pistacia lentiscus* L. against *Ectomyelois ceratoniae* Zeller and *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Stored Prod. Res.* **46**, 242-247.
- BAINARD, L.D., M.B. ISMAN, M.K. UPADHYAYA, 2006: Phytotoxicity of clove oil and its primary constituent eugenol and the role of leaf epicuticular wax in the susceptibility to these essential oils. *Weed Science* **54**, 833-837.
- BAKKALI, F., S. AVERBECK, D. AVERBECK, M. IDAOMAR, 2008: Biological effects of essential oils – A review. *Food Chem. Toxicol.* **46**, 446-475.
- BARRERA-NECHA, L.L., C. GARDUNO-PIZANA, L.J. GARCIA-BARRERA, 2009: In vitro antifungal activity of essential oils and their compounds on mycelial growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* (Massey) Snyder and Hansen. *Plant Pathol J.* **8**, 17-21.
- BASER, K.H., 2008: Biological and pharmacological activities of carvacrol and carvacrol bearing essential oils. *Curr. Pharm. Des.* **14**, 3106-3119.
- BASIM, E., H. BASIM, 2004: Evaluation of antibacterial activity of essential oil of *Rosa damascena* on *Erwinia amylovora*. *Phytoparasitica* **32**, 409-412.
- BATISH, D.R., H.P. SINGH, R.K. KOHLI, S. KAUR, 2008: Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management* **256**, 2166-2174.
- BENKEBLIA, N., 2004: Antimicrobial activity of essential oil extracts of various onions (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*). *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie/LTW Food Science and Technol.* **37**, 263-268.
- BESTMANN, H.J., B. CLASSEN, U. KOBOLD, O. VOSTROWSKY, F. KLINGAUF, H. STROBEL, K. KNOBLOCH, 1984: Pflanzliche Insektizide II (1). Das ätherische Öl aus Blättern des Balsamkrautes, *Chrysanthemum balsamita* L. Insektizide Wirkung und Zusammensetzung. *Z. Naturforsch.* **39c**, 543-547.
- BESTMANN, H.J., B. CLASSEN, O. VOSTROWSKY, F. KLINGAUF, U. STEIN, 1988: Pflanzliche Insektizide VIII: Die synergistische Wirkung von (-)-Carvon und Pyrethrin I im ätherischen Öl von *Chrysanthemum balsamita* L. *J. Appl. Ent.* **106**, 144-149.
- BLUMA, R., M.R. AMAIDEN, J. DAGHERO, M. ETCHEVERRY, 2008: Control of *Aspergillus* section *Flavi* growth and aflatoxin accumulation by plant essential oils. *J. Appl. Microbiol.* **105**, 203-214.
- BOYD, N.S., E.B. BRENNAN, 2006: Burning nettle, common purslane and rye response to a clove oil herbicide. *Weed Techn.* **20**, 646-650.
- BOWERS, J.H., J.C. LOCKE, 2004: Effect of formulated plant extracts and oils on population density of *Phytophthora nicotianae* in soil and control of *Phytophthora* blight in the greenhouse. *Plant Disease* **88**, 11-16.
- BURDOCK, G.A., I.G. CARABIN, 2009: Safety assessment of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil as a food ingredient. *Food Chem. Toxicol.* **47**, 22-34.
- BURT, S., 2004: Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *Int. J. Food Microbiol.* **94**, 223-253.
- ÇALMAŞUR, Ö., I. ASLAN, F. ŞAHİN, 2006: Insecticidal and acaricidal effect of three Lamiaceae plant essential oils against *Tetranychus urticae* Koch and *Bemisia tabaci* Genn. *Industrial Crops and Products* **23**, 140-146.
- CHOI, W.I.; E.H. Lee, B.R. CHOI, H.M. PARK, Y.J. AHN, 2003: Toxicity of plant essential oils to *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *J. Econ. Entomol.* **96**, 1479-1484.
- CHOI, W.I., S.G. LEE, H.M. PARK, Y.J. AHN, 2004: Toxicity of plant essential oils to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *J. Econ. Entomol.* **97**, 553-558.
- CLOYD, R.A., C.L. GALLE, S.R. KEITH, N.A. KALSCHUR, K.E. KEMP, 2009: Effect of commercially available plant-derived essential oil products on arthropod pests. *J. Econ. Entomol.* **102**, 1567-1579.
- COPPING, L.G., S.O. DUKE, 2007: Natural products that have been used commercially as crop protection agents. *Pest Manag. Sc.* **63**, 524-554.
- DAFERERA, D.J., B.N. ZIOGAS, M.G. POLISSIOU, 2003: The effectiveness of plant essential oils on the growth of *Botrytis cinerea*, *Fusarium* sp. and *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. *Crop Protection* **22**, 39-44.
- DAGOSTIN, S., T. FORMOLO, O. GIOVANNINI, I. PERTOT, A. SCHMITT, 2010: *Salvia officinalis* extract can protect grapevine against *Plasmopara viticola*. *Plant Disease* **94**, 575-580.
- DAYAN, F.E., C.L. CANTRELL, S.O. DUKE, 2009: Natural products in crop protection. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* **17**, 4022-4034.
- DEL TORO-SÁNCHEZ, C.L., J.F. AYALA-ZAVALA, L. MACHI, H. SANTACRUZ, M.A. VILLEGAS-OSCHOS, E. ALVAREZ-PARRILLA, G.A. GONZÁLES-AGUILAR, 2010: Controlled release of antifungal volatiles of thyme essential oil from β -cyclodextrin capsules. *J. Inclusion Phenom. Macrocylic Chem.* **67**, 431-441.
- DIBS, S., F. KLINGAUF, 1983: Laborversuche zur Wirkung des Wehrauchs auf einige Vorratsschädlinge. *Z. angew. Entomol.* **96**, 448-451.
- DHIMA, K., I. VASILAKOGLU, V. GARANE, C. RITZOULIS, V. LIANOPOULOU, E. PANOU-PHILOTHEOU, 2010: Competitiveness and essential oil phytotoxicity of seven annual aromatic plants. *Weed Science* **58**, 457-465.
- DORMAN, H.J.D., S.G. DEANS, 2000: Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *J. Appl. Microbiol.* **88**, 308-316.
- DUDAI, N., A. POLJAKOFF-MAYBER, A.M. MAYER, E. PUTIEVSKY, H.R. LERNER, 1999: Essential oils as allelochemicals and their potential use as bioherbicides. *J. Chem. Ecol.* **25**, 1079-1089.
- DUKE, S.O., C.L. CANTRELL, K.M. MEEPEGALA, D.E. WEDGE, N. TABANCA, K.K. SCHRADER, 2010: Natural toxins for use in pest management. *Toxins* **2**, 1943-1962.
- EBADOLLAHI, A., M.H. SAFARALIZADEH, A.A. POURMIRZA, S.A. GHEIBI, 2010: Toxicity of essential oil of *Agastache foeniculum* (Pursh) Kuntze to *Oryzaephilus surinamensis* L. and *Lasioderma serricorne* F. *J. Plant Protection Res.* **50**, 215-219.
- ECHEVERRIGARAY, S., J. ZACARIA, R. BELTRÃO, 2010: Nematicidal activity of monoterpenoids against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Phytopathology* **100**, 199-203.
- ELGAYYAR, M., F.A. DRAUGHON, D.A. GOLDEN, J.R. MOUNT, 2001: Antimicrobial activity of essential oils from plants against selected pathogenic and saprophytic microorganisms. *J. Food Protection* **64**, 1019-1024.
- EL-HOSARY, R.A., 2011: Evaluation of some essential oils against *Sesamia cretica* Led. under field conditions. *J. Amer. Science* **7**, 563-568.
- EL-KAMALI, H.H., R.O. EL-NOUR, S.A. KHALID, 2010: Molluscicidal activity of the essential oils of *Cymbopogon nervatus* leaves and *Boswellia papyrifera* resins. *Current Res. J. Biol. Sci.* **2**, 139-142.
- ERLER, F., I. TUNÇ, 2005: Monoterpenoids as fumigants against greenhouse pests: toxic, development and reproduction-inhibiting effects. *J. Plant Dis. Protection* **112**, 181-192.
- FANDOCHAN, P., B. GNONLONFIN, A. LALEYE, J.D. GBENOU, R. DARBOUX, M. MOUDACHIROU, 2008: Toxicity and gastric tolerance of essential oils from *Cymbopogon citratus*, *Ocimum gratissimum* and *Ocimum basilicum* in Wistar rats. *Food Chem. Toxicol.* **46**, 2493-2497.
- FRIEDMAN, M., P.R. HENIKA, R.E. MANDRELL, 2002: Bactericidal activities of plant essential oils and some of their isolated constituents against *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella enterica*. *J. Food Protection* **65**, 1545-1560.
- FURUKAWA, H., S. ZENNO, Y. IWASAWA, H. MORITA, T. YOSHIDA, T. NAGASAWA, 2003: Ferulic acid production from clove oil by *Pseudomonas fluorescens* E118. *J. Biosci. Bioeng.* **96**, 404-405.
- HAMMOND, J.A., D. FIELDING, H. NURU, 1994: Eucalyptus: A sustainable self-delivery molluscicide? *Vet. Res. Comm.* **18**, 359-365.

- HAN, J., B.R. CHOI, S.G. LEE, S.I. KIM, Y.J. AHN, 2010: Toxicity of plant essential oils to acaricide-susceptible and -resistant *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *J. Econ. Entomol.* **103**, 1293-1298.
- HO, S.H., L. KOH, Y. MA, Y. HUANG, K.Y. SIM, 1996: The oil of garlic, *Allium sativum* L. (Amaryllidaceae), as a potential grain protectant against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus zeamais* Motsch. *Postharvest Biol. Technol.* **9**, 41-48.
- HOVIUS, M.H.Y., M.R. McDONALD, 2002: Management of *Allium* white rot (*Sclerotium cepivorum*) in onions on organic soil with soil-applied diallyl disulfide and di-N-propyl disulfide. *Can. J. Plant Path.* **24**, 281-286.
- HUANG, Y., S.H. HO, H.C. LEE, Y.L. YAP, 2002: Insecticidal properties of eugenol, isoeugenol and methyleugenol and their effects on nutrition of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Stored Prod. Res.* **38**, 403-412.
- HUMMELBRUNNER, L.A., M.B. ISMAN, 2001: Acute, sublethal, antifeedant, and synergistic effects of monoterpenoid essential oil compounds on the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lep., Noctuidae). *J. Agric. Food Chem.* **49**, 715-720.
- ISMAN, M.B., 2000: Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection* **19**, 603-608.
- ISMAN, M.B., 2006: Botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Ann. Rev. Entomol.* **51**, 45-66.
- ISMAN, M.B., A.J. WAN, C.M. PASSREITER, 2001: Insecticidal activity of essential oils to the tobacco cutworm, *Spodoptera litura*. *Fito-terapia* **72**, 65-68.
- ISMAN, M.B., J.A. WILSON, R. BRADBURY, 2008: Insecticidal activities of commercial rosemary oils (*Rosmarinus officinalis*) against larvae of *Pseudaletia unipunctata* and *Trichoplusia ni* in relation to their chemical compositions. *Pharmaceutical Biology* **46**, 82-87.
- Ji, P., M.T. MOMOL, S.M. OLSON, P.M. PRADHANANG, J.B. JONES, 2005: Evaluation of thymol as biofumigant for control of bacterial wilt of tomato under field conditions. *Plant Disease* **89**, 497-500.
- KATOOLI, N., R. MAGHSODIO, S.E. RAZAVI, 2011: Evaluation of eucalyptus essential oil against some plant pathogenic fungi. *J. Plant Breeding Crop Sci.* **3**, 41-43.
- KHALLOUKI, F., M. HMAMOUCHI, C. YOUNOS, R. SOULIMANI, J.M. BESSIERE, E.M. ESSASSI, 2000: Antibacterial and molluscicidal activities of the essential oil of *Chrysanthemum viscidiflorum*. *Fito-terapia* **71**, 544-546.
- KIM, S.I., C. PARK, M.H. OHH, H.C. CHO, Y.J. AHN, 2003a: Contact and fumigant activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). *J. Stored Prod. Res.* **39**, 11-19.
- KIM, S.I., J.Y. ROH, D.H. KIM, H.S. LEE, Y.J. AHN, 2003b: Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. *J. Stored Prod. Res.* **39**, 293-303.
- KLINGAUF, F., H.J. BESTMANN, O. VOSTROWSKY, K. MICHAELIS, 1983: Wirkung von ätherischen Ölen auf Schadinsekten. *Mitt. Deutsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* **4**, 123-126.
- KOCH, E., A. SCHMITT, D. STEPHAN, C. KROMPHARDT, M. JAHN, H.J. KRAUTHAUSEN, G. FORSBERG, S. WERNER, T. AMEIN, S.A.I. WRIGHT, F. TINIVELLA, M.L. GULLINO, S.J. ROBERTS, J. VAN DER WOLF, S.P.C. GROOT, 2010: Evaluation of non-chemical seed treatment methods for the control of *Alternaria dauci* and *A. radicina* on carrot seeds. *Eur. J. Plant. Pathol.* **127**, 99-112.
- KONG, J.O., S.M. LEE, Y.S. MOON, S.G. LEE, Y.J. AHN, 2007: Nematicidal activity of Cassia and Cinnamon oil compounds and related compounds toward *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Parasitaphelenchidae). *J. Nematol.* **39**, 31-36.
- KORDALI, S., A. CAKIR, H. ÖZER, R. CAKMAKCI, M. KESDEK, E. METE, 2008: Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acutidens* and its three components, carvacrol, thymol and p-cymene. *Biores. Technol.* **99**, 8788-8795.
- KOSCHIER, E.H., 2008: Essential oil compounds for thrips control - A review. *Nat. Prod. Commun.* **3**, 1171-1182.
- KOTAN, R., A. CAKIR, F. DADASOGLU, T. AYDIN, R. CAKMAKCI, H. ÖZER, S. KORDALI, E. METE, N. DIKBAS, 2010: Antibacterial activities of essential oils and extracts of Turkish *Achillea*, *Satureja* and *Thymus* species against plant pathogenic bacteria. *J. Sci. Food Agric.* **90**, 145-160.
- KRISHNA KISHORE, G., S. PANDE, S. HARISH, 2007: Evaluation of essential oils and their components for broad-spectrum antifungal activity and control of late leaf spot and crown rot diseases in peanut. *Plant Disease* **91**, 375-379.
- KUMAR, P., S. MISHRA, A. MALIK, S. SATYA, 2011: Insecticidal properties of *Mentha* species: A review. *Industrial Crops Prod.* **34**, 802-817.
- LAHLOU, M., 2003: Composition and molluscicidal properties of essential oils of five moroccan Pinaceae. *Pharmaceutical Biology* **41**, 207-210.
- LEE, S.K., R. TSAO, C. PETERSON, J.R. COATS, 1997: Insecticidal activity of monoterpenoids to western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae), twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae), and house fly (Diptera: Muscidae). *J. Econ. Entomol.* **90**, 883-892.
- LEE, H.C., S.S. CHENG, S.T. CHANG, 2005: Antifungal properties of the essential oils and their constituents from *Cinnamomum osmophloeum* leaf against tree pathogenic fungi. *J. Science Food Agric.* **85**, 2047-2053.
- LINDBERG, C.M., A.P. MELATHOPOULOS, M.L. WINSTON, 2000: Laboratory evaluation of miticides to control *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae), a honey bee (Hymenoptera: Apidae) parasite. *J. Econ. Entomol.* **93**, 189-198.
- LIU, Z.L., S.S. CHU, G.H. JIANG, 2011: Insecticidal activity and composition of essential oil of *Ostericum sieboldii* (Apiaceae) against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*. *Rec. Nat. Prod.* **5**, 74-81.
- MAHDI, S.K., J. SASAN, K. SARA, 2011: Contact toxicities of oxygenated monoterpenes to different populations of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Plant Prot. Res.* **51**, 225-233.
- MARQUES, H.M.C., 2010: A review on cyclodextrin encapsulation of essential oils and volatiles. *Flavour and Fragrance J.* **25**, 313-326.
- MCLEAN, K.L., G.E. HARPER, C.M. FRAMPTON, A. STEWART, 2005: Dormancy of *Sclerotium cepivorum* sclerotia in New Zealand. *New Zealand Plant Prot.* **58**, 245-250.
- MIRESMAILLI, S., M.B. ISMAN, 2006: Efficacy and persistence of rosemary oil as an acaricide against twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on greenhouse tomato. *J. Econ. Entomol.* **99**, 2015-2023.
- MIRESMAILLI, S., R. BRADBURY, B. MURRAY, 2006: Comparative toxicity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil and blends of its major constituents against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on two different host plants. *Pest Managem. Sci.* **62**, 366-371.
- MISHRA, A.K., N.K. DUBEY, 1994: Evaluation of some essential oils for their toxicity against fungi causing deterioration of stored food commodities. *Appl. Environ. Microbiol.* **60**, 1101-1105.
- MONTES-BELMONT, R., M. CARVAJAL, 1998: Control of *Aspergillus flavus* in maize with plant essential oils and their components. *J. Food Protection* **61**, 616-619.
- MOSSI, A.J., V. ASTOLFI, G. KUBIAK, L. LERIN, C. ZANELLA, G. TONIAZZO, D. DE OLIVEIRA, H. TREICHEL, I.A. DEVILLA, R. CANSIAN, R. RESTELLO, 2011: Insecticidal and repellency activity of the essential oil of *Eucalyptus* sp. against *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera, Curculionidae). *J. Science Food Agric.* **91**, 273-277.
- NESCI, A., A. MONTEMARANI, M.A. PASSONE, M. ETCHEVERRY, 2011: Insecticidal activity of synthetic antioxidants, natural phytochemicals, and essential oils against an *Aspergillus* section *Flavi* vector (*Oryzaephilus surinamensis* L.) in microcosm. *J. Pest Sci.* **84**, 107-115.
- NDOMO, A.F., L.T. NGAMO, L.A. TAPONDJOU, F.M. TCHOUANGUEP, T. HANCE, 2008: Insecticidal effects of the powdery formulation based on clay and essential oil from the leaves of *Clausena anisata* (Willd.) J. D. Hook ex. Benth. (Rutaceae) against *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *J. Pest Science* **81**, 227-234.
- NGUYEN, V.N., D.M.C. NGUYEN, D.J. SEO, R.D. PARK, W.J. JUNG, 2009: Antimycotic activities of Cinnamon-derived compounds against *Rhizoctonia solani* in vitro. *BioControl* **54**, 697-707.
- OJIMELUKWE, P.C., C. ADLER, 1999: Potential of zimaldehyde, 4-allyl-anisol, linalool, terpineol and other phytochemicals for the control of the confused flour beetle (*Tribolium confusum* J. d. V.) (Col., Tenebrionidae). *Anzeiger für Schädlingskde./J. Pest Science* **72**, 81-86.
- OKA, Y., S. NACAR, E. PUTIEVSKY, U. RAVID, Z. YANIV, Y. SPIEGEL, 2000: Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode. *Phytopathology* **90**, 710-715.
- OXENHAM, S.K., K.P. SVOBODA, D.R. WALTERS, 2005: Antifungal activity of the essential oil of basil (*Ocimum basilicum*). *J. Phytopathol.* **153**, 174-180.
- PAPACHRISTOS, D.P., D.C. STAMOPOULOS, 2002: Repellent, toxic and reproduction inhibitory effects of essential oil vapours on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.* **38**, 117-128.
- PARET, M.L., R. CABOS, B.A. KRATKY, A.M. ALVAREZ, 2010: Effect of plant essential oils on *Ralstonia solanacearum* race 4 and bacterial wilt of edible ginger. *Plant Disease* **94**, 521-527.
- PARK, I.K., J.Y. PARK, K.H. KIM, K.S. CHOI, I.H. CHOI, C.S. KIM, S.C. SHIN, 2005: Nematicidal activity of plant essential oils and components from garlic (*Allium sativum*) and cinnamon (*Cinnamomum verum*) oils against the pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). *Nematology* **7**, 767-774.

- PARK, I.K., S.C. SHIN, 2005: Fumigant activity of plant essential oils and components from garlic (*Allium sativum*) and clove bud (*Eugenia caryophyllata*) oils against the Japanese termite (*Reticulitermes speratus* Kolbe). *J. Agric. Food Chem.* **53**, 4388-4392.
- PATIL, R.P., M.S. NIMBALKAR, U.U. JADHAV, V.V. DAWKAR, S.P. GOVINDWAR, 2010: Antiaflatoxigenic and antioxidant activity of an essential oil from *Ageratum conyzoides* L. *J. Sci. Food Agric.* **90**, 608-614.
- PAVELA, R., 2011: Insecticidal and repellent activity of selected essential oils against of the pollen beetle, *Meligethes aeneus* (Fabricius) adults. *Industrial Crops Prod.* **34**, 888-892.
- PEIGHANMI-ASHNAEI, S., M. FARZANEH, A. SHARIFI-TEHRANI, K. BEHBOUDI, 2009: Effect of essential oils in control of plant diseases. *Comm. Agric. Appl. Biol. Sci.* **74**, 843-847.
- PENEDER, S., E.H. KOSCHIER, 2011: Toxic and behavioural effects of carvacrol and thymol on *Frankliniella occidentalis* larvae. *J. Plant Diseases Prot.* **118**, 26-30.
- PÉREZ, E.E., E.E. LEWIS, 2006: Use of entomopathogenic nematodes and thyme oil to suppress plant-parasitic nematodes on English boxwood. *Plant Disease* **90**, 471-475.
- PHILLIPS, A.K., A.G. APPEL, 2010: Fumigant toxicity of essential oils to the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). *J. Econ. Entomol.* **103**, 781-790.
- PHILLIPS, A.K., A.G. APPEL, S.R. SIMS, 2010: Topical toxicity of essential oils to the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). *J. Econ. Entomol.* **103**, 448-459.
- PINTO, E., L.Vale-Silva, C. CAVALEIRO, L. SALGUEIRO, 2009: Antifungal activity of the clove essential oil from *Syzygium aromaticum* on *Candida*, *Aspergillus* and dermatophyte species. *J. Med. Microbiol.* **58**, 1454-1462.
- PORTZ, D., E. KOCH, A.J. SLUSARENKO, 2008: Effects of garlic (*Allium sativum*) juice containing alliin on *Phytophthora infestans* and downy mildew of cucumber caused by *Pseudoperonospora cubensis*. *Eur. J. Plant Pathol.* **122**, 197-206.
- RABENHORST, J., 1996: Production of methoxyphenol-type natural aroma chemicals by biotransformation of eugenol with a new *Pseudomonas* sp. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **46**, 470-474.
- RAJENDRAN, S., V. SRIRANJINI, 2008: Plant products as fumigants for stored-product insect control. *J. Stored Prod. Res.* **44**, 126-135.
- RANGER, C.M., M.E. REDING, J.B. OLIVER, J.J. MOYSEENKO, N.N. YOUSSEF, 2009: Toxicity of botanical formulations to nursery-infesting white grubs (Coleoptera: Scarabaeidae). *J. Econ. Entomol.* **102**, 304-308.
- REGNAULT-ROGER, C., 1997: The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integrated Pest Managem. Reviews* **2**, 25-34.
- REITZ, S.R., G. MAIORINO, S. OLSON, R. SPRENKEL, A. CRESCENZI, M.T. MOMOL, 2008: Integrating plant essential oils and kaolin for the sustainable management of thrips and tomato spotted wilt on tomato. *Plant Disease* **92**, 878-886.
- RIEFLER, J., E.H. KOSCHIER, 2009: Behaviour-modifying activity of eugenol on *Thrips tabaci* Lindeman. *J. Pest Science* **82**, 115-121.
- RIEFLER, J., J. NOVAK, E.H. KOSCHIER, 2009: Komponenten ätherischer Öle im Pflanzenschutz. *Z. Arznei- & Gewürzpflanzen* **14**, 70-76.
- SANGWAN, N.K., B.S. VERMA, K.K. VERMA, K.S. DHINDSA, 1990: Nematicidal activity of some plant essential oils. *Pestic. Sci.* **28**, 331-335.
- SCHMUTTERER, H., J. HUBER, 2005: Natürliche Schädlingsbekämpfungsmittel. Stuttgart, E. Ulmer, 263 S.
- SCOTT, I.M., N. GAGNON, L. LESAGE, B.J.R. PHILOGÈNE, J.T. ARNASON, 2005: Efficacy of botanical insecticides from *Piper* species (Piperaceae) extracts for control of European chafer (Coleoptera: Scarabaeidae). *J. Econ. Entomol.* **98**, 845-855.
- SCOTT, I.M., H.R. JENSEN, B.J.R. PHILOGÈNE, J.T. ARNASON, 2008: A review of *Piper* spp. (Piperaceae) phytochemistry, insecticidal activity and mode of action. *Phytochemistry Reviews* **7**, 65-75.
- SEDY, K.A., E.H. KOSCHIER, 2003: Bioactivity of carvacrol and thymol against *Frankliniella occidentalis* and *Thrips tabaci*. *J. Appl. Entomol.* **127**, 313-316.
- SHAAYA, E., M. KOSTJUKOVSKI, J. EILBERG, C. SUKPRAKARN, 1997: Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. *J. Stored Prod. Res.* **33**, 7-15.
- SILVA, F., S. FERREIRA, J.A. QUEIROZ, F.C. DOMINGUES, 2011: Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: its antibacterial activity and mode of action evaluated by flow cytometry. *J. Med. Microbiol.* **60**, 1479-1486.
- SINGH, P., A. KUMAR, N.K. DUBEY, R. GUPTA, 2009: Essential oil of *Aegle marmelos* as a safe plant-based antimicrobial against postharvest microbial infestations and aflatoxin contamination of food commodities. *J. Food Sci.* **74**, M 302- M 307.
- SLUSARENKO, A.J., A. PATEL, D. PORTZ, 2008: Control of plant diseases by natural products: Alliin from garlic as a case study. *Eur. J. Plant Pathol.* **121**, 313-322.
- SOLIMAN, K.M., R.I. BADEAA, 2002: Effect of oil extracted from some medicinal plants on different mycotoxigenic fungi. *Food Chem. Toxicol.* **40**, 1669-1675.
- SOYLU, E.M., H. YIGITBAS, F.M. TOK, S. SOYLU, S. KURT, Ö. BAYSAL, A.D. KAYA, 2005: Chemical composition and antifungal activity of the essential oil of *Artemisia annua* L. against foliar and soil-borne fungal pathogens. *J. Plant Dis. Prot.* **112**, 229-239.
- SOYLU, E.M., S. SOYLU, S. KURT, 2006: Antimicrobial activities of the essential oils of various plants against tomato late blight disease agent *Phytophthora infestans*. *Mycopathologia* **161**, 119-128.
- SOYLU, S., H. YIGITBAS, E.M. SOYLU, S. KURT, 2007: Antifungal effects of essential oils from oregano and fennel on *Sclerotinia sclerotiorum*. *J. Appl. Microbiol.* **103**, 1021-1030.
- SOYLU, E.M., S. KURT, S. SOYLU, 2010: In vitro and in vivo antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent *Botrytis cinerea*. *Int. J. Food Microbiol.* **143**, 183-189.
- STEIN, W., 2005: Quassia-, Rotenon- und Knoblauchpräparate. In: SCHMUTTERER, H., J. HUBER 2005: Natürliche Schädlingsbekämpfungsmittel. Stuttgart, E. Ulmer, 159-170.
- STEIN, U., B. SAYAMPOL, F. KLINGAUF, H.J. BESTMANN, O. VOSTROWSKY, B. CLASSEN, 1988: Aphizide Wirkung ethanolischer Extrakte aus dem Heiligen Basilikum, *Ocimum sanctum*. *Entomol. Gener.* **13**, 229-237.
- STROH, J., M.T. WAN, M.B. ISMAN, D.J. MOUL, 1998: Evaluation of the acute toxicity to juvenile pacific coho salmon and rainbow trout of some plant essential oils, a formulated product, and the carrier. *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* **60**, 923-930.
- TRIPATHI, P., N.K. DUBEY, 2004: Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* **32**, 235-245.
- TRIPATHI, P., N.K. DUBEY, A.K. SHUKLA, 2008: Use of some essential oils as post-harvest botanical fungicides in the management of grey mould of grapes caused by *Botrytis cinerea*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* **24**, 39-46.
- TRIPATHI, A.K., S. UPADHYAY, M. BHUIYAN, P.R. BHATTACHARYA, 2009: A review on prospects of essential oils as biopesticide in insect-pest management. *J. Pharmacognosy Phytotherapy* **1**, 52-63.
- TRIPATHI, N.N., A.K. MISHRA, S. TRIPATHI, 2011: Antibacterial potential of plant volatile oils: A review. *Proceedings Nat. Acad. Sci. India. Sect. B-Biol. Sciences* **81**, 23-68.
- TUNÇ, W., F. ERLER, 2003: Repellency and repellent stability of essential oil constituents against *Tribolium confusum*. *J. Plant Diseases Prot.* **110**, 394-400.
- TWORKOSKI, T., 2002: Herbicide effects of essential oils. *Weed Science* **50**, 425-431.
- VELLUTI, A., V. SANCHIS, A.J. RAMOS, J. EGIDO, S. MARIN, 2003: Inhibitory effect of cinnamon, clove, lemongrass, oregano and palmarose essential oils on growth and fumonisin B₁ production by *Fusarium proliferatum* in maize grain. *Intern. J. Food Microbiol.* **89**, 145-154.
- WALIWIITIYA, R., M.B. ISMAN, R.S. VERNON, A. RISEMAN, 2005: Insecticidal activity of selected monoterpenoids and rosemary oil to *Agriotes obscurus* (Coleoptera: Elateridae). *J. Econ. Entomol.* **98**, 1560-1565.
- WILSON, C.L., J.M. SOLAR, A. EL GHAOUTH, M.E. WISNIEWSKI, 1997: Rapid evaluation of plant extracts and essential oils for antifungal activity against *Botrytis cinerea*. *Plant Disease* **81**, 204-210.
- YOUNG, S.L., 2004: Natural product herbicides for control of annual vegetation along roadsides. *Weed Techn.* **18**, 580-587.
- ZANELATO, M., E. MASCIARELLI, L. CASORRI, P. BOCCIA, E. STURCHIO, M. PEZZELLA, A. CAVALIERI, F. CAPORALI, 2009: The essential oils in agriculture as an alternative strategy to herbicides: a case study. *Intern. J. Environm. Health* **3**, 198-213.
- ZELLER, W., O. YEGEN, 2004: Biocontrol of fire blight with the etheric oil of *Thymbra spicata* – Bio Zell 2000-B/Aksebio 2. In: Intern. Workshop on Fire Blight, 5-9.7.2004, 74.
- ZHU, J.W., X.P. ZENG, Y. MA, T. LIU, K. QIAN, Y. HAN, S. XUE, B. TUCKER, G. SCHULTZ, J. COATS, W. ROWLEY, A. ZHANG, 2006: Adult repellency and larvicidal activity of five plant essential oils against mosquitoes. *J. American Mosquito Control Assoc.* **22**, 515-522.
- ZHU, J.W., X.P. ZENG, M. O'NEAL, G. SCHULTZ, B. TUCKER, J. COATS, L. BARTHOLOMAY, R.D. XUE, 2008: Mosquito larvicidal activity of botanical-based mosquito repellents. *J. American Mosquito Control Assoc.* **24**, 161-168.
- ZUZARTE, M., M.J. GONZALES, C. CAVALEIRO, J. CANHOTO, L. VALE-SILVA, M.J. SILVA, E. PINTO, L. SALGUEIRO, 2011: Chemical composition and antifungal activity of the essential oils of *Lavandula viridis* L'Hér. *J. Med. Microbiol.* **60**, 612-618.