

Kristin Schwabe¹, Antje Kunert², Udo Heimbach¹, Michael Zellner², Peter Baufeld³, Giselher Grabenweger⁴

Der Westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) – eine Gefahr für den europäischen Maisanbau

The Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) –
a danger to cultivation of corn in Europe

277

Zusammenfassung

Weltweit gesehen zählt der Westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte), der seit 2007 erstmalig im Süden Deutschlands aufgetreten ist, zu den wirtschaftlich bedeutendsten Maisschädlingen im intensiven Maisanbau. Er ist als Quarantäneschädling eingestuft und unterliegt entsprechenden Quarantänemaßnahmen (Meldepflicht, Ausrottungs- bzw. Eingrenzungsmaßnahmen). In den USA und Kanada verursacht er jährlich Schäden durch Ernteauffälle und Pflanzenschutzmaßnahmen von mehr als einer Milliarde US-Dollar. Vor dem Hintergrund zunehmender Einschleppungen und der Etablierung der *Diabrotica*-Populationen in Deutschland werden zunehmend wirksame Maßnahmen benötigt, die eine weitere Ausbreitung verhindern und den Maisanbau in den betroffenen Gebieten weiterhin ermöglichen. Vorbeugende, ackerbauliche Maßnahmen, der Einsatz von chemischen Parametern wie insektizide Granulate zur Saat, Saatgutbeizen und Insektizidspritzungen, die biologische Regulierung von *Diabrotica* sowie Züchtungsfortschritte sind mögliche Wege, dem Maiswurzelbohrer hierzulande Einhalt zu gebieten. 2008 wurde dazu ein umfangreiches Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Ernährung,

Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV, Federführung JKI) in Absprache und in Co-Finanzierung mit dem Freistaat Bayern (Federführung LfL Bayern) ausgearbeitet, welches zum Ziel hat, vertiefende Kenntnisse zur nachhaltigen Bekämpfung von *Diabrotica* zu gewinnen und wissenschaftliche Empfehlungen hinsichtlich erforderlicher Eingrenzungsmaßnahmen zu erarbeiten.

Stichwörter: Westlicher Maiswurzelbohrer, *Diabrotica virgifera virgifera*, Quarantäneschädling, Bekämpfung, Forschungsprogramm

Abstract

The Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) is economically the most important corn pest worldwide. Its first appearance in Southern Germany in 2007 was followed by further infestations in additional locations in the following years. Control measures on *Diabrotica* being a quarantine pest in Europe are carried out in Germany. In the USA and in Canada the Western Corn Rootworm causes annual losses of about one billion USD due to yield loss and expenditure on pest control. Preventive and agronomic controls, application

Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Braunschweig¹

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Freising²

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit, Kleinmachnow³

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Institut für Pflanzengesundheit, Wien⁴

Kontaktanschrift

Kristin Schwabe, Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, E-Mail: kristin.schwabe@jki.bund.de

Dr. Antje Kunert, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising, E-Mail: antje.kunert@lfl.bayern.de

Zur Veröffentlichung angenommen

Juni 2010

of soil insecticides (granulates) and seed treatments, application of insecticides, biological regulation and breeding improvements will help to contain the Western Corn Rootworm. In order to improve and adapt control measures for *Diabrotica* including chemical and non chemical options for German conditions two substantial research programs were generated in cooperation of the German agricultural ministry (responsibility JKI) with the Free State of Bavaria (responsibility LfL).

Key words: Western Corn Rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera*, quarantine pest, control, research program

Einleitung

Der Westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, nachfolgend *Diabrotica* genannt, Abb. 1) ist weltweit gesehen der wirtschaftlich bedeutendste Maisschädling im intensiven Maisanbau. Im Jahre 1992 wurde der aus Nordamerika stammende Blattkäfer (Chrysomelidae) über Serbien zum ersten Mal nach Europa eingeschleppt. Von dort aus breitete sich der flugaktive und sich durch ein hohes Vermehrungspotenzial auszeichnende Käfer von Jahr zu Jahr kontinuierlich weiter aus und hat sich in den südöstlich angrenzenden Nachbarländern Deutschlands etabliert. Von dieser ersten Ausbreitungswelle unabhängige Einschleppungen sind weitere nachgewiesen worden (MILLER et al., 2005). Seit dem Jahr 2007, in dem *Diabrotica* erstmalig auch im Süden Deutschlands festgestellt wurde, kommt es immer wieder zu einer Vielzahl von Einschleppungen. Auch wenn sich die Anzahl der Käfer in den Pheromonfallen auf mäßigem Niveau befindet, geben die zahlreichen Einzelfunde in den letzten drei Jahren Anlass zur Sorge. Der Vormarsch des Käfers nach Zentral- und Westeuropa – und somit in noch befallsfreie Maisanbauregionen – scheint nicht mehr aufzuhalten zu sein. Wegen seines großen Gefährdungspotenzials für den Maisanbau ist *Diabrotica* in der Europäischen Union als Quarantäneschädling eingestuft und unterliegt Quarantänemaßnahmen. Beim Auftreten dieses Käfers besteht Meldepflicht, und es müssen geeignete Ausrottungs- bzw. Eingrenzungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Die vorliegende Literaturstudie gibt einen Überblick über den aktuellen Kenntnisstand zur Biologie und Populationsdynamik des Maiswurzelbohrers, über seine Herkunft sowie über die aktuelle Befallsituation in Europa, wobei der Fokus hauptsächlich auf Deutschland und seine Nachbarländer gelegt wird. Zusätzlich beinhaltet die Studie Wissenswertes zum Schadenspotenzial von *Diabrotica*, zu Quarantäne- und integrierten Maßnahmen.

Biologie und Populationsdynamik

Der Westliche Maiswurzelbohrer, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, gehört zur Familie der Blattkäfer (Chrysomelidae). Er ist die einzige in Europa vorkom-



Abb. 1. *Diabrotica* – adultes Tier (Quelle: SCHWABE, JKI).

mende Art, während auf dem amerikanischen Kontinent hunderte Arten der Gattung *Diabrotica* bekannt sind.

Der univoltine Käfer ist nur 5 bis 7 mm lang. Er hat einen dunklen Kopf, während Halsschild und Abdomen gelb sind. Die Beine können gelb oder dunkel sein. Die Deckflügel können drei dunkle Längsstreifen tragen (meistens Weibchen, Abb. 1a) oder nahezu vollständig dunkel gefärbt sein (meistens Männchen, Abb. 1b). Die Männchen sind in der Regel etwas kleiner als die Weibchen, haben längere Fühler und sind generell dunkler. Außerdem unterscheiden sich die Männchen durch eine haarlose Stelle an den vorderen Tarsi. Untersuchungen haben gezeigt, dass dieser sogenannte „hairless patch“ bei der Begattung auf den Flügeldeckeln der Weibchen aufliegt (GLOYNA et al., 2009).

In der Regel treten die Käfer zwischen Juni und Oktober im Feld auf. Mit der Ernte des Maises sowie dem Abfallen der Temperaturen verschwinden die Käfer. Die Weibchen können im Schnitt 300 bis 400 Eier legen. Die ovalen, beigefarbenen Eier sind nur etwa 0,6 mm groß und werden in einer Tiefe von 5 bis 20 cm im Boden von Maisfeldern platziert, wobei die meisten Eier in den oberen 10 cm zu finden sind. Die Eier werden fast ausschließlich in Maisflächen abgelegt; aber der Maiswurzelbohrer ist auch in der Lage, sein Eiablageverhalten zu verändern und benachbarte Felder aufzusuchen (ONSTAD et al., 1999). Seine Flugaktivität ist in den Morgenstunden und am Abend am höchsten (COATS et al., 1986).

Die für die weitere Entwicklung notwendige Winterruhe verbringt der Maiswurzelbohrer im Eistadium im Boden (KRYSAN und MILLER, 1986), bevor im nächsten Jahr die Larven schlüpfen. Davon abweichend durchläuft ein kleiner Teil der Eier eine zweijährige Diapause, d.h. die Larven schlüpfen erst im Frühjahr des übernächsten Jahres (LEVINE et al., 1992). Die ersten Larven schlüpfen in den Wochen nach der Aussaat; der Höhepunkt des Larvenauftretens liegt normalerweise in den Monaten Mai und Juni, doch kann es witterungsbedingt zu Abweichungen kommen. Die Larvalentwicklung mit drei Stadien ist in etwa drei bis vier Wochen abgeschlossen.



Abb. 1a. *Diabrotica* – weiblicher Käfer (Quelle: ZELLNER, LfL).



Abb. 1b. *Diabrotica* – männlicher Käfer (Quelle: ZELLNER, LfL).



Abb. 2. *Diabrotica* – Larve (Quelle: ZELLNER, LfL).

Die Larven sind gelblich-weiß und besitzen Beine (Abb. 2). Die Größe der Larven variiert je nach Stadium zwischen 3 und 15 mm und wird durch Umweltbedingungen beeinflusst. Untersuchungen ergaben, dass auch die Bewässerung von Feldern einen positiven Effekt auf die Zunahme der Größe haben kann. Dies hat auch Auswirkungen auf den Grad der Wurzelschädigung, die Vitalität des Mais, und die Notwendigkeit der Bekämpfungsmaßnahmen (AGOSTI et al., 2009).

Frisch geschlüpfte Junglarven im ersten Stadium können maximal einen Meter weit wandern, um geeignete Nahrung (Maiswurzeln) zu finden. Die Larven sind auf die Maiswurzeln angewiesen, die sie im Frühjahr nach dem Schlupf zur weiteren Entwicklung benötigen (MOESER und VIDAL, 2004). Sie fressen an den Maiswurzeln und bohren sich später auch in die Wurzeln sowie in den Stängel der Pflanze hinein. Zum Ende des dritten Larvenstadiums verpuppen sich die Larven im Boden in ovalen, mit Sekret ausgekleideten Erdhöhlen (Erdkokon). Die Puppe des Wurzelbohrers ist weißlich und 3 bis 4 mm lang. Nach einer etwa einwöchigen Puppenruhe arbeitet

sich der Wurzelbohrer zur Bodenoberfläche vor, wobei die Männchen normalerweise vor den Weibchen schlüpfen (BORIANI et al., 2006).

Im Mais fressen die Käfer bevorzugt Pollen und Narbenfäden der weiblichen Infloreszenzen sowie an den sich entwickelnden Körnern am Kolben: Sie ernähren sich aber auch von jungen Blättern und von Pollen und Blättern anderer blühender Pflanzen (MOESER und VIDAL, 2004). GLOYNA und THIEME (2007) untersuchten im Labor die Entwicklung von Maiswurzelbohrern an Gerste, Hafer, Dinkel, Triticale und Weizen und stellten fest, dass an allen Kulturen die Entwicklung der adulten Käfer möglich war. Die flinken Läufer und ausdauernden Flieger wechseln auch zu später reifenden Maisfeldern, deren Pflanzen noch frische Fahnen und Narbenfäden besitzen und vergrößern so von Jahr zu Jahr ihr Ausbreitungsgebiet. Nach der Befruchtung bedarf es bei den Weibchen zunächst eines zweiwöchigen Reifungsraßes an den Maispflanzen, bevor sie ihre Eier ablegen.

Herkunft und Verbreitung

Der Westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) stammt aus Amerika. Er wurde von Amerika nach Jugoslawien verschleppt, wo er 1992 in der Nähe des Belgrader Flughafens zum ersten Mal entdeckt wurde. Man nimmt daher an, dass der Käfer mit dem Flugzeug eingeschleppt wurde. Es folgten mindestens vier weitere Einschleppungen aus den USA, höchstwahrscheinlich mit dem Flugzeug (CIOSI et al., 2008). Seitdem breitet er sich kontinuierlich in Europa aus und trat 2007 zum ersten Mal auch in Deutschland, in Baden-Württemberg und Bayern, auf (Abb. 3).

Es gibt zwei Typen von befallenen Gebieten in Europa: ein sich kontinuierlich ausbreitendes Befallsgebiet in Südost-Europa und verschiedene nicht zusammenhängende Befallsherde in West-Europa, die ausgerottet werden konnten bzw. sich nicht ausbreiten aufgrund der verstärkten Bekämpfungsmaßnahmen, einschließlich eines

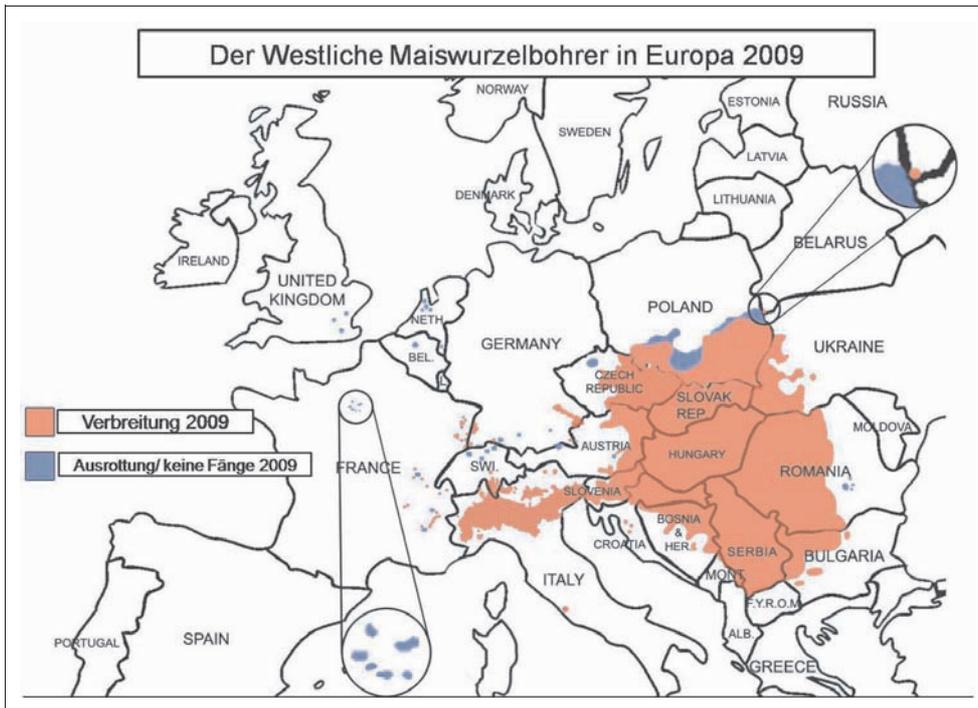


Abb. 3. Verbreitung des Maiswurzelbohrers in Europa 2009 (Quelle: verändert nach <http://extension.entm.purdue.edu/wcr/>).

sich ausbreitenden Gebiets in Nordwest-Italien (Ciosi et al., 2009). Man geht davon aus, dass die weitere Verbreitung des Maiswurzelbohrers durch klimatische Faktoren nicht begrenzt wird, wohingegen topographische Hindernisse einen Einfluss haben können (Grabenweger, 2009). Unbestritten ist aber, dass die klimatischen Bedingungen fast überall in Deutschland günstig für das Überleben und die Vermehrung der Käfer sind (Zellner und Steck, 2008).

Bei der Verbreitung lassen sich zwei Arten unterscheiden: die natürliche Ausbreitung durch den aktiven Flug des Käfers und die passive Verschleppung durch Transportmittel. Die Käfer können in Einzelflügen bis zu 20 km zurücklegen. Werden keine Eingrenzungsmaßnahmen durchgeführt, kann die Ausbreitung der *Diabrotica*-Population, vor allem in Gebieten mit intensivem Maisanbau, pro Jahr 60 bis 80 km betragen (Baufeld und Enzian, 2005). Da in diesen Gebieten von den Käfern vermehrt Distanzflüge unternommen werden, sind auch Ausbreitungsraten von bis zu 100 km pro Jahr möglich. In Regionen mit geringem Maisanteil ist eine Ausbreitung von lediglich 20 km oder weniger zu erwarten. Da nur ein Anbau von Mais nach Mais dem Käfer eine schnelle Vermehrung und damit hohe Populationsdichten sichert, kann die Ausbreitung sogar in Gebieten, in denen kein Maisanbau stattfindet, zum Stillstand kommen. Die natürliche Ausbreitung lässt sich in Europa nicht mehr aufhalten, jedoch durch entsprechende Eingrenzungsmaßnahmen deutlich verzögern.

Die Verschleppung, z.T. Kontinent übergreifend, kann über verschiedene Transportmittel erfolgen: Flugzeug, Bahn, Binnenschifffahrt, LKW-Verkehr und Tourismus. Sehr häufig traten erste Funde des Maiswurzelbohrers in der Nähe von Flughäfen auf, was Flugzeuge als wichtige

Transportmittel der Verschleppung bestätigt (Miller et al., 2005). Das bedeutet auch, dass der Käfer nicht nur auf natürlichem Wege aus den Befallsgebieten Südosteuropas nach Deutschland drängt (Kiss et al., 2004), sondern jederzeit auch erneut aus Nordamerika eingeschleppt werden kann (Ciosi et al., 2008). Deshalb wird die Eindämmung zukünftiger Einschleppungen eine intensive Überwachung verschiedenster Verkehrswege erfordern (Miller et al., 2005).

Aktuelle Befallssituation in Europa

Auch wenn sich *Diabrotica* in Mitteleuropa von 2008 auf 2009 nur geringfügig auf natürliche Weise weiter ausgebreitet hat, kam es in Deutschland und Frankreich zu einer Vielzahl von Einschleppungen. In Deutschland war insbesondere das Bundesland Baden-Württemberg davon betroffen. Insgesamt wurden deutschlandweit im Jahr 2009 318 Käfer nachgewiesen; 218 Käfer in Baden-Württemberg, 100 Käfer in Bayern. Ein massives Auftreten des Käfers in Norditalien 2009 wurde insbesondere in der Region um Brescia (Lombardei) verzeichnet, wo lokale Populationsdichten von etwa 30 Käfern pro Pflanze erreicht wurden. Als mögliche Ursache für die vermehrte Einschleppung nach Baden-Württemberg wird der unbeabsichtigte Transport der Käfer mittels LKW aus diesen stark befallenen Gebieten in Norditalien angesehen, da die LKWs für gewöhnlich ihren ersten Stopp erst in Baden-Württemberg machen. In Österreich, wo *Diabrotica* zum ersten Mal im Jahre 2002 nahe der slowakischen Grenze gefangen wurde, hat er sich in den wichtigsten Maisanbauregionen im Burgenland, in Niederösterreich sowie in der Steiermark und in Teilen

Kärntens etabliert. In Oberösterreich und damit angrenzend an Deutschland (Bayern) ist das Befallsniveau als relativ gering einzuschätzen. In Tirol und Salzburg gab es bis Ende 2009 nur zwei kleinräumige, isolierte Befallsvorkommen, die derzeit mit Quarantänemaßnahmen bekämpft werden. Vorarlberg hat bisher – als einziges österreichisches Bundesland – noch keinen *Diabrotica*-Befall gemeldet. In Polen konnte das Voranschreiten der Befallsausdehnung durch konsequentes Umsetzen von Eingrenzungsmaßnahmen gestoppt werden. Von der deutschen Grenze ist der Befall dort momentan etwa 95 km entfernt. In Tschechien kamen ebenfalls Eingrenzungsmaßnahmen zur Anwendung. Eine Ausbreitung des Käfers in Richtung Westen konnte trotzdem nicht gänzlich verhindert werden; der Befall befindet sich jedoch auf konstantem Niveau.

Schadenspotenzial

Weltweit gesehen zählt der Westliche Maiswurzelbohrer zu den wirtschaftlich bedeutendsten Maisschädlingen im intensiven Maisanbau. In den USA und Kanada verursacht er jährlich Schäden durch Ernteaufwände und Pflanzenschutzmaßnahmen von mehr als einer Milliarde US-Dollar (KRYSAN und MILLER, 1986; CHANDLER, 2003). Von rund 2,1 Mio. Hektar der gesamtdeutschen Maisanbaufläche in 2009 sind nach BAUFELD und ENZIAN (2005) etwa 350 000 ha durch den Anbau von Mais nach Mais besonders gefährdet, Tendenz steigend. Je weiter sich *Diabrotica* in Europa ausbreitet, desto mehr wird das finanzielle Schadausmaß in Europa zunehmen. Nach Schätzung von Fachleuten kann mit bis zu einer halben Milliarde Euro Schaden pro Jahr langfristig für Europa gerechnet werden (BAUFELD et al., 2006; HARMUTH, 2005; WESSELER und FALL, 2010). Derartige Schätzungen in Europa gestalten sich jedoch als schwierig, da nicht genau vorhergesehen werden kann, wie sich die Populationen in den verschiedenen Gebieten Europas etablieren und vermehren werden. Der direkte Schaden am Mais hängt auch von der Reaktion der Landwirte ab. Wenn diese vermehrt auf Fruchtfolge setzen, würde sich deutlich weniger oder kein direkter Schaden einstellen (BAUFELD, 2003; HEIMBACH, 2009).

Der größte Schaden entsteht durch die Fraßaktivität der im Boden lebenden *Diabrotica*-Larven. Je nach Entwicklungsstadium fressen diese zunächst die Wurzelhaare der Maispflanzen; später bohren sie sich in die Hauptwurzel ein, wodurch die Wasser- und Nährstoffaufnahme in der Maispflanze erheblich erschwert und die Verankerung der Maispflanze im Boden beeinträchtigt wird. In Folge verlieren die Maispflanzen an Stabilität und können bei Starkbefall umkippen. Derartig geschädigte Maispflanzen bilden bei ausreichender Wasser- und Nährstoffversorgung Adventivwurzeln, mit denen sie sich wieder aufrichten können. Dadurch erhalten die Stängel eine gekrümmte Form, ähnlich einem Gänsehals („goose necking“, Abb. 4). Diese Pflanzen können bei der mechanischen Ernte nur schwer erfasst werden. Ein

weiteres Problem stellen Sekundärinfektionen, beispielsweise durch *Fusarium*-Pilze, an den Wurzeln dar.

Der Wurzelschaden durch die Larven wird für Versuchszwecke an Hand von Skalen bewertet, bei der die Fraßschäden in Klassen eingeteilt werden. In der Praxis bewährt sich am besten die sogenannte Node-Injury-Skala, die an der Universität von Iowa (USA) entwickelt wurde. Dabei werden die Schäden in vier große Klassen, von 0 (keine Schädigung) bis 3 (Totalschaden) eingeteilt (Tab. 1). Zwischen den großen Klassen kann der Schaden durch die Verwendung von Kommastellen feiner abgestuft werden (beispielsweise 1,5 = eineinhalb Wurzelringe zerstört). Nach OLESON et al. (2005) ist in den USA bei Larvenfraß die wirtschaftliche Schadensschwelle beim Wert 0,25 der Skala erreicht. Die wirtschaftliche Schadensschwelle als wichtiges Kriterium bei der Schadensprognose und der Planung von Pflanzenschutzmaßnahmen im konventionellen und integrierten Pflanzenschutz muss daher noch – angepasst an die verschiedenen regionalen europäischen Bedingungen – für Europa ermittelt werden (HEIMBACH, 2009).

Das Schadenspotenzial der adulten Käfer ist hingegen wesentlich geringer als das der Larven. Zum einen verursachen die adulten Käfer typischen Fensterfraß an den Maisblättern (Schadbild ähnlich wie beim Getreidehähnchen). Zum anderen fressen sie bevorzugt Pollen und frisches Narbengewebe („silk clipping“, Abb. 5), was bei hoher Käferdichte zu einer schlechten Befruchtung und verringerten Anzahl der Körner am Kolben führt (CHIANG, 1973). Zusätzlich werden vorhandene Körner ungleichmäßig groß ausgebildet (Abb. 6), was besonders für die Saatmaisproduktion, die eine möglichst einheitliche Korngröße erfordert, negativ ist. Ob Fraß an der Seide zu erhöhten Pilzinfektionen am Kolben führt, muss noch untersucht werden.

Die Schäden durch *Diabrotica*-Befall können erheblich sein. Je nach Wachstumsbedingungen für den Mais, der sortenabhängig eine hohe Kompensationsfähigkeit aufweist, variieren diese stark. Erfahrungen aus Süd- und Osteuropa zeigen, dass nur vier bis fünf Jahre nach Erstauftreten des Schädling im Monomaisanbau mit durchschnittlich 10 bis 30% Ernteaufwände gerechnet werden muss (FOLTIN, 2009). Bei trockener Witterung können jedoch auch Ernteverluste von über 80% auf betroffenen Feldern eintreten.

Quarantänemaßnahmen

Diabrotica ist in der EU gemäß Richtlinie 2000/29/EG als Quarantäneschädling eingestuft. Dieser Schädling unterliegt daher den EU-Quarantänemaßnahmen, welche in allen Mitgliedstaaten verbindlich anzuwenden sind. Nach Bekanntwerden von zahlreichen Einschleppungen in bisher befallsfreie Gebiete und der Ausbreitung des Schädling in Südosteuropa wurde 2003 von der EU eine Entscheidung über Sofortmaßnahmen gegen die Ausbreitung von *Diabrotica* in der Gemeinschaft (2003/766/EG) beschlossen, die 2006 durch die Artikel 4a, 4b und 5



Abb. 4. Wiederaufrichten der durch *Diabrotica* geschädigten Maispflanzen („goose necking“) (Quelle: GRABENWEGER, AGES).



Abb. 5. Bevorzugtes Käferfutter („silk clipping“) (Quelle: BAUFELD, JKI).

Tab. 1. Node-Injury-Skala (nach OLESON et al., 2005)

Wert	Beschreibung
0.00	ohne Wurzelschädigung
1.00	ein kompletter Wurzelring oder das Äquivalent des ganzen Knotens bis auf weniger als 4 cm vom Stängel entfernt abgefressen
2.00	zwei komplette Wurzelringe zerstört
3.00	drei oder mehr Wurzelringe vollständig zerstört

(Entscheidung 2006/564/EG) sowie 2008 durch den Artikel 4 (Entscheidung 2008/644/EG) ergänzt wurden. Bei Einschleppung von *Diabrotica* in bisher befallsfreie Gebiete werden sofort Ausrottungsmaßnahmen ergriffen, mit dem Ziel, die geringe Anzahl von Käfern zu vernichten, um das Gebiet über viele Jahre befallsfrei zu halten und um eine weitere Ausbreitung zu verhindern. Der Erfolg von Ausrottungsmaßnahmen hängt entscheidend von der rechtzeitigen Feststellung einer Einschleppung ab. Werden punktuelle Einschleppungen frühzeitig erkannt und sofortige Gegenmaßnahmen durchgesetzt,



Abb. 6. Verschiedene Korngrößen durch Schädigung während der Befruchtung (Quelle: HEIMBACH, JKI).

ist es somit möglich, den Befall mit entsprechenden Maßnahmen vollständig zu tilgen und damit die Region über lange Zeiträume befallsfrei zu halten, was an den Flughäfen Amsterdam, London, Paris, Maastricht und München sowie bei Salem im Bodenseekreis und Altmannshofen im Allgäu gelungen ist.

Ausrottung in bisher befallsfreien Gebieten

Die EU-Entscheidungen zur Ausrottung von *Diabrotica* sehen vor:

- Meldepflicht bei vermutetem oder bestätigtem Auftreten von *Diabrotica*
- Durchführung eines amtlichen Monitorings
- Wenn ein Befall festgestellt wird, erfolgt eine Abgrenzung in Befalls- und Sicherheitszone.

Das Auftreten oder der Verdacht des Auftretens von *Diabrotica* ist sofort dem zuständigen Pflanzenschutzdienst zu melden. Um einen fortdauernden Überblick zur Befallssituation zu gewährleisten, muss ein intensives Monitoring mit Pheromon- bzw. Sexuallockstofffallen durchgeführt werden. Wenn das Vorkommen von *Diabrotica* nachgewiesen wird, muss eine Befallszone um die betroffene Fläche in einem Umkreis von mindestens 1 km festgelegt werden, in der Ausrottungsmaßnahmen durchgeführt werden. Nach Festsetzung der Befallszone darf dort für mindestens zwei Jahre kein Mais angebaut werden. Sollte jedoch auf Flächen zwei Jahre zuvor kein Mais gestanden haben, kann Mais in der Befallszone angebaut werden, wenn die Maisbestände gegen erwachsene Käfer behandelt werden. Unmittelbar nach Befallsfeststellung müssen die adulten Käfer bis zum Ende der Eiablageperiode auf den Maisfeldern mit einem wirksamen Insektizid bekämpft werden. Es bestehen zeitlich begrenzte Verbringungsverbote für Maispflanzen und Erde sowie Erntebeschränkungen. Landwirtschaftliche Maschinen, die auf den Maisfeldern zum Einsatz kamen, müssen vor dem Verlassen der Befallszone von Erde und Rückständen gereinigt werden. Maisdurchwuchs in den Folgekulturen muss vernichtet werden, damit der Entwicklungszyklus des Schädling unterbrochen wird.

Um die Verbreitung des Käfers im Falle eines Entweichens aus der Befallszone zu verhindern, ist das Anlegen einer Sicherheitszone um die Befallszone herum im Umkreis von mindestens 5 km vorgeschrieben. In der Sicherheitszone darf nach Befallsfeststellung in zwei aufeinander folgenden Jahren nur einmal Mais angebaut werden (zweijährige Fruchtfolge) oder es müssen Bekämpfungsmaßnahmen auf den Maisflächen im Befalls- und Folgejahr durchgeführt werden. Momentan werden sämtliche Quarantänemaßnahmen zu *Diabrotica* auf EU-Ebene sowie der Umfang bzw. die Größe der Zonen in Expertenkreisen neu diskutiert. CARRASCO et al. (2009) bzw. CARRASCO et al. (2010) empfehlen auf Grundlage von Wiederfängen von Käfern und der Wahrscheinlichkeiten der Ausbreitung eine Ausdehnung der Sicherheitszone von 5 auf 50 km. Erste Modellberechnungen mit abgeschätzten Werten zur Populationsdichteentwicklung von Käfern bei verschiedenen Eingrenzungsszenarien mit verschiedenen Maßnahmenpaketen laufen derzeit am Julius Kühn-Institut (KRÜGENER, 2009).

Eingrenzung am Rande der natürlichen Ausbreitung

Lässt sich der Westliche Maiswurzelbohrer trotz Quarantänemaßnahmen nach mehr als zwei aufeinanderfolgenden Jahren nicht mehr ausrotten, müssen Eingrenzungs-

maßnahmen eingeleitet werden. Werden in einem zusammenhängenden größeren Gebiet neue Käferfundstellen entdeckt, müssen diese Maßnahmen an der Übergangszone vom befallenen zum nicht befallenen Gebiet durchgeführt werden (Artikel 4a). Als wichtigste Maßnahme gilt die Einhaltung einer Fruchtfolge, auch in Kombination mit der Ausbringung von Bodeninsektiziden oder der Insektizidspritzung gegen adulte Käfer. Seit 2008 werden Eingrenzungsmaßnahmen in Niederbayern und seit 2009 in Baden-Württemberg (Ortenau und Emmendingen) durchgeführt. Ziel dieser Eingrenzung ist eine Verlangsamung der Ausbreitung des Käfers.

Die EU-Eingrenzungsempfehlung 2006/565/EG beinhaltet daher:

- Festlegung der Eingrenzungszone mit mindestens 10 km in der Befallszone und mindestens 30 km in der angrenzenden nicht befallenen Zone
- In der Eingrenzungszone
 - Kein Anbau von Mais nach Mais innerhalb von zwei Jahren oder
 - Anbau von zweimal Mais innerhalb von drei Jahren, wenn die Mais-Aussaats mindestens einmal nach dem Larvenschlupf erfolgt oder
 - Anbau von zweimal Mais innerhalb von drei Jahren, wenn jeweils eine wirksame Insektizidbekämpfung gegen die adulten Käfer im Mais oder adäquat wirksame Maßnahmen durchgeführt werden.

Unterdrückung

Mit Hilfe von Unterdrückungsmaßnahmen kann in der Regel einer natürlichen Ausbreitung von *Diabrotica* entgegengewirkt werden, indem die Populationsdichten in etablierten Gebieten gering gehalten werden und die Verschleppungswahrscheinlichkeit aus diesen Gebieten somit sinkt.

Die Wirkung dieser Maßnahmen wird aber vor allem dadurch erschwert, dass in Folge von unbeabsichtigtem Transport der Käfer mittels LKW, Flugzeug, Bahn oder Auto regelmäßig neue Befallsherde in befallsfreien Gebieten entstehen. Eine Befallsreduktion in bereits länger befallenen Gebieten ist daher dringend erforderlich.

Integrierte Maßnahmen zur Kontrolle des Westlichen Maiswurzelbohrers

Die Ausbreitung von *Diabrotica* ist in vielen Regionen Europas nicht mehr aufzuhalten. Jedoch kann die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieses Schädling durch vorbeugende ackerbauliche Maßnahmen und gezielte Bekämpfungsmethoden verzögert werden. Im nachfolgenden werden diese umfassend erläutert.

Vorbeugende und ackerbauliche Maßnahmen

Der Käfer ist ein Fruchtfolgeschädling; Schäden infolge hoher Populationsdichten konzentrieren sich vor allem

auf Flächen mit Monomaisanbau und Regionen mit hoher Maisanbaudichte. Wird auf Mais in der Selbstfolge verzichtet, kann die Populationsentwicklung unterdrückt und damit die natürliche Ausbreitung von *Diabrotica* deutlich reduziert werden. Bei einem Verzicht auf Monomaisanbau ist kaum mit Schäden durch *Diabrotica* zu rechnen. Die Einhaltung der Fruchtfolge gilt daher als effektivste Maßnahme zur Bekämpfung von *Diabrotica* (BERTOSSA et al., 2009). Zudem sind frisch geschlüpfte Larven relativ empfindlich gegenüber äußeren Umweltfaktoren. Sie sterben schnell ab, wenn sie nicht in unmittelbarer Nähe um die Eiablagestelle auf ihre Nahrungsquelle treffen. Aus diesem Grund ist ein Fruchtwechsel nach Mais eine effektive Bekämpfungsmethode. Jedoch sollte der Landwirt die innerhalb der Fruchtfolge angebauten Kulturarten auf deren Wirtseignung für Larven kontrollieren, da neben der Hauptwirtspflanze Mais im begrenzten Umfang auch andere monokotyle Pflanzen wie Weizen, Roggen und bestimmte Hirsearten als Nahrung geeignet scheinen (SCHROEDER et al., 2005; BREITENBACH et al., 2006). Voraussetzung dafür ist jedoch ein zeitlich abgestimmtes Aufeinandertreffen von Larven und Wirtspflanzen, was unter Praxisbedingungen nicht immer gegeben ist. Neue Untersuchungen aus Deutschland und den USA zeigen zudem, dass auch die Energiepflanze *Miscanthus* als Wirtspflanze prinzipiell geeignet ist und die Entwicklung vom Ei über die Larve zum Käfer ermöglicht (SPENCER und RAGHU, 2009; GLOYNA et al., 2010; VIDAL und PETERSEN, 2010). Auch wenn diese Beobachtungen zum Großteil noch durch Freilandversuche abgesichert werden müssen, zeichnet sich ab, dass Landwirte bei der Auswahl der Kulturarten innerhalb der Fruchtfolge zukünftig auch die Notwendigkeit einer *Diabrotica*-Bekämpfung berücksichtigen müssen. Hinzu kommt, dass der *Diabrotica*-Käfer sehr anpassungsfähig ist und sich auf geänderte Kulturbedingungen einstellen kann. Ein Beispiel dafür sind amerikanische Untersuchungen, wonach sich eine *Diabrotica*-Population auf die in manchen Gebieten der USA empfohlenen Fruchtfolge Mais – Soja selektiert hatte. Die Weibchen dieser Population legen ihre Eier in benachbarte Flächen (Soja), so dass den schlüpfenden Larven von *Diabrotica* in der Folgekultur Mais das Überleben gesichert wird (ONSTAD et al., 2001).

Ob durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen, wie zum Beispiel durch das Pflügen, die Abundanz der *Diabrotica*-Larven in gewissem Maße verringert werden kann, bleibt abzuwarten und wird derzeit untersucht. Da Ungräser bzw. Unkräuter im Maisbestand als Nahrungsquelle für die Larven von *Diabrotica* fungieren können, ist eine Unkrautbekämpfung als wichtige ackerbauliche Maßnahme zur Kontrolle von *Diabrotica* einzustufen (MOESER und VIDAL, 2004). Dies gilt vor allem für eine gezielte Bekämpfung des auflaufenden Mais in der Folgekultur. Schließlich können auch Maßnahmen, die die Maispflanzen in ihrer Entwicklung stärken, einen wesentlichen Beitrag zur Vermeidung von Schäden durch *Diabrotica* leisten. Dazu zählen ein optimal vorbereitetes Saatbett, ein optimaler Saatzeitermin sowie eine wirk-

same gezielte Maisdüngung (SPIKE und TOLLEFSON, 1988). Auch eine optimale Wasserversorgung kann deutlich den Ertragsverlust vermindern. Bei der Sortenwahl ist darauf zu achten, dass die Sorten ein starkes Wurzelwachstum aufweisen bzw. über eine hohe Wurzelregenerationskraft verfügen. Durch diese Kriterien kann die Schädigung der Maispflanzen durch *Diabrotica* geringer ausfallen.

Bekämpfung der Larven von Diabrotica durch Saatgutbeizung bzw. mit insektiziden Granulaten zur Saat

Zur Bekämpfung der *Diabrotica*-Larven können gebeiztes Saatgut oder Bodeninsektizide (Granulate) eingesetzt werden. Momentan stehen in Deutschland aufgrund des massiven, großflächigen Auftretens von Bienenschäden während der Maisaussaat 2008 in Süddeutschland und dem damit verbundenen Ruhen von Zulassungen für die meisten insektiziden Saatgutbeizen im Mais keine Mittel gegen *Diabrotica* zur Verfügung. Als Ursache für das Bienensterben konnte zweifelsfrei der mit dem Wirkstoff Clothianidin kontaminierte Abrieb von behandeltem Maissaatgut nachgewiesen werden, der beim Drillen mit pneumatischen Sämaschinen in die Umwelt gelangte (PISTORIUS et al., 2009). Zurzeit lässt sich nicht abschätzen, wann Pflanzenschutzmittel dieser Wirkstoffklasse wieder für den Markt verfügbar sind. Pneumatisch mit Saugluft arbeitende Maissäugeräte dürfen seit 2008 nur für nicht mit Insektiziden gebeiztem Saatgut verwendet werden. Der Wirkstoff Methiocarb darf allerdings zum Einsatz kommen, wenn das Saatgut nahezu staubfrei ist, die Säugeräte abdriftmindernd arbeiten und Stäube auf oder in den Boden geleitet werden. In einigen anderen europäischen Ländern, wie zum Beispiel in Österreich, ist die Verwendung von mit Neonicotinoiden gebeiztem Maissaatgut mit besonderen Auflagen noch erlaubt. 2010 wurde in Deutschland für das Granulat Force 1.5 G mit dem Wirkstoff Tefluthrin nach § 11 (2) des PflSchG „Gefahr im Verzuge“ in behördlich abgegrenzten Regionen mit vorgeschriebenen *Diabrotica*-Maßnahmen eine zeitlich begrenzte Genehmigung erteilt.

Weitere Untersuchungen zur Bekämpfung der Larven von *Diabrotica* laufen derzeit im Maiswurzelbohrer-Forschungsprogramm des Bundes und des Landes Bayern (siehe Rubrik Forschung vernetzt). Erste Ergebnisse sehen vielversprechend aus. Sowohl die Anzahl der geschlüpfen Käfer als auch die Schäden an den Wurzeln konnten durch verschiedene Behandlungsmethoden bzw. Pflanzenschutzmittel reduziert werden.

Insektizidanwendung gegen adulte Diabrotica

Die Bekämpfung von *Diabrotica* wird hauptsächlich auf die Larvalstadien fokussiert. Zur Verhinderung der Ausbreitung und zur Unterbrechung des Entwicklungszyklus kann jedoch auch die Bekämpfung der adulten Käfer erforderlich sein. Die Adultenbekämpfung mit Insektiziden gilt als wirksame Maßnahme, jedoch ist deren Umsetzbarkeit in der landwirtschaftlichen Praxis als kritisch anzusehen. Aufgrund der Bestandeshöhe des Maises zur Hauptflugzeit des Käfers ist ein Befahren größtenteils

nur mit Stelzentraktoren möglich (CHANDLER und SUTTER, 1997). Es gibt Probleme mit der Verfügbarkeit von Stelzentraktoren, mit der Befahrbarkeit der Flächen bei Hanglagen und bei sehr schmalen Feldstreifen sowie mit einer erhöhten Abdriftgefahr. Im Zuge von Ausrottungsmaßnahmen müsste zudem auch die Wirksamkeit der eingesetzten Pflanzenschutzmittel wegen der langen Aktivitätsperiode der Käfer sehr lange andauern; bzw. es wären mehrere Applikationen nacheinander notwendig, um eine Wirkung bis zum Flugende im Herbst zu erreichen. Als eine Möglichkeit, die Wirksamkeit von Spritzbehandlungen zu erhöhen und gleichzeitig die Umweltbelastung zu minimieren, wird der Zusatz von Curcubitacinen zu Insektizid-Spritzbrühen angesehen. Diese sogenannten Fraßstimulanzien sind Semiochemikalien, die aus Kürbisgewächsen gewonnen werden und *Diabrotica* zur vermehrten Nahrungsaufnahme animieren. In der Folge nehmen die Käfer eine große Menge des insektiziden Wirkstoffes trotz geringem Mittelaufwand auf. Auf diese Weise kann – je nach Wirkstoffeigenschaften – eine drastische Reduktion der insektiziden Wirkstoffmengen bei gleichzeitiger sicherer Käferbekämpfung erzielt werden (METCALF, 1986).

Durch den Einsatz von Insektiziden gegen die Larven bzw. Adulten kann der Schaden unter die wirtschaftliche Schadensschwelle gedrückt werden. Eine nachhaltige Reduktion der Käferpopulation wird jedoch kaum erreicht. Im Vergleich zur Fruchtfolge wird bei Insektizidmaßnahmen lediglich von einer Effektivität von 60 bis 80% ausgegangen (REED et al., 1991), wobei die Bekämpfung eingeschleppter Käfer kurz nach der Einschleppung sehr viel höhere Wirkungsgrade haben kann.

Biologische Regulierung von *Diabrotica*

In seinem Ursprungsgebiet kann *Diabrotica* durch eine Vielzahl von Pathogenen, Nematoden, Prädatoren und Parasitoiden befallen werden. KUHLMANN und BURGT (1998) empfehlen, das Potenzial solcher Gegenspieler zur biologischen Regulierung zu nutzen, da sie im Gegensatz zur Insektizidanwendung als weniger kostenintensiv und umweltfreundlicher gelten. Der gezielte Einsatz natürlicher Gegenspieler – wie zum Beispiel entomopathogener Nematoden gegen die Larven von *Diabrotica* – befindet sich derzeit noch im Versuchsstadium und wird momentan in Ungarn und Österreich in Freilandversuchen überprüft. Am effektivsten scheint dabei die Nematodenart *Heterorhabditis bacteriophora* zu sein, die einen mit Insektizidbehandlungen gegen Larven vergleichbaren Wirkungsgrad erreicht (TOEPFER et al., 2010). In Zukunft könnte die Kontrolle der Käferpopulationen durch entomopathogene Nematoden an Bedeutung gewinnen und eine vielversprechende Strategie darstellen. Eine große Hürde stellt momentan die benötigte Wassermenge für die Ausbringung der Nematoden und die hohen Kosten der Nematoden dar. In weiteren Untersuchungen wird daher zum einen die Wirksamkeit von in Form von Granulaten ausgebrachten Nematoden und zum anderen bei Spritzanwendungen durch praxisübliche technische Geräte überprüft.

Züchtungsfortschritte

Konventionell gezüchtete tolerante Maislinien können nach erfolgtem Wurzelfraß vermehrt neue Wurzeln ausbilden und damit die Standfestigkeit und den Nährstoffaustausch in der Pflanze besser aufrechterhalten. Diese Sorten verringern jedoch nicht die Käferdichte. Auch Zuchtlinien mit echter Resistenz gegen die Larven von *Diabrotica* sind in Arbeit (sogenannte SUNRISE-Sorten). Bei diesen Maissorten sind mehrere Gene an einer natürlich-breiten sogenannten horizontalen Resistenz beteiligt. Zurzeit wird daran gearbeitet, diese Resistenz in neue Sorten zu integrieren.

Als weitere Bekämpfungsoption gilt der Einsatz von gentechnisch veränderten Maispflanzen (*Bt*-Mais), die gegen *Diabrotica* resistent sind. In Deutschland sind gentechnisch veränderte *Diabrotica*-resistente Maissorten zurzeit weder zugelassen noch politisch durchsetzbar; in den USA hingegen nimmt deren Anbau seit 2003 kontinuierlich zu.

Forschung vernetzt

Vor dem Hintergrund zunehmender Einschleppungen und der Etablierung der *Diabrotica*-Populationen in Deutschland werden dringend wirksame Maßnahmen benötigt, die eine weitere Ausbreitung verhindern und den Maisanbau in den betroffenen Gebieten langfristig sichern können. Diesen Forderungen zugrundeliegend wurde 2008 ein umfangreiches Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV, Federführung JKI) in Kooperation und mit Co-Finanzierung des Freistaates Bayern (Federführung LfL Bayern) ausgearbeitet, mit dem Ziel, vertiefende Kenntnisse zur nachhaltigen Bekämpfung von *Diabrotica* zu gewinnen und wissenschaftliche Empfehlungen hinsichtlich erforderlicher Eingrenzungsmaßnahmen zu erarbeiten. Unter <http://diabrotica.jki.bund.de> werden zum einen die einzelnen Forschungsprojekte detailliert vorgestellt; zum anderen erfährt der Nutzer auch Wissenswertes über *Diabrotica*, wie zum Beispiel über seine Biologie, das Schadenspotenzial und über Maßnahmen zur Eingrenzung dieses Schädling (Schwabe und HEIMBACH, 2009; ZELLNER et al., 2009). Mit Hilfe des Forschungsprogramms sollen wesentliche Wissenslücken zur Eingrenzung und nachhaltigen Bekämpfung von *Diabrotica* im Rahmen eines integrierten Pflanzenschutzes geschlossen werden.

Literatur

- AGOSTI, M., L. MICHELON, R. EDWARDS, 2009: *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte larval size may be influenced by environmental conditions in irrigated maize fields in Northwestern Italy. *Entomologia Croatica* 13 (2), 61-68.
- BAUFELD, P., 2003: Bohrer mit verheerender Schädwirkung. *dlz Agrarmagazin*, 40-45.
- BAUFELD, P., S. ENZIAN, 2005: Maize Growing, maize high-risk areas and potential yield losses due to Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) damage in selected European countries. 285-302. In: *Western Corn Rootworm: Ecology and Management*. Eds. VIDAL, S., U. KUHLMANN, C.R. EDWARDS, CABI Publishing, 285-303.

- BAUFELD, P., J.-G. UNGER, U. HEIMBACH, 2006: Ein bedeutender Quarantäneschädling im Mais: Westlicher Maiswurzelbohrer *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte. Informationsblatt der BBA.
- BERTOSSA, M., L. SCHAUB, L. COLOMBI, 2009: Die gute alte Fruchtfolge als Bekämpfungsmethode gegen den Westlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). Tagungsband der 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Berlin, Verlag Dr. Köster, 370-374.
- BORIANI, M., M. AGOSTI, J. KISS, C.R. EDWARDS, 2006: Sustainable management of the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae), in infested areas: experiences in Italy, Hungary and the USA. OEPP/EPPO Bulletin **36**, 531-537.
- BREITENBACH, S., K. GLOYNA, U. HEIMBACH, T. THIEME, H.-W. DEHNE, 2006: Getreidearten und Ungräser als alternative Wirtspflanzen der Larven von *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte 1868 (Coleoptera, Chrysomelidae). Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie **15**, 257-258.
- CARRASCO, L.R., T.D. HARWOOD, S. TOEPPER, A. MACLEOD, N. LEVAY, R.H.A. BAKER, J.D. MUMFORD, J.D. KNIGHT, 2009: Dispersal kernels of the invasive alien western corn rootworm and the effectiveness of buffer zones in eradication programmes in Europe. Annals of Applied Biology **156**, 63-77.
- CARRASCO, L.R., J.D. MUMFORD, A. MACLEOD, T.D. HARWOOD, G. GRABENWEGER, A.W. LEACH, J.D. KNIGHT, R.H.A. BAKER, 2010: Unveiling human-assisted dispersal mechanism in invasive alien insects: Integration of spatial stochastic simulation and phenology models. Ecological Modelling (in press).
- CHANDLER, L.D., 2003: Corn rootworm areawide management program: United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service. Pest Management Science **59**, 605-608.
- CHANDLER, L.D., G.R. SUTTER, 1997: High clearance sprayer methods for application of corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) semiochemical based baits. Southwestern Entomologist **22** (2), 167-178.
- CHIANG, H.C., 1973: Bionomics of the northern and western corn rootworms. Annual Review of Entomology **18**, 47-72.
- CIOSI, M., N.J. MILLER, K.S. KIM, R. GIORDANO, A. ESTOUP, T. GUILLEMAUD, 2008: Invasion of Europe by the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera*: multiple transatlantic introductions with various reductions of genetic diversity. Molecular Ecology **17**, 3614-3627.
- CIOSI, M., S. TOEPPER, H. LI, T. HAYE, U. KUHLMANN, H. WANG, B. SIEGFRIED, T. GUILLEMAUD, 2009: European populations of *Diabrotica virgifera virgifera* are resistant to aldrin, but not to methyl-parathion. Journal of Applied Entomology **133**, 307-314.
- COATS, S.A., J.J. TOLLEFSON, J.A. MUTCHMOR, 1986: Study of migratory flight in the western corn rootworm (Coleoptera, Chrysomelidae). Environmental Entomology **15**, 620-625.
- FOLTIN, K., 2009: Was tun, wenn er da ist? Ein Erfahrungsbericht aus Österreich. In: *Diabrotica - Biologie - Schadpotential - Bekämpfung*, Zeitschrift DMK, 26-31.
- GLOYNA, K., T. THIEME, 2007: Cereals and weeds as potential host plants for *Diabrotica virgifera*. IWGO Newsletter **28**, 44.
- GLOYNA, K., D. VOIGT, T. THIEME, 2009: Sexual dimorphism of WCR: review of morphological characters and novel data on the 'hairless patch' of male tarsi. Proceedings of the 23rd IWGO Conference & 2nd International Conference of *Diabrotica* Genetics, Munich, Germany.
- GLOYNA, K., T. THIEME, M. ZELLNER, 2010: *Miscanthus × giganteus*, a potential host plant for larvae of a European population of *Diabrotica v. virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae). Journal of Applied Entomology (submitted).
- GRABENWEGER, G., 2009: Maiswurzelbohrer in Österreich: Die Saison 2009 verlief mit Höhen und Tiefen. Der Pflanzenarzt (11-12/2009), 6-7.
- HARMUTH, P., 2005: Der Westliche Maiswurzelbohrer, eine Gefahr für den Maisanbau in Baden-Württemberg. Beitrag aus der Festschrift - 50 Jahre Landesanstalt für Pflanzenschutz Stuttgart, 50 Jahre integrierter Pflanzenschutz Baden-Württemberg, 1-12.
- HEIMBACH, U., 2009: Der Bohrer setzt sich fest. DLZ Agrarmagazin 5/2009, 38-42.
- KISS, J., C.R. EDWARDS, H.K. BERGER, P. CATE, S. CHEEK, J. DERRON, J. FESTIC, L. FURLAN, J. IGRC-BARCIC, I. IVANOVA, W. LAMMERS, R. OMELYUTA, G. PRINCZINGER, I. SIVCEV, P. SIVCEK, I. ROSCA, G. UREK, O. VAHALA, 2004: Monitoring of western corn rootworm, *D. v. virgifera* in Europe. In: *Western Corn Rootworm: Ecology and Management*. Eds. VIDAL, S., U. KUHLMANN, C.R. EDWARDS, CABI Publishing, 29-39.
- KRÜGENER, S., 2009: Ausbreitungsszenarien zum Westlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*). Julius-Kühn-Archiv **424**, 32.
- KRYSAN, J.L., T.A. MILLER, 1986: *Methods for the study of pest Diabrotica*. New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo, Verlag Springer, 260 S.
- KUHLMANN, U., W.A.C.M. BURGT, 1998: Possibilities for biological control of the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, in Central Europe. Biocontrol News and Information **19**, 59-68.
- LEVINE, E., H. OLUMI-SADEGHI, C.R. ELLIS, 1992: Thermal requirements, hatching patterns, and prolonged diapauses in Western Corn Rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) eggs. Journal of Economic Entomology **85**, 2425-2432.
- METCALF, R.L., 1986: Coevolutionary adaptations of rootworm beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) to Cucurbitacins. Journal of Chemical Ecology **12** (5), 1-16.
- MILLER, N., A. ESTOUP, S. TOEPPER, D. BOURGUET, L. LAPCHIN, S. DERRIDJ, K.S. KIM, P. REYNAUS, L. FURLAN, T. GUILLEMAUD, 2005: Multiple transatlantic introductions of the western corn rootworm. Science **310** (5750), 992.
- MOESER, J., S. VIDAL, 2004: Do alternative host plants enhance the invasion of the maize pest *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae, Galerucinae) in Europe? Environmental Entomology **33** (5), 1169-1177.
- OLESON, J.D., Y. PARK, T.M. NOWATZKI, J.J. TOLLEFSON, 2005: Node-injury scale to evaluate root injury by corn rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae). Journal of Economic Entomology **98** (1), 1-8.
- ONSTAD, D.W., M.G. JOSELYN, S.A. ISARD, E. LEVINE, J.L. SPENCER, L.W. BLEDSOE, C.R. EDWARDS, C.D. DI FONZO, H. WILLSON, 1999: Modeling the spread of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) populations adapting to soybean-corn rotation. Environmental Entomology **28**, 188-194.
- ONSTAD, D.W., J.L. SPENCER, C.A. GUSE, S.A. ISARD, E. LEVINE, 2001: Modeling evolution of behavioral resistance by an insect to crop rotation. Entomologia Experimentalis Applicata **100**, 195-201.
- PISTORIUS, J., G. BISCHOFF, U. HEIMBACH, M. STÄHLER, 2009: Bee poisoning incidents in Germany in spring 2008 caused by abrasion of active substance from treated seeds during sowing of maize. Julius-Kühn-Archiv **423**, 118-126.
- REED, J.P., F.R. HALL, R.A.J. TAYLOR, H.R. WILSON, 1991: Development of a Corn Rootworm (*Diabrotica*, Coleoptera, Chrysomelidae) Larval Threshold for Ohio. Journal of the Kansas Entomological Society **64** (1), 60-68.
- SCHROEDER, J.P., S.T. RATCLIFFE, M.E. GRAY, 2005: Effect of four cropping systems on variant western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) adult and egg densities and subsequent larval injury in rotated maize. Journal of Economic Entomology **98** (5), 1587-1593.
- SCHWABE, K., U. HEIMBACH, 2009: Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zum Westlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*). Julius-Kühn-Archiv **424**, 31-32.
- SPENCER, J.L., S. RAGHU, 2009: Refuge or Reservoir? The Potential Impacts of the Biofuel Crop *Miscanthus × giganteus* on a Major Pest of Maize. PLoS ONE **4** (12): e8336, 1-9.
- SPIKE, B.P., J.J. TOLLEFSON, 1988: Western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) larval survival and damage potential to corn subjected to nitrogen and plant density treatments. Journal of Economic Entomology **81**, 1450-1455.
- TOEPPER, S., R. BURGER, R.-U. EHLERS, A. PETERS, U. KUHLMANN, 2010: Controlling western corn rootworm larvae with entomopathogenic nematodes: effect of application techniques on plant-scale efficacy. Journal of Applied Entomology **134**, 467-480.
- VIDAL, S., H.-H. PETERSEN, 2010: Was ist an Bodenschädlingen im Mais zu erwarten? Zeitschrift mais 2/2010, 64-68.
- WESSELER, J., E.H. FALL, 2010: Potential damage costs of *Diabrotica virgifera virgifera* infestation in Europe - the 'no control' scenario. Journal of Applied Entomology **134**, 385-394.
- ZELLNER, M., U. STECK, 2008: Dem Wurzelbohrer Paroli bieten. Top Agrar 7/2008, 58-61.
- ZELLNER, M., U. HEIMBACH, K. SCHWABE, A. KUNERT, 2009: German *Diabrotica* research program, IWGO Newsletter **29** (2), 6-11.