

BACHELORARBEIT

angefertigt an der

Professur für
Organischen Landbau
der Justus-Liebig-Universität Giessen

**Untersuchungen zum
Bedrohungspotential des
Energiermaisbaus in Deutschland
durch den Westlichen Maiswurzelbohrer**

vorgelegt dem

Fachbereich 09

„Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement“

der Justus-Liebig-Universität Giessen

zur Erlangung des akademischen Grades des

Bachelor of Science Umweltmanagement

von

Lucas Wagner

Erstprüfer: Herr Prof. Dr. Leithold

Zweitprüfer: Herr Prof. Dr. Hummel

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis.....	7
1 Problembeschreibung und Zielsetzung.....	9
1.1 Zur Entwicklung des Maisanbaus	9
1.2 Das Bedrohungspotential des Westlichen Maiswurzelbohrers	14
2 Wissensstand.....	15
2.1 Biologie des Westlichen Maiswurzelbohrers.....	15
2.2 Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers in Europa.....	18
2.3 Ausbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers in Deutschland.....	22
2.4 Möglichkeiten, die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers einzugrenzen	25
2.4.1 Quarantänemaßnahmen	25
2.4.2 Eingrenzung mittels MSD-Methode.....	27
2.4.3 Insektizide Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers	27
2.4.4 Bekämpfung mittels Semiochemikalien	30
2.4.5 Bekämpfung mittels Antagonisten.....	31
2.4.6 Die Überschwemmungsmethode	32
2.4.7 Bekämpfung mittels <i>Bt</i> -Mais	33
2.4.8 Bekämpfung mittels Fruchtfolgewechsel	37
2.5 Mögliche Alternativen zum Maisanbau	39
2.5.1 Sorghumhirse	41
2.5.2 Sonnenblume	41
2.5.3 Die Durchwachsene Silphie.....	43
2.5.4 Miscanthus	44
2.5.5 Igniscum.....	44
2.6 Übersicht über alternative Futterquellen	45

3	Material und Methoden.....	50
3.1	Ziele der Versuche	50
3.2	Standorte der Fallen	50
3.3	Fallentyp.....	51
3.4	Wirkungsweise der Fallen.....	52
4	Ergebnisse.....	53
4.1	Ergebnisse des Monitorings	53
4.2	Die aktuelle Lage der Bedrohung	55
5	Diskussion.....	59
5.1	Einschätzung und Beurteilung verschiedener Positionen	59
5.2	Eigene Einschätzung	66
6	Zusammenfassung	70
7	Literaturverzeichnis	71
	Danksagung	87
	Erklärung	88

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Produktionskosten und Gasertrag verschiedener Energiepflanzen zur Biogasgewinnung.
- Abb. 2:** Maisanbaufläche in Deutschland im mehrjährigen Vergleich.
- Abb. 3:** Maisanbau in Deutschland nach Bundesländern 2009/2010.
- Abb. 4:** Bestandsentwicklung der Biogasanlagen in Deutschland.
- Abb. 5:** Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe in Deutschland 2010/2011.
- Abb. 6:** Massebezogener Substrateinsatz nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen (Betreiberbefragung DBFZ 2010).
- Abb. 7:** Weibchen (links) und Männchen (rechts) des Westlichen Maiswurzelbohrers.
- Abb. 8:** Vergrößerte Darstellung des Eis (links) und des 3. Larvenstadiums (rechts) des Westlichen Maiswurzelbohrers.
- Abb. 9:** Gänsehals-Syndrom einer Maispflanze.
- Abb. 10:** Mögliche Routen der Einschleppung des Westlichen Maiswurzelbohrers.
- Abb. 11:** Die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers in Europa (Stand 2010). Rot=Aktivität im Jahr 2010, Blau=ausgerottet, bzw. keine Funde 2010.
- Abb. 12:** Käferfunde im Jahr 2010 in Deutschland (rot=Befallsgebiete, gelb=Eingrenzungsgebiete).
- Abb. 13:** Käferfunde in Deutschland für den Zeitraum 2007-2010.
- Abb. 14:** Durchschnittlicher Ernteertrag von YieldGard[®] Rootworm maize im Vergleich zu konventionellem Mais mit insektizider Behandlung (Tefluthrin und Chlorpyrifos).

-
- Abb. 15:** Installierte elektrische Leistung in MW der Biogasanlagen auf Kreisebene.
- Abb. 16:** Spezifischer Biogas- und Methanertrag der Gärrohstoffe bei alleiniger Vergärung.
- Abb. 17:** Entwicklung der Larven von *Diabrotica virgifera virgifera* an verschiedenen möglichen alternativen Wirtspflanzen.
- Abb. 18:** Prozentualer Larvenschlupf an sechs verschiedenen Wirtsgräsern in Abhängigkeit des Zeitpunkts des Larvenschlupfs.
- Abb. 19:** Fallenstandorte des Monitorings mittels Pheromonfallen entlang der Autobahn A 5.
- Abb. 20:** Vergleich der Fängigkeit von mit Pheromonködern bestückten Metcalf-Fallen und PAL-Klebefallen in Breganzona (Versuchsparzelle 8) am Flughafen Agno (Jahr 2004).
- Abb. 21:** Fallenstandorte und Kontrolldaten (keine Käferfunde).
- Abb. 22:** Maiswurzelbohrer Funde in den Jahren 2007-2011 in Baden-Württemberg (Stand:07.09.11).
- Abb. 23:** Maiswurzelbohrer Funde in den Jahren 2007-2011 in Bayern (Stand: 07.09.11).
- Abb. 24:** Fundorte in Hessen und Rheinland-Pfalz (Stand: 07.09.11.).
- Abb. 25:** Käferfunde in Deutschland in den Jahren 2007-2011 (eigene Grafik).
- Abb. 26:** Kalkulierte Populationsentwicklung des Westlichen Maiswurzelbohrers bei Maisanteilen von 66, 75 und 100% in der Fruchtfolge über einen Zeitraum von neun Jahren; Käferanzahl bis zur ökonomischen Schadensschwelle von 80.000 Käfer pro Hektar graphisch dargestellt.

-
- Abb. 27:** Vergleich der Populationsentwicklung des Westlichen Maiswurzelbohrers bei Maisanteilen von 33, 50 und 66% in der Fruchtfolge über einen Kalkulationszeitraum von neun Jahren.
- Abb. 28:** Länderübergreifendes Ausbreitungs-Szenario des Westlichen Maiswurzelbohrers, ausgehend von Blotzheim (Alsace, Frankreich) ohne Eradikations- und Eingrenzungsmaßnahmen über 10 Jahre.
- Abb. 29:** Maisanteile in der Fruchtfolge in Süddeutschland, Ostfrankreich und Österreich (Maisanbau von über 50% wird als Risikogebiet eingestuft).
- Abb. 30:** Anzahl geschlüpfter Käfer in den unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
<i>Bt</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i>
BtL	Biomass to Liquid
°C	Grad Celsius
d	Tag
DBFZ	Deutsches Biomasse Forschungszentrum
DMK	Deutsches Maiskomitee
dt	Dezitonne
€	Euro
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EG	Europäische Gemeinschaft
EU	Europäische Union
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
ha	Hektar
K⁺	Kalium
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
l	Liter
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
MaiswBekV	Maiswurzelbohrerbekämpfungsverordnung
MCA	4-Methoxyzimtaldehyd
µl	Mikroliter

MSD	Mass trapping, shielding, diversion
MW	Megawatt
N	Stickstoff
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
nm	Nanometer
PflSchG	Pflanzenschutzgesetz
\$	US-Dollar
t	Tonne
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
TM	Trockenmasse

1 Problembeschreibung und Zielsetzung

1.1 Zur Entwicklung des Maisanbaus

Mais (*Zea mays*) ist eine Getreideart, die ursprünglich aus Mexiko stammt und bereits seit 3500 v. Chr. kultiviert wird. Mit der Entdeckung Amerikas begann auch der Siegeszug der Maispflanze in Europa. Aufgrund der geringen Standortansprüche, des schnellen Wachstums und der hohen Erträge erkannten die Entdecker der neuen Welt schnell das Potential dieser Pflanze und führten sie nach Europa ein. Im Jahr 1525 wurde Mais erstmals in Spanien angebaut (ima) und galt bereits im 17. Jahrhundert im Südosten Europas als Volksnahrung. Von dort aus breitete sich Mais in ganz Europa und in der ganzen Welt aus und wurde in vielen Teilen der Welt zum Grundnahrungsmittel, sodass er heute die am häufigsten angebaute Frucht, noch vor Reis und Weizen darstellt. Die große wirtschaftliche Bedeutung, die der Mais heute einnimmt, ist aber vor allem auf die Entdeckung der Inzucht-Heterosis- oder Hybridmaiszüchtung der Wissenschaftler East und Shull in den Jahren 1905-1910 zurückzuführen. Durch die Verwendung neuer hochertragreicher Sorten konnten die Erträge um 25-30% gesteigert werden. Auch die Verbesserung der Pflanzenschutzmaßnahmen und der Anbautechnik trugen ihren Teil dazu bei (Zscheischler 1990). Der Anbau von Mais ist aufgrund seiner geringen Ansprüche weit verbreitet. Mais benötigt lediglich eine Mindestdurchschnittstemperatur von Mai bis September von mehr als 13°C. Desweiteren bedarf es einer Niederschlagsmenge von 200 mm in der Vegetationszeit. Der Boden sollte gut durchwurzelbar sein. Nur so ist eine optimale Nährstoff- und Wasserversorgung gewährleistet. Vor- und Mittelgebirgslagen sind aufgrund der niedrigen Temperaturen für den Maisanbau eher weniger geeignet, doch durch den Klimawandel bzw. der zur Zeit vorherrschenden Wetterveränderungen und die damit steigenden Durchschnittstemperaturen weiten sich die Maisanbauggebiete in Deutschland immer weiter aus. Hierzulande wird er vor allem als Futtermittel, doch auch immer mehr als Energiepflanze eingesetzt. Aufgrund dieser Entwicklung wurden eigens neue Energiemaissorten entwickelt, mit den Zielen:

- a) einen größtmöglichen Ertrag an organischer Trockensubstanz zu erzielen.
- b) eine hohe Methanausbeute zu erzielen.

Züchter arbeiten zurzeit daran, das genetische Ertragspotential von rund 20 t TM/ha auf 30 t TM/ha zu erhöhen (Vetter et al. 2009).

Das energetische Potential von Mais wurde erst relativ spät entdeckt und zur Nutzung vorgeschlagen. Denn Maissilage hat im Vergleich zu anderen Substraten einen sehr hohen Biogasertrag. Dieser beläuft sich bei einer Tonne Frischmasse Mais auf 202 m³ Biogas mit einem durchschnittlichen Methangehalt von 52% (FNR 2006). Auf einen Hektar bezogen sind dies 4.495 m³ Gas. Betrachtet man dazu die im Vergleich zu anderen Pflanzen geringen Substratbereitstellungskosten, liegt der ökonomische Vorteil des Einsatzes von Maissilage zur Vergärung gegenüber anderen Substraten auf der Hand (Abb. 1).

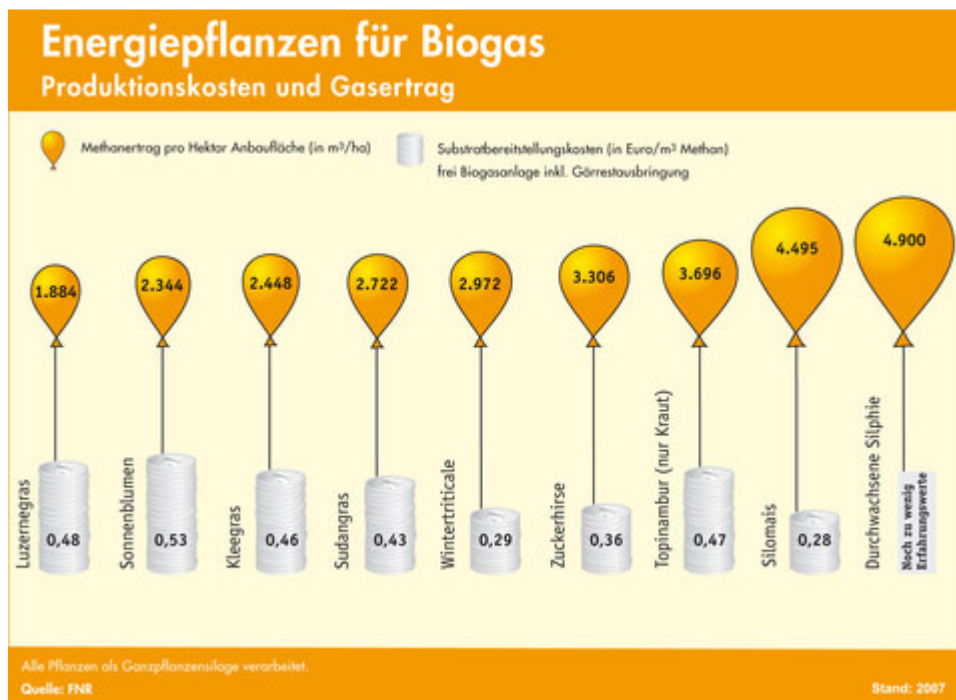


Abb. 1: Produktionskosten und Gasertrag verschiedener Energiepflanzen zur Biogasgewinnung.¹

Angetrieben von den neuen Erkenntnissen wurde im Jahr 1948 die erste landwirtschaftliche Biogasanlage in Deutschland in Betrieb genommen. In den 50er Jahren folgten dann ca. 50 weitere Biogasanlagen. Aufgrund der geringen Leistungen (8-10 m³ Gas/d⁻¹) war diese Form der Energiegewinnung für den kommerziellen Gebrauch jedoch von geringem Interesse. Erst in den 70er Jahren, zu Zeiten der Ölkrise, suchte man ernsthaft nach alternativen Energiequellen und griff die Technik der Vergärung wieder auf. Im Jahr 1991 wurde mit der Einführung des

¹ <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/typo3temp/pics/f2ec05b67e.jpg> (15.09.11).

Stromeinspeisegesetzes schließlich die Abnahme und die Vergütung von Strom aus regenerativen Energiequellen, also auch aus Biomasse, geregelt (Raussen 2008). Dieses Gesetz wurde im Jahr 2000 durch das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) ersetzt. Im Jahr 2001 existierten in Deutschland bereits 1360 Biogasanlagen, die eine elektrische Leistung von insgesamt 111 MW erzielten. Wider Erwarten stieg der Maisanbau in Deutschland jedoch nicht an. Im Gegenteil. Die Maisanbaufläche nahm bis zum Jahr 2002 immer weiter ab. Einerseits lässt sich dies mit den zurückgehenden Milchviehbeständen erklären, andererseits hatten die Biogasanlagenbetreiber keinen finanziellen Anreiz, vermehrt Biomasse respektive Mais als Gärsubstrat einzusetzen. Doch im Jahr 2003 konnte erstmals wieder ein Anstieg der Maisanbaufläche verzeichnet werden (Abb. 2). Dieser Anstieg ist auf den Anbau von Mais zur energetischen Verwertung im Biogassektor zurückzuführen (Vetter et al. 2009). Begründen lässt sich dieser Anstieg mit einer Änderung des EEG im Jahre 2002, in der erstmals eine festgeschriebene Vergütung des Stroms aus Biomasse vorgeschrieben wird (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 2002).

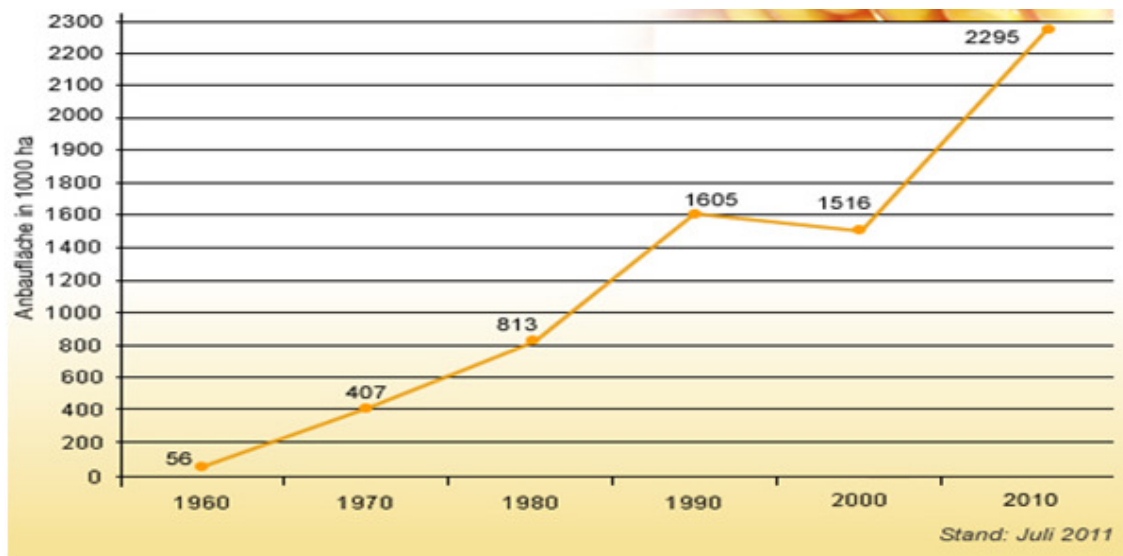


Abb. 2: Maisanbaufläche in Deutschland im mehrjährigen Vergleich.²

Durch diese Vergütung stieg die Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland und somit auch der Anbau von Mais zur energetischen Verwertung. Durch die Novellierung des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) im Jahre 2004 und die damit verbundenen Bonus-Zahlungen stieg die Anzahl der Biogasanlagen enorm an. Vor allem der sogenannte „NawaRo-Bonus“ von sechs Cent/kWh führte dazu, dass in immer mehr Anlagen Mais vergärt wurde. Um die Nachfrage nach Mais zu decken stieg auch die

² http://www.maiskomitee.de/web/upload/bilder/grafiken/DE_flaeche_1960_2010.jpg (15.09.11).

Problembeschreibung und Zielsetzung

Maisanbaufläche. Vor allem in den letzten Jahren konnte ein enormer Anstieg des Maisanbaus festgestellt werden. Waren es im Jahr 2007 noch 1,87 Mio. Hektar (eva-Verbund 2008), auf denen Mais angebaut wurde, waren es im Jahr 2010 bereits 2,30 Mio. Hektar und im darauffolgenden Jahr 2,45 Mio. Hektar (Abb. 3).

Bundesland	Körnermais einschl. Corn-Cob-Mix			Silomais			Anbaufläche insgesamt		
	2010	2011	Diff. %	2010	2011	Diff. %	2010	2011	Diff. %
	Baden-Württemberg	71.539	69.300	-3,1	107.652	111.800	3,9	179.191	181.100
Bayern	118.604	114.100	-3,8	356.857	400.500	12,2	475.461	514.600	8,2
Berlin									
Brandenburg	21.714	20.200	-7,0	154.200	167.000	8,3	175.914	187.200	6,4
Bremen									
Hamburg									
Hessen	5.632	5.500	-2,3	36.645	39.600	8,1	42.277	45.100	6,7
Mecklenburg-Vorpommern	4.631	4.600	-0,7	134.097	152.000	13,4	138.718	156.600	12,9
Niedersachsen	98.246	108.300	10,2	434.026	492.200	13,4	532.272	600.500	12,8
Nordrhein-Westfalen	98.575	101.000	2,5	159.586	170.600	6,9	258.161	271.600	5,2
Rheinland-Pfalz	8.824	9.000	2,0	28.904	30.700	6,2	37.728	39.700	5,2
Saarland	195			3.569	3.700	3,7	3.764	3.700	-1,7
Sachsen	15.309	14.800	-3,3	68.997	80.100	16,1	84.296	94.900	12,6
Sachsen-Anhalt	17.706	16.100	-9,1	98.346	109.300	11,1	116.052	125.400	8,1
Schleswig-Holstein	1.087			175.669	174.800	-0,5	176.756	174.800	-1,1
Thüringen	4.452	3.800	-14,6	49.093	52.300	6,5	53.545	56.100	4,8
Bundesgebiet ¹⁾	466.591	466.700	0,0	1.828.904	1.984.500	8,5	2.295.495	2.451.200	6,8

Abb. 3: Maisanbau in Deutschland nach Bundesländern 2009/2010.³

Vor allem der Anbau von Silomais ist in den letzten Jahren trotz zurückgehender Milchviehbestände immer umfangreicher geworden. Dies ist auf eine weitere Novellierung des EEG im Jahr 2009 zurückzuführen. Durch die Novellierung, wurde der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) nochmals forciert. Die Einführung des Technologie- und die Anhebung des KWK-Bonusses (Kraft-Wärme-Kopplung) machte das Betreiben von Biogasanlagen lukrativer, sodass die Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland nochmals signifikant anstieg (biomweltenergie 2008). Waren es im Jahr 2009 noch unter 5000 Anlagen, geht man für das Jahr 2011 von über 7000 Anlagen aus (Abb. 4).

³ http://www.maiskomitee.de/web/Statistik/Maisanbauflaechen_D_in_ha_2010-2011_vorlaeufig_20110707.pdf (15.09.11).

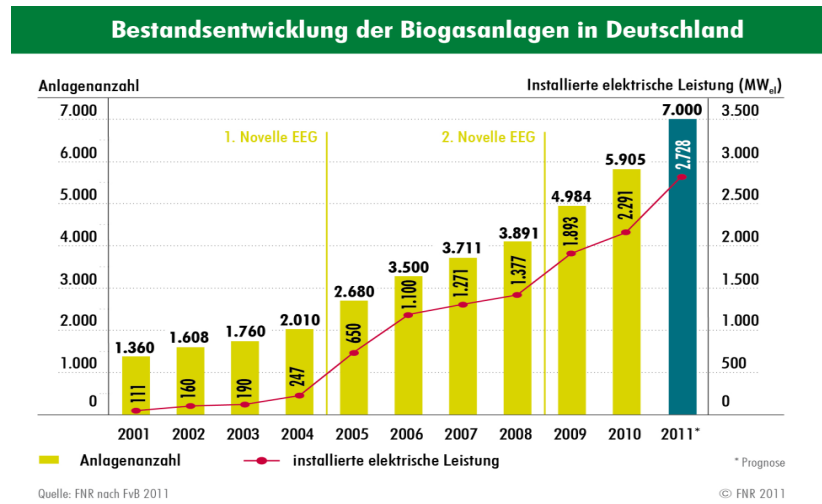


Abb. 4: Bestandsentwicklung der Biogasanlagen in Deutschland.⁴

Um eine solch große Zahl an Biogasanlagen mit Substrat zu versorgen, musste im Gegenzug auch die Maisanbaufläche ausgedehnt werden. Im Jahr 2008 wurden in Deutschland laut Schätzungen zwischen 500.000 und 550.000 ha für den Anbau von Energiepflanzen zur Vergärung kultiviert (Vetter et al. 2009). Im Jahr 2011 könnte sich diese Zahl laut der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) bereits auf 800.000 ha belaufen (Abb. 5). Im Jahr 2010 wurden bereits 500.000 Hektar allein für den Anbau von Energiemais beansprucht. Somit wurden 22% der gesamten Maisanbaufläche in Deutschland zur Produktion von Energiemais genutzt (Lack 2011).

Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (ha)			
Pflanzen	Rohstoff	2010	2011*
Industrie pflanzen	Industriestärke	160.000	165.000
	Industriezucker	10.000	10.000
	technisches Rapsöl	125.000	120.000
	technisches Sonnenblumenöl	8.500	8.500
	technisches Leinöl	2.500	2.500
	Pflanzenfasern	1.000	500
	Arznei- und Farbstoffe	10.000	10.000
	Summe Industriepflanzen	317.000	316.500
Energie pflanzen	Rapsöl für Biodiesel / Pflanzenöl	940.000	910.000
	Pflanzen für Bioethanol	240.000	250.000
	Pflanzen für Biogas	650.000	800.000
	Pflanzen für Festbrennstoffe (u.a. Agrarholz, Miscanthus)	4.000	6.000
	Summe Energiepflanzen	1.834.000	1.966.000
Gesamtanbaufläche NR		2.151.000	2.282.500

Quelle: FNR 2011; * Werte für 2011 geschätzt

Abb. 5: Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe in Deutschland 2010/2011.⁵

⁴ <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/daten-und-fakten/bioenergie/strom/> (15.09.11).

⁵ <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/daten-und-fakten/anbau/> (15.09.11).

Neben Exkrementen, Bioabfällen und anderen Abfällen aus Industrie und Landwirtschaft besteht das Gärsubstrat laut DBFZ zu ca. 41% aus NawaRo (Stand 2009). Der Anteil an Mais beläuft sich dabei auf 78% (Abb. 6). Dies liegt zum einen daran, dass Mais aufgrund seiner geringen Ansprüche relativ einfach anzubauen ist und mit sich selbst verträglich ist, zum anderen an der bereits erwähnten hohen Biogasausbeute.

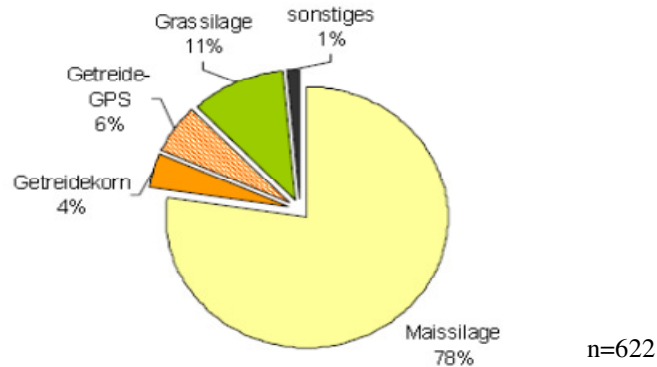


Abb. 6: Massebezogener Substrateinsatz nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen (Betreiberbefragung DBFZ 2010).⁶

1.2 Das Bedrohungspotential des Westlichen Maiswurzelbohrers

Der intensive Maisanbau bringt jedoch nicht nur Vorteile mit sich. Die Kulturlandschaft wird stets monotoner und verliert ihren Reiz als Erholungsort; aber auch die Artenvielfalt leidet unter der einseitigen Bewirtschaftung. Ein viel größeres Problem stellt jedoch der Schädlingsdruck dar. Fritfliege (*Oscinella frit*), Drahtwurm (Larven der *Agriotes*-Arten) und Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) sind Maisschädlinge, deren Verbreitung durch die großflächigen Maisschläge begünstigt wird. Eine viel größere Gefahr stellt jedoch die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera virgifera*) dar. In Europa wurde dieser Schädling erstmals im Jahr 1992 gesichtet (Serbien), von wo aus er sich kontinuierlich in ganz Europa verbreitet. 2007 wurde er erstmals in Deutschland gefangen und breitet sich seitdem trotz intensiver Bekämpfungsmaßnahmen immer weiter aus. So konnte er sich bereits in Baden-Württemberg entlang der französischen Grenze und in Bayern in der Nähe von Passau etablieren. Doch auch in Nordrhein-Westfalen konnte er schon nachgewiesen werden (Glas & Staer 2010). Der Westliche Maiswurzelbohrer wird als Quarantäneschädling eingestuft, da ein Befall zu hohen Ertragseinbußen und somit zu erheblichen

⁶ http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/Userupload_Neu/3330002_Stromerzeugung_aus_Biomasse_3_Zwischenbericht_Kapitel_1-5_fuer_Veroeffentlichung_final.pdf (15.09.11).

ökonomischen Schäden führen kann. Der intensive Maisanbau in Deutschland bietet dem Käfer optimale Voraussetzungen für eine schnelle Etablierung und Verbreitung. Es ist davon auszugehen, dass der Westliche Maiswurzelbohrer allein in Deutschland eine Fläche von ca. 11,5 Mio. ha befallen kann und dadurch einen jährlichen Schaden von über 25 Mio. Euro verursacht (Hummel et al. 2004). Die Mais-Risikofläche in Deutschland stellte im Jahr 2008 mit ca. 350.000 ha ein Drittel der Maisanbaufläche in Deutschland dar (Harmuth 2008, Baufeld et al. 2008). Auch Baufeld und Enzian (2005) schätzen die Risikofläche für Körnermais auf ca. 129.753 Hektar und für Silomais auf ca. 217.867 Hektar ein. Mögliche Ertragseinbußen im Saatmaisbau sind aufgrund der geringen Anbaufläche von ca. 4000 Hektar (DMK) nicht berücksichtigt worden. Durch den jährlichen Zuwachs der Maisanbauflächen nimmt jedoch auch die potentielle Befallsfläche des Westlichen Maiswurzelbohrers kontinuierlich zu.

Ziel dieser Arbeit ist es, die potentielle Gefahr abzuschätzen, die der Westliche Maiswurzelbohrer für den Energiemaisanbau in Deutschland darstellt. Dabei wird einerseits auf die möglichen Bekämpfungsmaßnahmen und Alternativen zum Anbau von Mais eingegangen, andererseits werden mögliche Entwicklungsszenarien vorgestellt, die das Leben mit dem Westlichen Maiswurzelbohrer und die damit verbundenen Konsequenzen darstellen. Da sich der Westliche Maiswurzelbohrer in den letzten Jahren vor allem im Rheingraben etablieren konnte, wurde zusätzlich ein Monitoring entlang der Autobahn A 5 zwischen Gießen und Karlsruhe durchgeführt, welches zum Ziel hatte, eine mögliche Verbreitung dieses Schädling über Transportmittel entlang von Autobahnen nachweisen und nachvollziehen zu können. Dazu wurden Pheromonfallen an Autobahnraststätten und -parkplätzen aufgestellt und über einen Zeitraum von 8 Wochen wöchentlich kontrolliert und mit neuen Pheromonträgern versehen.

2 Wissensstand

2.1 Biologie des Westlichen Maiswurzelbohrers

Der Westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) gehört zu der Familie der Blattkäfer (*Chrysomelidae*) und stammt ursprünglich aus Zentralamerika (Smith 1966). Er entwickelte sich im Laufe der Zeit parallel zum Anbau von Mais (*Zea mays*) in Mexiko, sodass er vor ca. 3000 Jahren die Region erreichte, die heute als der

Süd-Westen der USA bekannt ist (Krysan & Smith 1987). Mit Zunahme des Maisanbaus dehnten sich auch die Befallsgebiete des Käfers aus. In den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts erreichte er den „Corn-Belt“ der USA; in den 80er Jahren hatte er sich schon bis zur Ostküste Amerikas verbreitet (Metcalf 1983, Spencer et al. 2005). Im Jahre 1992 erreichte er nachweislich erstmals Europa, wo er am Belgrader Flughafen entdeckt wurde (Baca 1993). *Diabrotica virgifera virgifera* ist zurzeit die einzig vorkommende Art dieser Gattung in Europa, während in Amerika hunderte Arten der Gattung *Diabrotica* vertreten sind. Mit einer Körperlänge von 5-7 mm ist dieser Käfer relativ klein. Der Kopf ist dunkel gefärbt, Abdomen und Halsschild sind gelblich. Die Flügel der Weibchen sind meist gelb gefärbt und haben drei schwarze Längsstreifen, während die Flügel der Männchen meist dunkel bzw. schwarz gefärbt sind (Abb. 7). Die männlichen Individuen sind generell etwas kleiner als die Weibchen, haben längere Fühler und sind dunkler gefärbt.



Abb. 7: Weibchen (links) und Männchen (rechts) des Westlichen Maiswurzelbohrers.⁷

Die Käfer schlüpfen meist Ende Juni und haben eine aktive Flugzeit bis in den Oktober hinein. Mit sinkenden Temperaturen und der Maisernte verschwindet der Käfer wieder. Die Weibchen legen pro Jahr ca. 500-1000 Eier (Abb. 8), welche 0,3-0,5 mm groß sind und in Gelegen von bis zu 80 Eiern abgelegt werden. Die abgelegten Eier überwintern im Boden (Diapause), sodass die Larven erst im darauffolgenden Jahr schlüpfen. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,2% kann es auch zu einer zweijährigen Überwinterungsphase kommen (Julius Kühn-Institut 2009). Die Larven sind weißlich gefärbt, Kopf und Hinterende sind bräunlich. Der Körper der Larven ist langgestreckt und besitzt drei Brustbeinpaare. Die Entwicklung der Larven wird in drei Stadien

⁷ <http://www.zin.ru/Animalia/Coleoptera/eng/diabvirg.htm> (15.09.11).

unterteilt. Im L1-Stadium sind die Larven noch relativ klein (ca. 3mm). Im L1- und im L2-Stadium ernähren sich die Larven hauptsächlich von den Feinwurzeln der Maispflanzen. Im L3-Stadium (Abb. 8) besitzen die Larven bereits eine Größe von 18 mm und sind in der Lage, in die Hauptwurzeln und somit in die Stängel der Maispflanzen einzudringen und an diesen zu fressen.



Abb. 8: Vergrößerte Darstellung des Eis (links) und des 3. Larvenstadiums (rechts) des Westlichen Maiswurzelbohrers.⁸

Dieser Fraß führt bei den Maispflanzen oft zu Wasser- und Nährstoffstress und zur Beeinträchtigung der Standfestigkeit, sodass es zum Abknicken der Pflanzen kommt. Unter feuchten Bedingungen sind die Maispflanzen in der Lage, sich wieder aufzurichten (Gänsehals-Syndrom) (Abb. 9). Ertragseinbußen können dadurch jedoch nicht mehr kompensiert werden.



Abb. 9: Gänsehals-Syndrom einer Maispflanze.⁹

⁸<http://www.ages.at/ages/landwirtschaftliche-sachgebiete/pflanzengesundheit/maiswurzelbohrer/schadorganismus/> (15.09.11).

⁹http://www.endure-network.eu/var/endure/storage/images/media/images/wcr_goose_necking/39738-1-eng-GB/wcr_goose_necking_reference.jpg (15.09.11).

Der Larvenfraß an den Wurzeln kann unter feuchten Bedingungen auch zu sekundären Pilzinfektionen im Wurzelbereich führen (Wurzelfäule). Den Verlust der Wurzelmasse versucht die Maispflanze mit Neubildungen zu kompensieren, welches zu Lasten der ertragsbildenden Pflanzenteile geht. Bei guten Witterungsbedingungen sind Ertragsverluste von ca. 30% zu erwarten, bei schlechten Bedingungen wie beispielsweise lange Trockenheit wurden schon Verluste von bis zu 90% verzeichnet. Haben die Larven das L3-Stadium durchlaufen, kommt es zur Verpuppung im Boden. Diese Verpuppungsphase dauert meist eine Woche, sodass mit den ersten Käfern Anfang bis Mitte Juli gerechnet werden kann (Zellner et al. 2010). Nach dem Schlupf beginnen die Käfer zunächst mit einem ca. 10 tägigen Reifungsfraß an Maisblättern und auch an den Narbenfäden der Kolben. Der Fraß an den Narbenfäden führt letztendlich zu einer verminderten Befruchtung, was einen geringeren Kornertrag nach sich zieht. Nach der Phase des Reifungsfraßes kommt es zur Paarung und der darauffolgenden Eiablage der Weibchen, welche ca. 4 Wochen dauert. Die Eier werden in die oberen Schichten der Bodenkrume abgelegt, sodass auch eine Verbreitung der Eier und somit auch der Käfer durch an bodenbearbeitenden landwirtschaftlichen Maschinen anhaftender Erde stattfinden kann (Rüb et al. 2011).

2.2 Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers in Europa

Im Jahre 1992 erreichte der Westliche Maiswurzelbohrer nachweislich erstmals Europa, wo er am Belgrader Flughafen entdeckt wurde (Baca 1993). Es wird angenommen, dass es einen Zeitraum von fünf bis sechs Jahren in Anspruch nimmt, bis Käferpopulationen ökonomische Schäden anrichten können. Kiss et al. (2001) vermuten demnach, dass der Westliche Maiswurzelbohrer bereits Mitte der 80er Jahre Serbien erreichte. Miller et al. (2005) fanden heraus, dass der Käfer nicht durch eine einmalige Verschleppung nach Europa gelangte, sondern dass drei voneinander unabhängige Routen für die Invasion Europas verantwortlich sind. Dazu zählen die Einschleppung nach Osteuropa (Serbien, 1992), nach Nord-West Italien (2000) sowie die Einschleppung nach Paris im Jahr 2002. Ciosi et al. (2008) führten genetische Untersuchungen durch und kamen zu dem Ergebnis, dass der Westliche Maiswurzelbohrer nicht über drei, sondern über fünf verschiedene Routen nach Europa kam. Bei den Regionen, die durch diese Einwanderungen betroffen sind, handelt es sich um Osteuropa, Nord-West Italien, Großbritannien, das Elsass, sowie Paris im Jahr 2004 (Abb. 10).

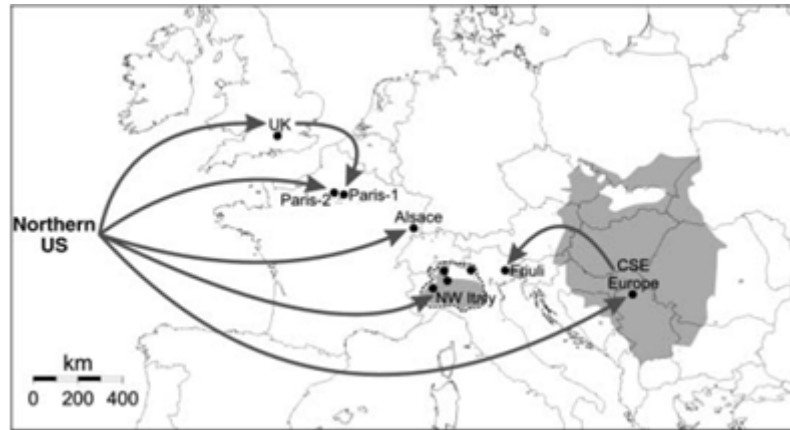


Abb. 10: Mögliche Routen der Einschleppung des Westlichen Maiswurzelbohrers.¹⁰

Desweiteren gehen die Autoren davon aus, dass sich die erste Invasion von Paris im Jahr 2002 durch eine Verschleppung aus Großbritannien entwickelte. Als Hauptfaktor der Verschleppungen über weite Strecken werden Verkehrs- bzw. Transportmittel genannt. Hierbei ist anzunehmen, dass die Invasion der Länder Jugoslawien, Italien, Schweiz, Frankreich, Tschechien, Belgien, Niederlande und Großbritannien mittels diverser Transportmittel, und die Ausbreitung in Ungarn, Kroatien, Rumänien, Bosnien-Herzegowina, Bulgarien, Slowakei, Ukraine, Österreich und Slowenien auf natürlichem Wege erfolgte (Baufeld 2011). Innerhalb Europas verbreitete sich der Westliche Maiswurzelbohrer sehr rasch. Da man direkt nach der Einschleppung mit dem Monitoring mittels verschiedener Fallenarten (Cucurbitacin-Fallen, Multigard[®] Yellow Sticky-traps und Pheromonfallen) begann, ließen sich die Verbreitungswege des Westlichen Maiswurzelbohrers nachvollziehen. So konnte festgestellt werden, dass bereits im Jahr 1993 die befallene Fläche in Serbien ca. 10.000 km² betrug, im darauffolgenden Jahr waren es 20.000 km² (Sivcev et al. 1994). 1995 konnten die ersten Individuen in Kroatien (Igrc-Barcic & Maceljsky 1996) und Ungarn (Princzinger 1996) nachgewiesen werden. In den Jahren 1996 und 1997 wurde der Käfer bereits in Rumänien (Vonica 1996) respektive in Bosnien-Herzegowina (Festić et al. 1998) entdeckt. Auch hier wurden Multigard[®] Yellow Sticky Traps, sowie ungarische Pheromonfallen (Csalomon PAL) zur Überwachung aufgestellt. Schon jetzt begann man in Deutschland (Baden-Württemberg) mit einer prophylaktischen Überwachung mittels PAL-Pheromonfallen (Harmuth 2008). Eine besondere Rolle in Bezug auf die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers spielt das Jahr 1998. Neben der

¹⁰ Ciosi et al. (2008): Invasion of Europe by the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera*: multiple transatlantic introductions with various reductions of genetic diversity; Journal compilation, Blackwell Publishing Ltd; 3614-3627.

Ausbreitung nach Bulgarien und Montenegro wurde erstmals eine punktuelle Verbreitung in Italien nahe der Stadt Venedig festgestellt (Ciosi et al. 2008, Furlan et al. 1998). Erfahrungen zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit eines „jumping spread“, also einer sprunghaften Verbreitung aus einer Population heraus, mit der Größe der befallenen Fläche wächst (Kiss et al. 2005a). In der Schweiz und in der Slowakei konnte der Käfer erstmals im Jahr 2000 gefunden werden. Diese Funde wurden mittels einer anderen Fallensorte (Pherocon AM Trap) gemacht. Diese Art von Fallen war in den USA etabliert und somit konnte man die Anzahl der in Europa gefangenen Käfer mit denen der USA vergleichen und dadurch eine eventuelle wirtschaftliche Gefährdung prognostizieren (Kiss et al. 2005a). Der Westliche Maiswurzelbohrer verbreitete sich mit enormem Tempo, sodass er 2001 bereits in der Ukraine entdeckt wurde (Movchan et al. 2001). Die Populationen, die zu diesem Zeitpunkt nachgewiesen wurden, führten in Teilen Serbiens, Kroatiens, Rumäniens und Ungarns bereits zu erheblichen wirtschaftlichen Schäden in Form von Lagerungen, resultierend aus Fraßschäden der Larven an den Maiswurzeln. Im darauffolgenden Jahr breitete sich der Käfer weiter nach Norden und Osten aus. In Serbien, Bosnien Herzegowina und Kroatien verbreitete er sich durchschnittlich um 20 bis 30 km pro Jahr (Kiss et al. 2005a). Doch auch die Verbreitung nach Westen, hin zu Österreich (Cate 2002) und Tschechien (Rasovsky & Vahala 2002) wurde erstmals im Jahr 2002 registriert. In Frankreich tauchte der Käfer ebenfalls erstmals im Jahr 2002 in der Nähe von Paris auf. Wie bereits erwähnt, könnte diese Population aus einer sprunghaften Verbreitung ausgehend von Großbritannien entstanden sein. Die Diskussion, inwieweit die Käferfunde in Paris mit einer Einschleppung aus Großbritannien zusammenhängen, führte dazu, dass man im Sommer 2003 mit einem Monitoring in diversen Maisfeldern im Vereinigten Königreich begann. Es konnten auf Anhieb einige Käfer nachgewiesen werden. Die große Zahl der gefangenen Käfer ließ darauf schließen, dass es sich um eine bereits etablierte Population handelte. Somit stand fest, dass der Westliche Maiswurzelbohrer schon mindestens ein Jahr in Großbritannien vertreten war (Cheek et al. 2004). Dies lässt darauf schließen, dass Großbritannien die Quelle für die Funde in Paris, welche im Jahr 2002 gemacht wurden, sein könnte. Die im Jahr 2004 in Frankreich entdeckten Käfer werden einer Verschleppung aus Amerika zugewiesen (Ciosi et al. 2008). Die Eroberung Europas durch den Westlichen Maiswurzelbohrer setzte sich auch im Jahr 2003 fort. In den befallenen Ländern konnte die Expansion verschiedener Populationen nachgewiesen werden. In Bosnien-Herzegowina, Serbien und Rumänien war die

Verbreitung jedoch unterdurchschnittlich, da der Westliche Maiswurzelbohrer natürliche Barrieren wie beispielsweise Berge, welche höher als 900 m sind, nicht überwinden kann (Baufeld &ENZIAN 2004). Doch auch diverse abiotische Faktoren, wie Trockenheit, hohe Temperaturen und Bodeneigenschaften schränken die Verbreitung des Käfers auf natürliche Weise ein (Kuhlmann & Töpfer 2005). Eine signifikante Ausbreitung konnte jedoch im Jahr 2003 in Italien festgestellt werden, in einer Region, in welcher der intensive Maisanbau prägend war. Zudem kamen erste Käferfunde in Belgien (Ciosi et al. 2008), den Niederlanden (Lammers et al. 2003) und, wie bereits erwähnt, in Großbritannien hinzu. Die im Jahr 2003 vom Westlichen Maiswurzelbohrer befallene Fläche in Europa wird auf ca. 311.000 km² geschätzt. Rund 70.000 km² wiesen einen ökonomischen Schaden durch adulte Käfer auf, 97 km² waren durch Larvenfraß geschädigt. In diesem Jahr waren auch erstmals deutsche Landwirte von den Auswirkungen des Westlichen Maiswurzelbohrers betroffen. Durch den Befall im Elsass wurde eine Sicherheitszone mit einem Radius von 5 km um diesen Fundort herum eingerichtet (siehe Seite 25). Diese Sicherheitszone reichte bis in den benachbarten baden-württembergischen Landkreis Lörrach hinein, wo daraufhin Insektizide zum Einsatz kamen, bzw. Fruchtfolgemeasures durchgeführt werden mussten (Glas & Staer 2010). In den darauffolgenden Jahren verbreitete sich der Käfer kontinuierlich. So kam es zu weiteren punktuellen Verschleppungen in Frankreich, Belgien und den Niederlanden. In Polen wurde der Westliche Maiswurzelbohrer erstmals im Jahr 2005 nachgewiesen, wo er sich kontinuierlich verbreitet (Harmuth 2008). Im Jahre 2007 konnte der Westliche Maiswurzelbohrer in 20 europäischen Ländern nachgewiesen werden. In Ungarn war der Befall mit 93.000 km² am größten. Darauf folgten Serbien-Montenegro mit 73.000 km² und Rumänien mit 65.000 km² (Kiss et al. 2005a). Auch in den darauffolgenden Jahren konnte sich der Westliche Maiswurzelbohrer in weiteren Teilen Europas etablieren, sodass er im Jahr 2010 in über 20 Ländern vertreten war (Abb.11).

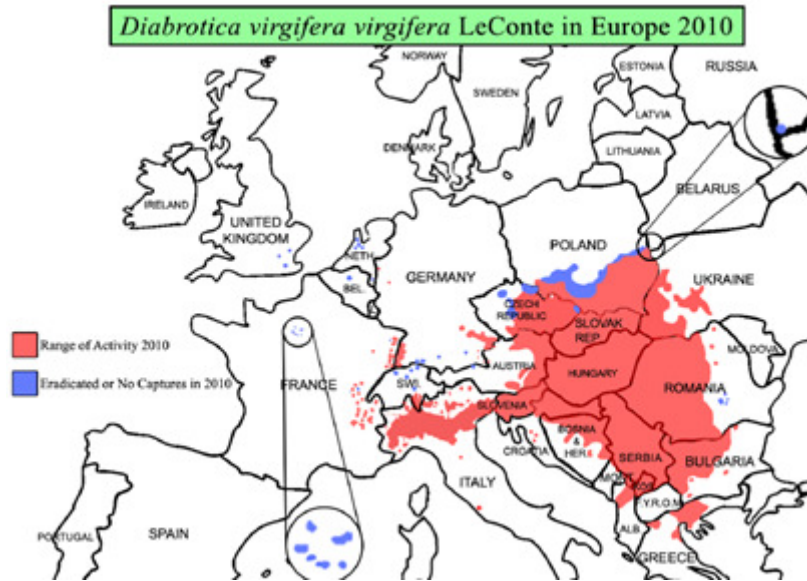


Abb. 11: Die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers in Europa (Stand 2010). Rot=Aktivität im Jahr 2010, Blau=ausgerottet, bzw. keine Funde 2010.¹¹

2.3 Ausbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers in Deutschland

Schon im Jahr 2004 gingen Hummel et al. (2004) davon aus, dass sich der Westliche Maiswurzelbohrer über Transportwege wie Bahnstrecken und Straßen den Weg von der Schweiz bis nach Baden-Württemberg bahnen könnte. Auch Benker (2009) machte die Annahme, dass Autobahnen wie beispielsweise die A8 von Linz nach Passau, oder die A3 von Passau nach Regensburg für eine erfolgreiche Invasion des Käfers in Bayern verantwortlich sein könnten. Es war demnach nur eine Frage der Zeit, bis es zum ersten Nachweis von *Diabrotica virgifera virgifera* in Deutschland kommen würde.

Der erste Fund in Deutschland wurde im Jahr 2007 gemacht. In Baden-Württemberg, wo man schon seit 1997 Monitoringmaßnahmen mit Pheromonfallen durchführte, wurden im Jahr 2007 352 Käferfunde (Ortenaukreis 6 Exemplare, Bodenseekreis 346 Exemplare) und in Bayern 239 Käferfunde registriert. Es wurden sofort Befallszonen, sowie Sicherheitszonen eingerichtet und Eradikationsmaßnahmen durchgeführt. Diese Maßnahmen führten dazu, dass im Jahr 2008 in Baden-Württemberg nur noch 77 Käfer gefunden wurden. Die Bekämpfung im Bodenseekreis verlief erfolgreich, da in diesem Landkreis im Jahr 2008 kein Käferfund mehr gemacht wurde. Im Ortenaukreis hingegen stieg die Zahl der gefangenen Käfer von ursprünglich 6 auf 76. Dies konnte

¹¹ <http://www.biosicherheit.de/basisinfo/139.schaedling-erobert-europa.html> (15.09.11).

durch eine zu spät erfolgte Spritzung erklärt werden. Denn zum Zeitpunkt der Insektizidapplikation in 2007 hatten die Weibchen bereits ihre Eier abgelegt. In Ravensburg wurde ein einziger Käfer entdeckt. Nach einer zweimaligen Spritzung konnten keine weiteren Käferfunde registriert werden. In Bayern ließ sich der Käferbefall kaum reduzieren. Im Jahr 2008 wurden auf dem gleichen Befallsgebiet des Vorjahres noch immer 222 Käfer gefunden (Glas & Staer 2010). Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2010) prognostizierte ausgehend von diesen Zahlen mögliche Ernteausfälle in Höhe von 20 bis 30% in den folgenden fünf bis sechs Jahren, sollte weiterhin auf einen intensiven Maisanbau mit Mais nach Mais als Fruchtfolge gesetzt werden. Einschätzungen dieser Behörde zufolge sind ca. 30.000 ha der insgesamt 420.000 ha Maisanbaufläche in Bayern stark gefährdet. Um bessere Monitoringergebnisse zu erzielen, wurde im Jahr 2008 die Zahl der Pheromonfallen in Niederbayern von 369 auf 2079 und in Oberbayern von 232 auf 325 erhöht (Benker 2009). Im Jahr 2009 wurden in Baden-Württemberg erneut 218 Käfer registriert. Aufgrund der weiträumig verteilten Fänge (Ortenaukreis 93, Emmendingen 89, Konstanz 8, Lörrach 28) konnte man davon ausgehen, dass eine erfolgreiche Eradikation dieser Populationen nicht mehr möglich war. Demnach ging man in Übereinstimmung mit der Maiswurzelbohrerbekämpfungsverordnung (MaiswBekV) zu Eingrenzungsmaßnahmen über. Das Ziel der Eingrenzungsmaßnahmen liegt darin, eine weitere Populationszunahme zu verhindern und eine Verbreitung in bislang nicht befallene Gebiete zu unterbinden. Die Präsenz des Westlichen Maiswurzelbohrers wird demnach akzeptiert, seine Populationsgrößen jedoch auf einem geringen Niveau gehalten. Im Jahr 2009 stieg die Anzahl der Käferfänge in Baden-Württemberg drastisch an. Waren es im Jahr 2008 noch 77 Fänge, so konnten in 2009 bereits 218 Fänge gemacht werden. Vor allem in den Kreisen Emmendingen, Konstanz und Lörrach, wo in der vorherigen Jahren keine Funde gemacht wurden, war die Zahl der Fänge unerwartet hoch (Emmendingen: 89 Käfer, Konstanz: 8 Käfer, Lörrach: 28 Käfer). In Bayern hingegen gingen die Käferfunde von 222 im Jahr 2008 auf 100 im Jahr 2009 zurück. Nach der Erntezeit im Jahr 2009 umfasste das Eingrenzungsgebiet in Bayern die Städte Passau, Regensburg und Straubing. Die Landkreise, die von diesen Maßnahmen betroffen waren, waren Cham, Deggendorf, Dingolfing-Landau, Freyung-Grafenau, Kelheim, Passau, Regen, Regensburg, Rottal-Inn und Straubing-Bogen (Glas & Staer 2010). In Baden-Württemberg verbesserte sich die Situation auch im Jahr 2010 nicht. Die Käferfunde stiegen auf 308. Vor allem im Landkreis Breisgau-

Hochschwarzwald wurden viele Fänge verzeichnet. Wurde im Jahr 2009 noch kein Käfer nachgewiesen, waren es im darauffolgenden Jahr schon 104. Dies führte dazu, dass neben diesem Landkreis auch der Landkreis Lörrach zum Eingrenzungsgebiet zugeschlagen wurde. Die Eradikationsmaßnahmen in dieser Region endeten damit in 2010. Auch in Bayern verschlechterte sich die Situation. Die Zahl der Fänge stieg im Jahr 2010 von 100 auf 176. Zusätzlich wurden 11 Käfer in Nordrhein-Westfalen (Köln-Wahn: 10 Käfer, Herongen: 1 Käfer) gefunden (Abb. 12, 13). Die Fruchtfolge wird als probates Mittel gegen den Schädling eingesetzt. So konnten die Schäden zumindest bis zum jetzigen Zeitpunkt unter der wirtschaftlichen Schadensschwelle gehalten werden. In Konstanz werden jedoch noch Eradikationsmaßnahmen in Form von Fruchtfolgewechsels und Insektiziden bis einschließlich 2011 durchgeführt.

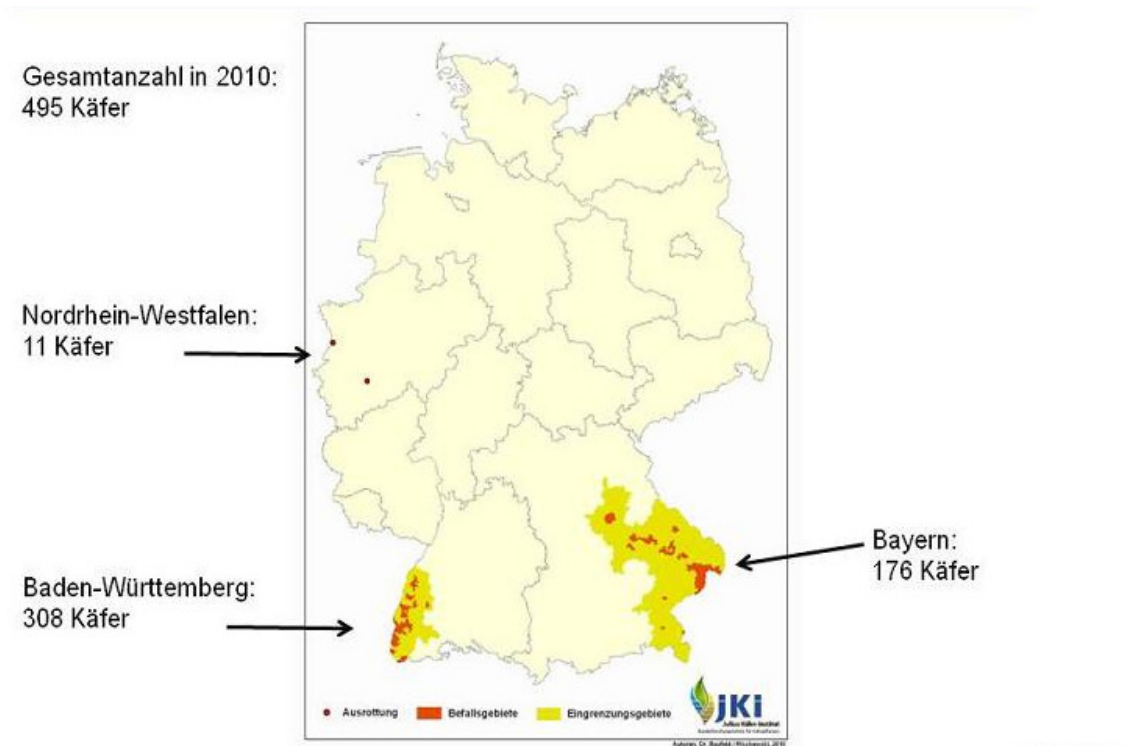


Abb. 12: Käferfunde im Jahr 2010 in Deutschland (rot=Befallsgebiete, gelb=Eingrenzungsgebiete).¹²

¹² jki.bund.de

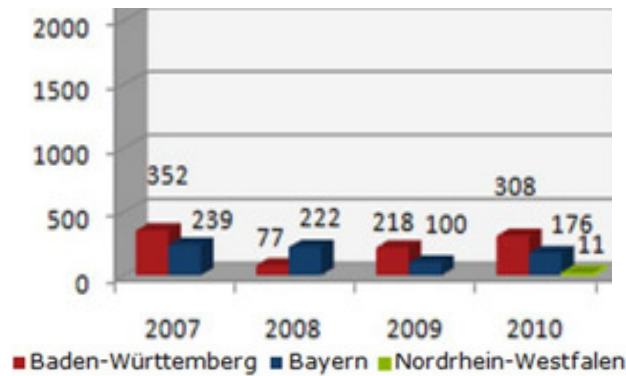


Abb. 13: Käferfunde in Deutschland für den Zeitraum 2007-2010.¹³

2.4 Möglichkeiten, die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers einzugrenzen

Der Westliche Maiswurzelbohrer wird als wirtschaftlich bedeutendster Maisschädling im intensiven Maisanbau eingestuft. Zur Regulation dieses Schädling wurden bereits einige Bekämpfungsmethoden erforscht und angewandt.

2.4.1 Quarantänemaßnahmen

Diabrotica virgifera virgifera wird in der EU als Quarantäneschädling eingestuft (Richtlinie 2000/29/EG). In allen Mitgliedstaaten müssen verbindliche Quarantänemaßnahmen durchgeführt werden. Im Jahr 2003 wurde wegen zunehmender Einschleppungen eine Entscheidung über Sofortmaßnahmen getroffen (2003/766/EG), welche in den Jahren 2006 (Entscheidung 2006/564/EG) und 2008 (Entscheidung 2008/644/EG) ergänzt wurde. Die Ausrottung in bisher befallsfreien Gebieten umfasst die Meldepflicht bei vermutetem oder bestätigtem Auftreten von *Diabrotica*, die Durchführung eines amtlichen Monitorings und bei der Feststellung eines Befalls das Errichten einer Befallszone mit einem Radius von 1 km um die befallene Fläche und das Errichten einer Sicherheitszone mit einem Radius von 5 km um die Befallszone. Diese Sicherheitszone soll ein Verschleppen aus der Befallszone verhindern.

Bei Ausrottungsmaßnahmen in der Befallszone gelten folgende Auflagen:

- Bei einem Auftreten oder dem Verdacht eines Auftretens von *Diabrotica* ist dies sofort dem zuständigen Pflanzenschutzdienst zu melden.
- Durchführung eines intensiven Monitorings mit Pheromonfallen.

¹³http://www.transgen.de/features/zoomimage.php?image=/data/imagescontent/anbau/992_kaeferfunde_2011-08-20_zoom.jpg&width=800&height=732 (15.09.11).

- Nach der Festsetzung einer Befallszone darf kein Anbau von Mais für mindestens 2 Jahre stattfinden.
- Nach einer Befallsfeststellung muss eine Bekämpfung der adulten Käfer bis zum Ende der Eiablageperiode auf den Maisfeldern mit einem wirksamen Insektizid durchgeführt werden.
- Zeitlich begrenzte Verbringungsverbote für Maispflanzen und Erde sowie Erntebeschränkungen.
- Landwirtschaftlichen Maschinen, die auf Maisfeldern zum Einsatz kamen, müssen vor dem Verlassen der Befallszone gründlich gereinigt werden.
- Vernichtung von Maisdurchwuchs.

In der Sicherheitszone gelten folgende Auflagen:

- Nach einer Befallsfeststellung darf in zwei aufeinander folgenden Jahren nur einmal Mais angebaut werden (zweijährige Fruchtfolge) oder
- Durchführung von Bekämpfungsmaßnahmen auf den Maisflächen im Befalls- und Folgejahr.

Es kommt zu Eingrenzungsmaßnahmen, wenn sich der Westliche Maiswurzelbohrer nach mehr als zwei aufeinanderfolgenden Jahren nicht mehr ausrotten lässt. Die Einhaltung der Fruchtfolge und das Aufbringen von Bodeninsektiziden, sowie die Insektizidspritzung sind wichtige Maßnahmen. Darüber hinaus beinhaltet die EU-Eingrenzungsempfehlung 2006/565/EG die Festlegung einer Eingrenzungszone mit mindestens 10 km Radius in der Befallszone und mindestens 30 km Radius in der angrenzenden nicht befallenen Zone.

In der Eingrenzungszone gelten folgende Auflagen:

- Kein Anbau von Mais nach Mais innerhalb von 2 Jahren oder
- Anbau von 2 Mal Mais innerhalb von 3 Jahren, wenn die Aussaat des Mais mindestens 1 Mal nach dem Larvenschlupf erfolgt oder
- Anbau von 2 Mal Mais innerhalb von 3 Jahren, wenn jeweils eine wirksame Insektizidbekämpfung gegen die adulten Käfer im Mais oder ähnlich wirksame Maßnahmen durchgeführt werden.

2.4.2 Eingrenzung mittels MSD-Methode

Eine umweltfreundliche, kostengünstige und relativ simple Methode, um die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers einzugrenzen, ist die sogenannte „MSD“-Methode. MSD steht für *mass trapping, shielding* und *diversion*, was so viel bedeutet wie Massenabfang, Abschirmung und Umlenkung. Bei dieser Methode werden sowohl Sexuallockstoffe (Pheromone) der weiblichen Käfer (welche nur eine Wirkung auf das Verhalten der männlichen Tiere ausüben), als auch Signalstoffe von Pflanzen (Kairomone) verwendet. Diese Kairomone wirken bei männlichen, genauso wie bei weiblichen Individuen. Die Stoffe werden von den Käfern wahrgenommen und führen zu einer Verwirrung. Bei einem Einsatz von Pheromonen können potentielle Geschlechtspartner nicht mehr wahrgenommen, beziehungsweise gefunden werden. Kairomone hingegen vermitteln den Käfern das Vorhandensein einer potentiellen Nahrungsquelle und führen ebenfalls zu einer Verwirrung.

Um die Wirkungsweise dieser Duftstoffe nachzuweisen, führten Hummel et al (2006) in den Jahren 2003 und 2004 Versuche zur Anwendung der MSD-Methode mit dem Kairomon 4-Methoxyzimtaldehyd (MCA) durch, welches von Metcalf und Lampman (1989) entdeckt und optimiert wurde. Als Ergebnis konnten sie feststellen, dass der Einsatz von Kairomonfallen sowohl zu einer Reduzierung der Käferpopulation als auch zu einer reduzierten Eiablage führt.

Auch die Verwirrung der männlichen Käfer durch die Anwendung des Sexualpheromons der weiblichen Käfer (*8-methyl-2-decanol-propanoate*) scheint eine vielversprechende Alternative zu sein, jedoch ist die MSD-Methode mittels Fallen zu aufwändig. Eine Möglichkeit, die Applikation dieser Sexuallockstoffe kostengünstiger und effektiver zu machen, bietet der Einsatz von elektrogesponnen Nanofasern, welche mechanisch auf Feldern ausgebracht werden können. Die große Oberfläche dieser extrem dünnen Fasern (mindestens eine Dimension kleiner als 100 nm^5) (Hellmann et al 2009) kann zu einer lückenlosen und dauerhaft wirkenden Pheromonwolke führen, welche zu einer Verwirrung der männlichen Käfer führt und somit das Paarungsverhalten beeinflusst (Schmidt 2010).

2.4.3 Insektizide Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers

Die chemische Bekämpfung der Larven kann mittels Bodeninsektiziden (Granulaten) und gebeiztem Saatgut erfolgen. Aufgrund des Bienensterbens im Jahr 2008, welches zweifelsfrei der unsachgemäßen Aufbringung von behandeltem Maissaatgut mit dem

Beizmittel PONCHO[®] PRO und der damit verbundenen Freisetzung des Wirkstoffs *Clothianidin* zugeordnet werden konnte, ist die Aufbringung von Insektiziden bis auf weiteres verboten (Pistorius et al. 2009). Eine zeitlich begrenzte Aufbringung ist jedoch dann zugelassen, wenn laut § 12 des PflSchG „Gefahr im Verzuge“ ist. Im Jahr 2010 wurde eine solche zeitlich begrenzte Genehmigung für die Anwendung des insektiziden Granulats mit dem Wirkstoff *Tefluthrin* erteilt. Bei diesem Granulat handelte es sich um das Produkt FORCE[®] 1,5G. Dieses Granulat erzielt die höchsten Wirkungsgrade und wird vor allem bei starkem Befallsdruck eingesetzt. Der enthaltene nichtsystemische Wirkstoff *Tefluthrin* weist eine sehr gute Kulturverträglichkeit auf und ist daher optimal für den Einsatz in sensiblen Inzuchtlinien in der Hybridmaisvermehrung geeignet. Auch im Jahr 2011 kam es in dem Zeitraum vom 08.04.2011 bis zum 07.08.2011 zu einer befristeten Zulassung dieses Insektizids. Neben insektiziden Granulaten werden auch insektizide Beizmittel eingesetzt. Diese kommen bei schwachem bis mittlerem Befallsdruck zum Einsatz. Das Produkt CRUISER 350 FS wird in Deutschland gegen Drahtwürmer, die zu der Familie der Schnellkäfer (*Elateridae*) gehören und die Fritfliege (*Oscinella frit*) eingesetzt und bietet auch einen ausreichenden Schutz vor Schäden durch die Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers. Es enthält den zu den Neonicotinoiden gehörenden insektiziden Wirkstoff Thiamethoxam. Neben dem Beizmittel CRUISER 350 FS wird ebenfalls das Beizmittel PONCHO[®] PRO eingesetzt. Es enthält den Wirkstoff Clothianidin. Ähnlich wie Thiamethoxam wird dieser insektizide Wirkstoff über den Transpirationsstrom der Pflanze in die Wurzel aufgenommen und in der ganzen Pflanze verteilt. Angreifende Schädlinge nehmen den Wirkstoff auf und werden abgetötet. Im Jahr 2004 wurde das Insektizid erstmals in Deutschland und Österreich mit einer Ausnahmegenehmigung für die Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers zugelassen. PONCHO[®] PRO erfasst neben dem Westlichen Maiswurzelbohrer auch andere Insekten wie Fritfliege, Drahtwürmer, Erdeulen, Zikaden und Blattläuse und ist demnach vielseitig einsetzbar (Springer, 2004).

Neben dem Blattinsektizid KARATE ZEON, welches im Jahr 2003 zur Bekämpfung beißender und saugender Schädlinge in Deutschland zugelassen wurde, spielt auch das Blattinsektizid „Spruzit Schädlingsfrei“ eine wichtige Rolle bei der Bekämpfung der adulten Käfer. Beide Insektizide werden bei „Gefahr im Verzuge“ angewandt. KARATE ZEON enthält den Wirkstoff Lambda-Cyhalothrin, welcher nicht systemisch

wirkt. Demnach ist auf eine optimale Benetzung der Blätter zu achten (Sattler et al. 2004). „Spruzit Schädlingsfrei“ enthält Rapsöl und den Wirkstoff Pyrethrin. Dieses Insektizid wird oft im ökologischen Anbau verwendet. In Jahr 2011 wurde es für den Zeitraum vom 15.06. bis 12.10. zur Adultenbekämpfung zugelassen. Der Einsatz des Pflanzenschutzmittels BISCAYA[®] wurde für das Jahr 2011 vom 01.07. bis zum 28.10. aufgrund der „Gefahr im Verzuge“ zugelassen. Der darin enthaltene Wirkstoff Thiacloprid besitzt ein hohes Gefährdungspotenzial für aquatische Organismen. Der Einsatz dieses Pflanzenschutzmittels ist demnach höchst umstritten. Um mögliche negative Effekte einzugrenzen, wurde die genehmigte Menge vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit auf 3000 Liter beschränkt.

Die Bekämpfung der adulten Käfer mittels Insektiziden gilt als wirksame Maßnahme. Jedoch ist die Bestandeshöhe des Maises zur Hauptflugzeit des Käfers so hoch, dass die Applikation entweder mittels Stelzentraktoren, oder sogar nur mittels Flugzeugen oder Hubschraubern durchzuführen ist (Chandler & Sutter 1997). Eine ausreichende Verfügbarkeit der Stelzentraktoren zur Aufbringung der Insektizide ist zurzeit jedoch nicht immer sichergestellt (Schwabe et al. 2010). Aufgrund der langen Aktivitätsperiode der Käfer müssten desweiteren entweder die Dauer der Wirksamkeit der Insektizide verbessert, oder die Häufigkeit der Applikationen erhöht werden.

Insektizide wurden vor allem in den USA im großen Maßstab zur Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers eingesetzt. Levine und Oloumi-Sadeghi (1996) konnten nachweisen, dass 50-60% der gesamten Maisanbaufläche der USA jährlich mit Insektiziden behandelt werden. Durch den intensiven Einsatz der Insektizide auf Flächen mit jahrzehntelangem Monokultur-Maisanbau (v.a. in Nebraska) konnte sich jedoch nach und nach eine Resistenz der Käfer gegenüber verschiedenen Wirkstoffen ausbilden. Diese Resistenzen können sogar noch viele Jahre nach Absetzen der jeweiligen Insektizide nachgewiesen werden. Dies trifft beispielsweise im Falle der chlororganischen Pestizide (u.a. Aldrin) zu. Die durch den Wirkstoff hervorgerufene Resistenz wurde über mehrere Generationen vererbt, sodass sogar neu auftretende Populationen eine Resistenz gegen dieses Insektizid aufweisen. Nachdem die Resistenz der Käfer gegenüber den chlororganischen Verbindungen festgestellt wurde, versuchte man den Schädling mit anderen Chemikalien zu bekämpfen. So wurden Carbamate und Organophosphate mit den Wirkstoffen *Carbaryl*, beziehungsweise *Methyl Parathion* die meisteingesetzten Insektizide zur Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers.

Doch aufgrund eines intensiven Einsatzes konnte der Schädling auch gegen diese Insektizide eine Resistenz ausbilden (Meinke et al. 1998). Carbamate und Organophosphate zielen darauf ab, das Enzym Esterase zu deaktivieren, sodass die hydrolytischen Vorgänge der Verdauung der Käfer unterbrochen werden. Eine Resistenz ist demnach wahrscheinlich auf eine Anpassung durch eine erhöhte Esterase-Produktion der Käfer zurückzuführen (Matsumura 1985).

Auch bei den Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers konnte eine Resistenz gegenüber *Methyl Parathion* nachgewiesen werden (Wright et al. 2000). Doch der Einsatz von Bodeninsektiziden scheint dennoch (zumindest in Kombination mit einer Fruchtfolge) eine wirkungsvolle Bekämpfungsstrategie zu sein. Denn Sutter et al. (1991) konnten feststellen, dass die Zahl der schlüpfenden Käfer je nach eingesetztem Bodeninsektizid um 16-81% reduziert werden kann.

Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass Insektizide vor allem in Europa nur in geringen Maßen eingesetzt werden sollten, um mögliche Resistenzen gegenüber diversen Wirkstoffen zu vermeiden.

2.4.4 Bekämpfung mittels Semiochemikalien

Ein Lösungsansatz beruht auf Beobachtungen von Webster (1895) und Metcalf et al. (1980). Sie beobachteten, dass *Diabrotica*-Käfer von Kürbisgewächsen angezogen wurden, die den bitteren Inhaltsstoff *Cucurbitacin* enthielten. Andersen und Metcalf (1987) konnten in einer Studie herausfinden, dass der Westliche Maiswurzelbohrer die Kürbisgewächse *C. maxima* und *C. pepo* bevorzugt. Metcalf und Lampman (1991) stellten die Hypothese auf, dass die Attraktivität der Pflanzen für die Käfer auf eine ursprüngliche parallele Entwicklung der Käfer mit den Kürbisgewächsen im Sinne einer Koevolution zurückzuführen ist. Demnach bildeten die Käfer Rezeptoren aus, die weniger auf *Cinnamaldehyde*, welche Bestandteile von Kairomonen des Maises sind, sondern auf die Inhaltsstoffe der Kürbisgewächse reagieren. Im Jahr 1992 stellten Metcalf und Metcalf (1992) fest, dass Kürbisgewächse (*Cucurbitaceae*) die ursprünglichen Wirte aller zur Gattung *Diabrotica* gehörenden Arten waren. *Diabrotica virgifera virgifera* spezialisierte sich demnach im Laufe der Zeit auf Süßgräser (*Poaceae*). Metcalf et al. (1987) dokumentierten, dass Köder, deren Insektizidmenge verringert wurde und die mit *Cucurbitacinen* versetzt waren, zu einer deutlichen Reduktion der adulten Käferpopulationen führten. *Cucurbitacine* fungieren demzufolge als Fraßstimulantien, welche die Käfer zu einer erhöhten Nahrungsaufnahme animieren.

So nehmen die Käfer eine höhere Dosis des eingesetzten Insektizids auf. Die insektizide Wirkstoffmenge kann also reduziert und somit eine sichere Käferbekämpfung durchgeführt werden (Metcalf 1986). Nachdem diese Ergebnisse bekannt wurden, begann man mit der Optimierung dieses Köders, sodass aktuelle Köder eine um 95-98% reduzierte Insektizidmenge im Vergleich zu der ursprünglichen Insektizidmenge enthalten (Tallamy et al. 2005). Metcalf et al (1987) nahmen an, dass die Effektivität dieser Fallen weiter verbessert werden könnte, wenn die Effizienz der Köder weiter verbessert wird. Lance und Sutter (1991) stellten jedoch fest, dass die Zugabe von flüchtigen Stoffen die Effektivität der Kontrollmaßnahmen nicht erhöhte. Demzufolge haben kommerzielle Firmen die Zugabe dieser Stoffe zu ihren Formulierungen noch nicht vollzogen. Doch den Käfer allein durch Insektizide zu bekämpfen, scheint nicht sehr sinnvoll. Laut Reed et al. (1991) kann eine nachhaltige Reduktion der Käferpopulation allein durch Insektizide nicht erreicht werden.

2.4.5 Bekämpfung mittels Antagonisten

Eine ebenfalls wichtige Rolle bei der Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers spielt die biologische Regulierung. In seinem Ursprungsgebiet ist *Diabrotica* natürlichen Feinden ausgesetzt. Pathogene (Gregarinen, Protozoen, Pilze, Bakterien) Nematoden (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*), Prädatoren (Milben, Käfer), sowie Parasitoide (Raupefliegen) können den Westlichen Maiswurzelbohrer befallen. Ein Einsatz dieser Gegenspieler ist umweltfreundlicher, zielgerichteter und kostengünstiger als die Anwendung von Insektiziden (Kuhlmann & Burgt 1998). Der Einsatz von entomopathogenen Nematoden wird derzeit in Freilandversuchen in Österreich und Ungarn untersucht. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass die Nematodenart *Heterorhabditis bacteriophora* eine effektive Lösung zu sein scheint. Demnach hat diese Nematodenart einen ähnlich hohen Wirkungsgrad wie die Insektizidbehandlung gegen Larven (Toepfer et al. 2010). Rasman et al. (2005) konnten nachweisen, dass ein sich um verletzte Maiswurzeln bildender β -caryophyllen Gradient dazu führt, dass die Nematoden angelockt werden und direkt die an den Wurzeln fressenden *Diabrotica*-Larven befallen. In den USA konnten nur geringe Erfolge mit dem Einsatz der Nematoden erzielt werden (Jackson 1996, Journey & Ostlie 2000). Ein vielversprechender Ansatz könnte jedoch der Einsatz von Nematoden zusammen mit dem sogenannten „center-pivot“-Bewässerungssystem sein. Der Erfolg der Bekämpfung der Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers mittels entomopathogenen Nematoden hängt allerdings auch von zahlreichen biotischen und abiotischen Einflussfaktoren ab.

Dazu zählen die Wirtsspezifität, die Fähigkeit der Nematoden, einen Wirt zu finden und der Befallsdruck durch den Schadorganismus sowie klimatische Gegebenheiten, Bodentypen und Applikationsmethoden und –zeitpunkt. Pilz et al. (2010) führten diesbezüglich einige Versuche durch. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass unabhängig von Applikationszeitpunkt und –formulierung, die Anzahl der schlüpfenden Käfer signifikant geringer als in unbehandelten Kontrollen war. Bei einer Konzentration von ca. 1×10^9 Nematoden/ha wurden 40 bis 60 % Wurzelschäden verhindert (Toepfer et al. 2010). Es konnten trotzdem noch erhebliche Wurzelschäden festgestellt werden. Dies lässt sich damit begründen, dass die Nematoden bevorzugt späte Larvenstadien, oder das Puppenstadium attackieren. Nichtsdestotrotz zeigten einige Feldversuche, dass die Nematoden zwischen zwei und fünf Monate im Boden verweilen können, insofern *Diabrotica*-Larven vorhanden waren (Kurtz et al. 2007). Durch die Zucht von Nematodenstämmen konnte die Effektivität dieser Bekämpfungsmethode erhöht werden. Die gezüchteten Nematoden können sich besonders gut in Richtung geschädigter Maiswurzeln und somit fressender Käferlarven orientieren. Diese Erkenntnisse und Ergebnisse macht sich die Industrie zu Nutze, indem sie in naher Zukunft biologische Produkte zur Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers auf den Markt bringt (Toepfer et al. 2010).

Ein anderer möglicher Gegenspieler des Westlichen Maiswurzelbohrers könnte die zu der Familie der Raupenfliegen (*Tachinidae*) gehörende *Celatoria compressa* sein. Diese Fliege befällt die adulten Käfer und injiziert ihre Eier, welche komplett entwickelte Larven enthalten, in den Körper der Käfer. Die Larven fressen den Käfer dann von innen heraus auf. Um *C. compressa* jedoch nach Europa einführen zu können, muss noch geklärt werden, inwiefern sich die Fliege an die klimatischen Bedingungen anpassen kann bzw. angepasst ist. Nichtsdestotrotz ist diese Art der Bekämpfung nach den heutigen Erkenntnissen nicht dafür geeignet, als alleiniges Mittel gegen den Westlichen Maiswurzelbohrer eingesetzt zu werden. In Kombination mit anderen Bekämpfungsstrategien ist jedoch der Einsatz von biologischen Maßnahmen eine Möglichkeit, die Ausbreitung dieses Schädling einzudämmen (Kuhlmann et al. 2005).

2.4.6 Die Überschwemmungsmethode

Einige wenige Studien haben gezeigt, dass Überschwemmungen von Feldern als mögliche Option zur Bekämpfung diverser ökonomischer Schädlinge eingesetzt werden kann. Um die Effektivität dieser Methode nachzuweisen, führten Hoback et al. (2002)

diesbezüglich Versuche mit verschiedenen Insekten durch, unter anderem auch mit *Diabrotica virgifera virgifera*. Dazu züchteten sie Larven heran, welche kurz vor dem Erreichen des dritten Larvenstadiums in mit Wasser gefüllte Gefäße gelegt wurden. Um auch eine Abhängigkeit der Temperatur nachzuweisen, wurde dieser Versuch jeweils mit 10, 15, 20 und 25° C Umgebungstemperatur durchgeführt. Um die Überlebensrate zu ermitteln, wurden Larven zu verschiedenen Zeitpunkten entnommen. Larven, die sich auch 24 Stunden nach der Entnahme nicht bewegten, wurden für tot erklärt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Überlebensdauer bei niedrigeren Temperaturen länger als bei höheren Temperaturen ist. Demzufolge konnten die Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers bei 25° C rund 26 Stunden überleben, bei 10° C jedoch 72 Stunden. Ein Anstieg der Lactate in den Larven während der Eintauchzeit lässt darauf schließen, dass die Larven in der Lage sind, anaeroben Stoffwechsel zu betreiben und somit die sauerstofffreie Phase zu überbrücken. Desweiteren konnte nachgewiesen werden, dass die Larven des zweiten Stadiums wesentlich länger ohne Sauerstoff überleben können als die Larven des dritten Stadiums. Die Eier des Westlichen Maiswurzelbohrers sind sogar nahezu resistent gegenüber Überschwemmungen, sodass trotz einer langen Überschwemmungsphase komplett entwickelte Larven schlüpfen können. Die *Diabrotica*-Larven können nur geringe Distanzen im Boden zurücklegen. Ausschlaggebend für die Fortbewegung der Larven sind Bodeneigenschaften wie Bodenstruktur, Lagerungsdichte und Bodenfeuchte. Sind die Bodenporen über einen längeren Zeitraum mit Wasser gefüllt, könnte dies einen Einfluss auf die Entwicklung der Population haben, da sich die Larven nicht mehr zu den Maiswurzeln hinbewegen können. Eine länger andauernde Überschwemmungsphase würde sich jedoch negativ auf die Pflanzen und somit auf den Ertrag auswirken. Eine weitere Problematik ist, dass der Zeitpunkt der Überschwemmung exakt an den Zeitpunkt des Larvenschlupfs angepasst werden muss. Denn die Eier sind wie bereits erwähnt resistent gegenüber Sauerstoffmangel, und sobald sich die Larven in den Wurzeln der Maispflanzen befinden, können sie auf den Sauerstoff der Pflanze zugreifen. Die Überschwemmung müsste demnach zur Zeit des Schlupfes, zur Zeit der Wurzel-zu-Wurzel Bewegung, oder während der Verpuppung stattfinden. Ob sich diese Methode weiterentwickeln lässt, müssen weitere Versuche unter verschiedenen natürlichen Konditionen zeigen.

2.4.7 Bekämpfung mittels *Bt*-Mais

Durch Fortschritte in der Molekularbiologie konnten genetisch veränderte Maissorten entwickelt werden, die dem Schädlings- und Krankheitsdruck standhalten und die

Aufbringung von Herbiziden tolerieren. Die Einführung dieser genetisch verbesserten Sorten in den USA führte zu einer besseren Produktivität und zu höheren Erträgen. Gianessi et al. (2002) veranschlagen, dass die acht verschiedenen genetisch veränderten Maissorten, die im Jahr 2002 auf dem Markt waren, einen Rückgang des Einsatzes von Pestiziden um 21.000 Tonnen pro Jahr in den USA bewirkten. Der Grund für die Resistenz gegen den Westlichen Maiswurzelbohrer ist ein Gen, welches von einem Bodenbakterium stammt, dem sogenannten *Bacillus thuringiensis Berliner* (Bt). Dieses Bakterium bildet während der Ruhephase und der Sporulation parasporale Kristalle aus, welche Proteine enthalten, die toxisch auf bestimmte Insekten wirken. 1991 entdeckten Rupa et al. (1991) das Gen, welches kristallartige Proteine mit insektizider Wirkung gegen den Südlichen Maiswurzelbohrer (*D. u. howardi*) bildet. Donovan et al. (1992) gelang im darauffolgenden Jahr die Isolation und die Sequenzierung dieses Gens. Es erhielt den Namen CryIII^B2 und wurde später in Cry3Bb1 umbenannt (Crickmore et al. 1998). Monsanto entwickelte aus der *Bt*-Unterart *kumamotoensis* eine Variante dieses Gens, welche eine verbesserte insektizide Wirkung gegen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica spp*) aufweist. Die Variante des Gens Cry3Bb1 weist eine um den Faktor acht erhöhte letale Wirkung im Vergleich zum Wild-Typ auf (English, et al., 2000). Um zu testen, wie dieses Gen in einer Pflanze wirkt, wurde es in verschiedene Zuchtlinien eingebracht. Es stellte sich heraus, dass die Sorte MON 863 als Träger dieses Gens optimal geeignet ist. Diese Sorte wurde „YieldGard[®] Rootworm maize“ genannt. Um die Nahrungs- und Futtermittelsicherheit dieser gentechnisch veränderten Maissorte zu gewährleisten, wurden diverse Analysen durchgeführt, in denen die Inhaltsstoffe von YieldGard[®] Rootworm Mais mit denen des konventionellen Mais verglichen wurden. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass alle gemessenen 51 Inhaltsstoffe des gentechnisch veränderten Mais in nahezu gleicher Konzentration auftraten, wie in konventionellem Mais. Die Zusammensetzung der Körner und des Grünschnitts des *Bt*-Mais ist identisch mit denen des konventionellen Mais (Ward et al. 2005). Die Wirkungsweise der *Bt*-Kristall Proteine wurde von English & Slatin (1992) und von Menestrina & Semjen (1999) beschrieben. Nach der oralen Aufnahme der *Bt*-Kristalle kommt es zur Auflösung dieser im Mitteldarm der Insekten und zum darauf folgenden proteolytischen Abbau der gelösten Cry-Proteine durch Verdauungsenzyme. Bei diesem Abbau kommt es zur Aktivierung des Toxins. Dieses Toxin diffundiert durch die peritrophe Membran in das Mitteldarmepithel, wo es an spezielle Rezeptoren, welche sich auf der Oberfläche dieser Epithelien befinden, gebunden wird (Wolfersberger et al.

1986, Hoffman et al. 1988). Die Poren in der Membran führen nun zu einem Ausströmen von intrazellulären Bestandteilen (z.B. K^+) in das Lumen des Darms. Zeitgleich gelangt Wasser in die Epithelzellen des Darms (Sacchi et al. 1986). Durch den so entstehenden osmotischen Druck, schwellen die Darmzellen an und beginnen sich aufzulösen. Der Elektrolythaushalt und der pH-Wert ändern sich derart, dass der Darm der Larve paralysiert wird, was im Endeffekt dazu führt, dass die Larve verhungert oder durch eine Sepsis stirbt. Schnepf et al. (1998) beobachteten, dass dieses Gift nicht bei Warmblütern, sondern ausschließlich bei Insekten wirkt, da nur diese eine Anfälligkeit für dieses Toxin besitzen. Sacchi et al. (1986) konnten nachweisen, dass dieses Gift keine Auswirkungen auf Menschen hat, da keine Rezeptoren für diese Proteine in den Därmen von Säugetieren gefunden werden konnten. Leach et al. (2001) verglichen das Cry3Bb1-Protein mit verschiedenen Aminosäuresequenzen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass dieses Protein keine strukturelle Ähnlichkeit zu bekannten Allergenen, Toxinen oder pharmazeutisch aktiven Proteinen aufweist und somit keine relevanten Auswirkungen auf die menschliche oder tierische Gesundheit haben. Auch die Auswirkungen des *Bt*-Mais auf die Umwelt wurden akribisch untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Gefahren für die Umwelt, die von *YieldGard*[®] *Rootworm* Mais ausgehen, nicht höher sind als die des konventionellen Maises. Demnach unterscheidet sich *YieldGard*[®] *Rootworm* Mais weder physiologisch, noch agronomisch von konventionellem Mais; bis auf die Tatsache, dass er resistent gegen den Larvenfraß des Westlichen Maiswurzelbohrers ist. Monsanto (2003) testete ebenfalls die Auswirkungen dieses Proteins auf verschiedene Tiere, indem diese hohen Dosen von Pflanzenteilen des *Bt*-Maises ausgesetzt wurden. Es konnten keine negativen Effekte verzeichnet werden. Somit lässt sich festhalten, dass *Bt*-Mais und das darin enthaltene Protein Cry3Bb1 für Nicht-Zielorganismen keine Gefahr darstellt. Die Ergebnisse der durchgeführten Studien zeigen, dass *YieldGard*[®] *Rootworm* Mais den Schaden, der durch den Fraß der Larven an den Wurzeln der Maispflanzen entsteht, signifikant beeinflusst und somit die Schwelle eines wirtschaftlichen Schadens nicht mehr überschritten wird.

Im Vergleich zu Bodeninsektiziden weist *Bt*-Mais enorme Vorteile auf. Die Wirkung der Bodeninsektizide hängt oft von nicht beeinflussbaren Umweltzuständen ab. So ist die Bewässerung ein wichtiger Faktor für die Aktivierung dieser Insektizide. Auch der Wirkungsgrad hängt vom Zeitpunkt der Applikation ab. Werden die Insektizide zu früh

aufgebracht, kann es dazu führen, dass während des Schlupfs der Käfer die Konzentration der Insektizide nicht mehr ausreichend ist. Ebenso können heftige Niederschläge zu einer Auswaschung der insektiziden Wirkstoffe führen. Da die Aktivierung des Cry3Bb1 Proteins innerhalb der Wurzeln der Maispflanze stattfindet, ist die Wirkung des Toxins von der Witterung unabhängig. *Bt*-Mais weist demnach einen wesentlich höheren Wirkungsgrad im Vergleich zu Boden- und Saatinsektiziden auf (Ward et al. 2005)(Abb. 14).

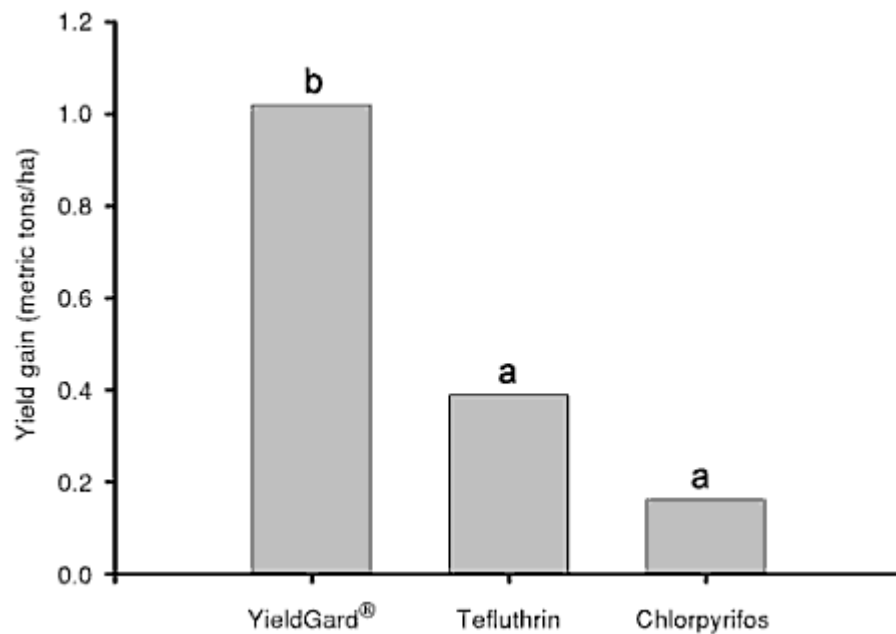


Abb. 14: Durchschnittlicher Ernteertrag von YieldGard® Rootworm maize im Vergleich zu konventionellem Mais mit insektizider Behandlung (Tefluthrin und Chlorpyrifos).¹⁴

Im Vergleich zu konventionellem, unbehandeltem Mais, ist der Ertrag des *YieldGard*® *Rootworm* Maises bei starkem Befall durchschnittlich 10,6 % höher (1,02 t/ha). Doch nicht nur die Produktivität, auch die Wirtschaftlichkeit des *YieldGard*® *Rootworm* Maises ist ein wichtiger Faktor. Mitchell (2002) arbeitete heraus, dass die erzielten Ernteerträge durch den Einsatz von *Bt*-Mais um 62 -185 \$/ha höher sind als die ohne Behandlung. Auch im Vergleich zu der Behandlung mit Insektiziden ist der Ertrag des *Bt*-Maises um 10-30 \$/ha höher.

Im Jahr 2009 wurde die seit 1998 geltende Zulassung für *Bt*-Mais in Deutschland aufgehoben. Begründet wurde dies damit, dass er keinen Nutzen habe und sowohl die Umwelt, als auch die die Gesundheit von Mensch und Tier negativ beeinflusse.

¹⁴ Ward et al. (2005); Genetically enhanced maize as a potential management option for corn rootworm: YieldGard® Rootworm maize case study; Western Corn Rootworm: Ecology and Management; 239-262.

Europaweit betrug die Fläche, auf der *Bt*-Mais angebaut wurde im Jahr 2010 ca. 91.200 Hektar. Doch nur in Spanien, wo im Jahr 2010 75.000 Hektar *Bt*-Mais geerntet wurden, spielt der Anbau eine bedeutende Rolle. Vor dem Verbot von *Bt*-Mais in Deutschland (2008), wurde dieser auf einer Fläche von 3.200 Hektar angebaut. Europaweit ist nur der Anbau der Sorte MON810 zugelassen. Doch Deutschland und auch andere Länder haben sich gegen diesen Anbau ausgesprochen (transGEN 2011).

Gegen den Anbau von *Bt*-Mais spricht außerdem die immer häufiger auftretende Resistenz verschiedener Populationen in den USA. Gassmann et al. (2011) konnten in Feldversuchen nachweisen, dass sich in Feldern, auf denen *Bt*-Mais angebaut wurde immer mehr Populationen etablieren konnten, die gegenüber der Wirkung des Proteins Cry3Bb1 resistent sind. Sie konnten eine signifikante Korrelation zwischen der Anzahl der Jahre, in denen *Bt*-Mais aufeinanderfolgend angebaut wurde und dem Überleben der Larven in diesen Feldern feststellen. Wurde *Bt*-Mais in mehreren aufeinanderfolgenden Jahren angebaut, so konnte auch ein größerer Befall in diesen Feldern nachgewiesen werden. In Feldern, auf denen eine Fruchtfolge eingehalten wurde, hielt sich der Befall in Grenzen. In Feldern, auf denen konventioneller Mais angebaut wurde, war die Überlebensrate der Larven jedoch durchgehend höher als in Feldern, auf denen *Bt*-Mais angebaut wurde. Gegen die Wirkung des *Bt*-Maises scheint demnach keine vollständige Resistenz entwickelt worden zu sein. Dies lässt darauf schließen, dass die Käfer-Populationen sowohl aus Individuen besteht die eine Resistenz gegen Cry3Bb1-Protein ausgebildet haben, als auch aus Individuen, die weiterhin anfällig sind. Eine andere Sorte des *Bt*-Maises, welche anstelle des Cry3Bb1-Proteins das Protein Cry34/35Ab1 enthält, konnte jedoch eine ausgezeichnete Wirkung erzielen, sodass nun neue *Bt*-Maissorten auf den Markt drängen, die beide Proteine enthalten und somit auch die Individuen abtöten können, die gegenüber dem Cry3Bb1-Protein Resistenzen ausgebildet haben. Diese werden dann durch die Aufnahme des Proteins Cry34/35Ab1 abgetötet.

2.4.8 Bekämpfung mittels Fruchtfolgewechsel

Die wohl effektivste Methode, den Westlichen Maiswurzelbohrer zu bekämpfen, stellt der Fruchtfolgewechsel dar. Im Vergleich zur insektiziden Bekämpfung weist diese Methode eine bis zu 80% höhere Effektivität auf. Bertossa et al. (2009) konnten durch eine sechsjährige Untersuchung im Tessin festhalten, dass der biologische Zyklus des Westlichen Maiswurzelbohrers durch eine geregelte Fruchtfolge unterbrochen werden

kann. Die Effektivität dieser Art der Bekämpfung ist in den USA seit einiger Zeit nicht mehr gegeben. Denn durch den rigoros durchgeführten Fruchtwechsel Mais-Soja war der Westliche Maiswurzelbohrer dazu gezwungen, sich an die neuen Umstände anzupassen. Es kam zu einer anthropogen erzwungenen Mikro-Evolution, durch die sich eine Variante etablierte, die in der Lage ist, ihre Eier in benachbarte Sojafelder abzulegen. Auf diesen Feldern konnten im darauffolgenden Jahr Fraßschäden an Maispflanzen durch die geschlüpften Larven des Käfers nachgewiesen werden (Onstad 2001, Edwards 1996, Barna et al. 1998). Die Anzahl der Felder, die trotz Fruchtwechsel eine Insektizidbehandlung benötigen, ist demnach enorm gestiegen (Ward et al. 2005). Doane Marketing Research (2001) ermittelte in einer Studie, dass im Jahr 2000 weltweit ca. 5,7 Millionen Hektar Maisfläche mit Insektiziden zur Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers behandelt werden mussten.

Wichtig für den Erfolg der Fruchtfolge ist demnach die Anzahl der eingesetzten Kulturen. Baufeld und Enzian (2005) gehen davon aus, dass ein Fruchtwechsel mit nur zwei Früchten auch in Europa zu einer Anpassung des Westlichen Maiswurzelbohrers an das System führen kann. In Europa scheint sich eine Resistenz gegen die Fruchtfolge zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ausgebildet zu haben. Denn Kiss et al. (2005b) konnten in diversen Feldversuchen in Ungarn feststellen, dass die Käferpopulationen in Feldern auf denen Mais im Wechsel mit Getreide, Soja und Sonnenblumen angebaut wurde, signifikant geringer war als in Feldern mit Mais als Monokultur. Frühere Studien von Kiss et al. (2001) belegen jedoch, dass sich die Käferpopulationen auch in Feldern mit alternierenden Kulturen (Hafer, Soja, Sonnenblume) über einen Zeitraum von wenigen Jahren etablieren können. Dies deutet darauf hin, dass die Möglichkeit einer stetigen Anpassung von adulten Käfern an den europäischen Fruchtfolgewechsel besteht. Um diese Anpassung zu vermeiden, ist es also von großer Bedeutung, Kulturen in die Fruchtfolge zu integrieren, die weder für die Larven noch für die adulten Käfer als Nahrungsquelle dienen können. Durch das große Wirtsspektrum des Westlichen Maiswurzelbohrers ist eine wirtslose Fruchtfolge jedoch kaum möglich. Auch aus ökonomischer Sicht wäre ein alleiniger Anbau von Nicht-Wirtspflanzen kaum durchsetzbar, da die Landwirte gezwungen wären, ihr komplettes Anbauverfahren umzustellen. Denn auch Winterweizen und Roggen dienen dem Westlichen Maiswurzelbohrer als Nahrungsquelle. Doch neben Kulturpflanzen kommt auch dem Vorhandensein von Ungräsern und Unkräutern neben und auf den kultivierten Flächen

eine große Bedeutung zu. So konnten Chege et al. (2005) nachweisen, dass die Entwicklung der Larven auch an diversen Gräsern möglich ist. Die Unkrautbekämpfung ist für eine erfolgreiche Fruchtfolge demnach unabdingbar (Moeser & Vidal 2004). Diese Erkenntnisse machen deutlich, dass auch die Fruchtfolge keinen hundertprozentigen Schutz vor einer Verbreitung und Etablierung des Westlichen Maiswurzelbohrers bietet. Eine Fruchtfolge mit mehreren Kulturen und einem zusätzlichen Einsatz von Herbiziden kann die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers verzögern. Zurzeit wird vor allem die Fruchtfolge mit zusätzlicher Insektizidbehandlung als effektivste Bekämpfungsstrategie angesehen.

Da die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers stark mit der Ausdehnung der Maisanbauflächen korreliert, wäre zu überlegen, inwiefern der Anbau von Energiemais durch den Anbau anderer energetisch nutzbarer Pflanzen ersetzt werden kann. Die Maisanbauflächen und die damit verbundenen potentiellen Habitate des Westlichen Maiswurzelbohrers könnten somit reduziert werden.

2.5 Mögliche Alternativen zum Maisanbau

Der Westliche Maiswurzelbohrer hat durch den großflächigen und intensiven Maisanbau in Deutschland optimale Bedingungen, um sich etablieren und weiter verbreiten zu können. Der Befall der Maisflächen könnte bereits in wenigen Jahren zu ökonomischen Schäden führen. Doch auch die sichere Substratversorgung der wachsenden Anzahl an Biogasanlagen könnte durch den Westlichen Maiswurzelbohrer gefährdet werden. Im Süden Deutschlands, vor allem in Bayern ist die durch Biogasanlagen erzeugte Strommenge bereits relativ hoch. Ausgerechnet in den Landkreisen, in denen die Stromproduktion durch Biogasanlagen am höchsten ist, konnte sich der Westliche Maiswurzelbohrer etablieren (Abb. 15). Inwiefern diese Situation in Zukunft zu einem Versorgungsengpass, sei es durch den Befall des Maiswurzelbohrers oder durch Bekämpfungsmaßnahmen wie Fruchtfolge führen kann, wird sich in den nächsten Jahren herausstellen.

Laut Bayerischer Landesanstalt für Landwirtschaft können die Larven bei guten Witterungsverhältnissen Ertragsverluste von bis zu 30% verursachen. In Südosteuropa konnten bei langer Trockenheit sogar Verluste in Höhe von 90% verzeichnet werden. Da Mais vorrangig als Lebens- und Futtermittel Verwendung findet, wäre im Falle solch hoher Ertragsverluste abzuwägen, inwiefern der Einsatz von Mais als

Energiepflanze zur energetischen Verwertung als sinnvoll und als ethisch vertretbar einzustufen ist. Um eine sichere Substratversorgung der Biogasanlagen in Zukunft gewährleisten zu können, ist die Suche nach alternativen Energiepflanzen von enormer Wichtigkeit. Einerseits könnte dadurch die von dem Westlichen Maiswurzelbohrer ausgehende Gefahr eingedämmt werden, andererseits könnten ethische Konflikte bezüglich der Verwertung von Mais vermieden werden.

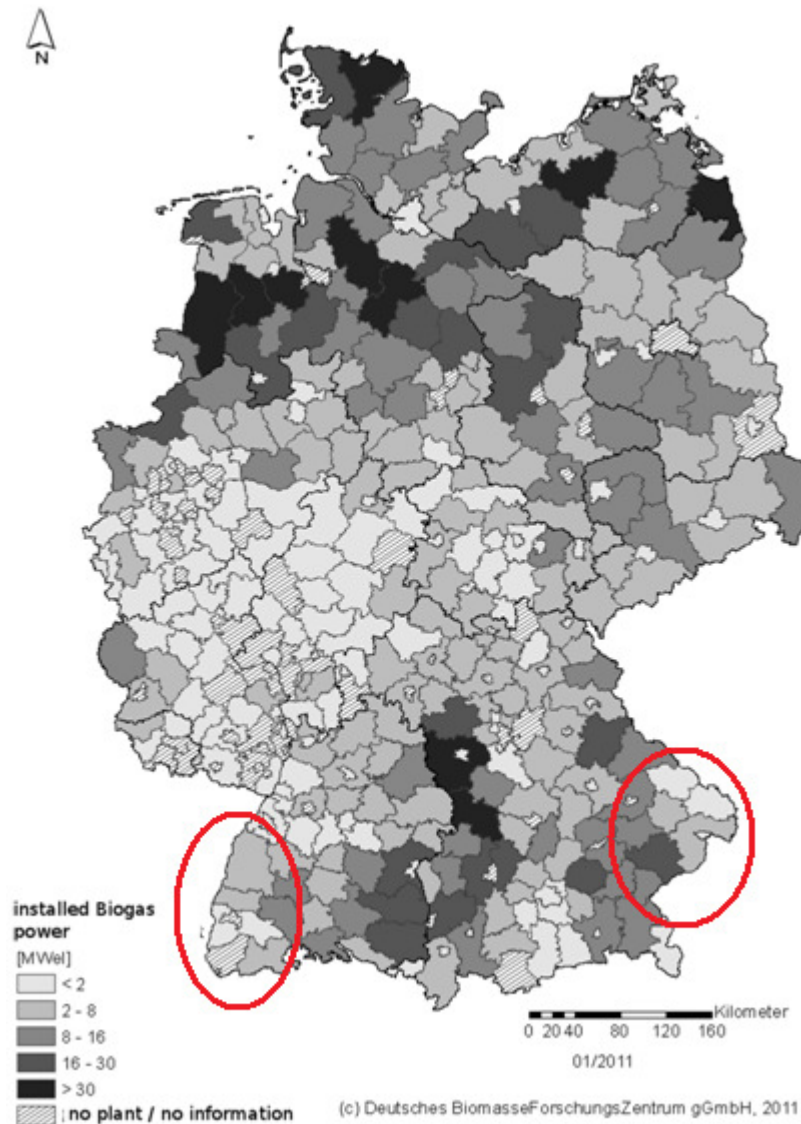


Abb. 15: Installierte elektrische Leistung in MW der Biogasanlagen auf Kreisebene.¹⁵

¹⁵ Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH, 2011, Markierungen ergänzt.

2.5.1 Sorghumhirse

Eine Alternative zum Maisanbau zur Energieproduktion stellen die Sorghumhirsen aus der Familie der Süßgräser (*Poaceae*) dar. Für die Biogasproduktion eignen sich vor allem Zuckerhirsen (*Sorghum bicolor*), Sudangras (*Sorghum sudanense*) und Hybride aus *S. bicolor* x *S. bicolor* sowie *S. sudanense* x *S. bicolor* (Vetter et al. 2009). Da Hirsen ihren Ursprung in den Tropen und den Subtropen haben, ist die Verbesserung der Kältetoleranz zurzeit das oberste züchterische Ziel. Doch auch das Erreichen eines Trockenmassegehaltes von mehr als 28% wird angestrebt. Sorghumhirsen haben geringe Ansprüche an den Boden und können sich an Trockenperioden anpassen. Sie sind, ähnlich wie Mais, mit sich selbst verträglich. Der durchschnittliche Düngbedarf beläuft sich auf ca. 100 bis 120 kg N/ha. Nachteilig im Anbau von Sorghumhirsen ist das langsame Wachstum, welches zu Beginn einen hohen Arbeitseinsatz mit sich zieht. Weltweit werden ca. 44,9 Mio. Hektar angebaut. In Deutschland werden zurzeit aufgrund geringer Anbauerfahrungen lediglich ca. 730 ha angebaut (Agentur für Erneuerbare Energien e. V. 2010).

Sorghumhirsen gehören zu den C4 Pflanzen, haben zwei bis sechs Triebe und können eine Wuchshöhe von bis zu 400 cm erreichen. Aussagen darüber, inwiefern die Sorghumhirsen als Wirte für den Westlichen Maiswurzelbohrer dienen können, sind widersprüchlich. Breitenbach et al. (2006) gehen davon aus, dass die Hirsen, obwohl sie zu der Familie der Süßgräser gehören, als Wirte für *Diabrotica virgifera virgifera* nicht in Frage kommen. Erhebungen von Dinnesen et al. (2009) und Moeser & Vidal (2001) zeigen jedoch, dass Sorghumhirsen (vor allem *S. bicolor*) tatsächlich von den adulten Käfern befallen werden. Bei den Erhebungen von Dinnesen et al. konnten in Sorghumhirsefeldern ähnlich hohe Fangzahlen wie in Maisfeldern verzeichnet werden.

Der Anbau von Sorghumhirsen bietet eine vielversprechende Alternative zum Maisanbau. Inwiefern der Westliche Maiswurzelbohrer eine Gefahr für den Anbau und die energetische Nutzung von Sorghumhirsen darstellt, ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht vorhersehbar.

2.5.2 Sonnenblume

Auch die Sonnenblume (*Helianthus annuus*) gewinnt immer mehr an Bedeutung, wenn es um den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen geht. Vor allem der Anbau stark ölhaltiger Sorten ist in der chemischen Industrie schon länger ein fester Bestandteil. Doch auch als Ganzpflanze zur Tierfütterung wurde die Sonnenblume vor allem in der

Mitte des letzten Jahrhunderts angebaut. Auch für die energetische Nutzung scheint sie eine immer größere Rolle zu spielen. Sonnenblumen benötigen warme und trockene Standorte. Sie benötigen eine Wärmesumme von 1500° C (Tagesmittel über 6°C) und in der Vegetationsperiode Niederschläge in Höhe von 350 bis 400 mm. Als Bodenart kommen sandige Lehme bis stark lehmige Sande in Betracht (Vetter et al. 2009). Sonnenblumen können optimal im Mischfruchtanbau z.B. mit Mais angebaut werden und können so erosionsmindernd wirken. In einem Anbauprojekt konnte festgestellt werden, dass sich auf einem Hektar durchschnittliche Trockenmasseerträge von 14 bis 15 t erzielen lassen (Stülpnagel 2008). Zurzeit werden in Deutschland auf ca. 24.000 ha Sonnenblumen angebaut (FNR 2006). Der Biogasertrag beläuft sich auf ca. 500 l/kg organische Trockensubstanz und ist mit dem des Maises zu vergleichen (Abb. 16). Moeser und Vidal (2001) konnten in ihren Versuchen jedoch nachweisen, dass die Sonnenblume als Wirt für die adulten Tiere des Westlichen Maiswurzelbohrers dienen kann. Horvath (2003) gelang der Nachweis, dass sich die adulten Käfer nicht nur von den Sonnenblumen ernähren (Pollen und Nektar), sondern auch ihre Eier in den Boden von Sonnenblumenfeldern legen. Da vor allem weibliche, kurz vor der Eiablage stehende Käfer in den Sonnenblumenfeldern auftraten (80-85 % der Käfer waren Weibchen) geht der Autor davon aus, dass der Verzehr von Sonnenblumenpollen physiologisch vorteilhafte Effekte auf die Anzahl der Eier und die Häufigkeit der Eiablage mit sich bringt. Der Anbau von Sonnenblumen zur energetischen Nutzung scheint vielversprechend zu sein. Inwieweit der Westliche Maiswurzelbohrer eine Gefährdung für den kommerziellen Anbau von Sonnenblumen darstellt sollte in Zukunft genauer erörtert werden. Ein Einsatz von Sonnenblumen in einer Fruchtfolge zur Eingrenzung dieses Schädlings ist nicht zu empfehlen.

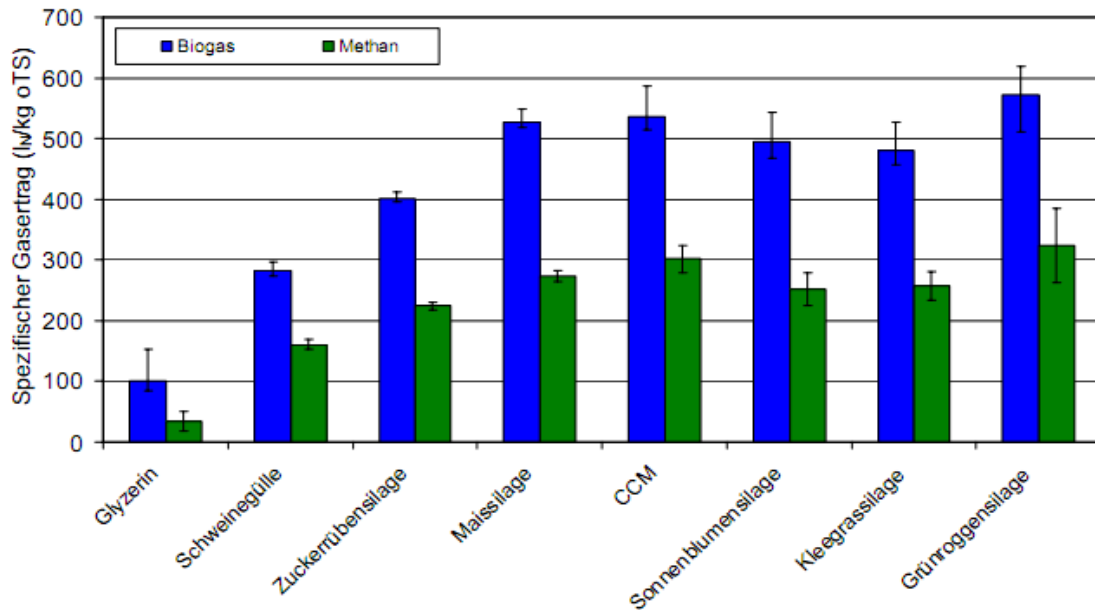


Abb. 16: Spezifischer Biogas- und Methanertrag der Gärrohstoffe bei alleiniger Vergärung.¹⁶

2.5.3 Die Durchwachsene Silphie

Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*) gehört zur Familie der Korbblütler. Sie stammt ursprünglich aus Nordamerika und lässt sich unter mitteleuropäischen Bedingungen problemlos anbauen (Vetter et al. 2009). Die Silphie ist relativ anspruchslos und gedeiht auch auf Sandböden, wobei sie jedoch humose Standorte mit guter Wasserführung bevorzugt. Sie benötigt 350 bis 440 mm Jahresniederschlag. Die Durchwachsene Silphie lässt sich als Dauerkultur anbauen, wobei die Nutzungszeit mehr als zehn Jahre betragen kann. Sie ist demnach mit wenig Aufwand anzubauen. Da sich die Jungpflanzen nur langsam entwickeln und der Unkrautdruck zu groß wäre, ist eine Direktsaat noch nicht praktikabel. In einem Forschungsprojekt arbeitet jedoch die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) daran, die Aussaatfähigkeit der Pflanzen zu verbessern. Bis dahin empfiehlt es sich jedoch, vorkultivierte Pflanzen ab Mitte April zu pflanzen. Da für die Durchwachsene Silphie noch keine Pflanzenschutzmittel zugelassen sind, ist ein hoher Arbeitsaufwand, um Unkräuter zu entfernen, gegeben. Durch den hohen Aufwand im Pflanzjahr ist fraglich, ob die Durchwachsene Silphie zu einer kommerziellen Energiepflanze werden kann. Erste Versuche der TLL liefen vielversprechend (Conrad 2009). In Deutschland wird die Durchwachsene Silphie bisher nur zu Forschungszwecken angebaut. Ab dem zweiten Anbaujahr liegt der Flächenertrag bei ca 130 bis 200 dt Trockenmasse/ha. Die

¹⁶ http://www.noest.or.at/intern/dokumente/098_ZB_Optimierung_Biogaserzeugung.pdf (15.09.11).

spezifische Methanausbeute ist mit der des Maises vergleichbar (Wilken & Becker 2011).

2.5.4 Miscanthus

Miscanthus gehört zur Familie der Süßgräser (*Poaceae*). Aufgrund seiner hohen Wachstumsleistung ist er in den letzten Jahren für die Energiepflanzenproduktion interessant geworden. Im Jahr 2008 lag der Anbauumfang in Deutschland bei ca. 2000 Hektar. *Miscanthus* wird zurzeit vornehmlich als Brennstoff genutzt, aber auch bei der Erzeugung von Brenngasen und BtL-Kraftstoffen könnte er in Zukunft von Bedeutung sein. Die auf natürlichem Wege entstandene Kreuzung *Miscanthus x giganteus* erreicht Wuchshöhen von bis zu 400 cm und Trockenmasseerträge von über 15 t/ha– unter optimalen Bedingungen sogar bis zu 30t/ha. Die Ansprüche, die *Miscanthus* an Bodenbeschaffenheit, Licht, Wärme und Niederschläge hat, sind mit denen von Mais zu vergleichen (Fachagentur nachwachsende Rohstoffe 2009). Inwiefern eine Vergärung von *Miscanthus* möglich ist, wird derzeit noch getestet, aufgrund des hohen Lignocellulose-Anteils der Hackschnitzel scheint dieses Verfahren jedoch eher ungeeignet. Spencer & Raghu (2009) und Vidal & Petersen (2010) veranschlagen, dass *Miscanthus* als potentieller Wirt für die Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers in Frage kommt. Gloyna et al. (2010) führten Versuche durch, in denen sie nachweisen konnten, dass die Larven, die an *Miscanthus*wurzeln fraßen, ein höheres Gewicht hatten, als diejenigen, die an Maiswurzeln fraßen. *Miscanthus* scheint demnach als Wirt der Larven besser geeignet zu sein als Mais. Demzufolge kommt *Miscanthus* als Alternative zum Maisanbau hinsichtlich der Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers nicht in Frage. Auch ist die Integration von *Miscanthus* in eine Fruchtfolge aufgrund der langen Anbauzeiten (erst im zehnten Jahr werden die Anbaukosten gedeckt) und aufgrund seiner Anfälligkeit gegenüber *Diabrotica* nicht möglich.

2.5.5 Igniscum

Igniscum (*Fallopia sachalinensis*) gehört zur Familie der Knöterichgewächse. Ihren Ursprung hat sie in Teilen Russlands und Japans. Der in Deutschland gezüchtete Igniscum ist eine schnellwüchsige, mehrjährige, winterharte Pflanze. Igniscum wächst täglich um bis zu 10 cm und kann eine Wuchshöhe von 400 cm erreichen. Pro Jahr sind 2-3 Ernten möglich. Der Ertrag beläuft sich somit auf bis zu 450 t Frischmasse pro Hektar. Die Pflanze lässt sich nahezu auf allen Böden kultivieren. Sie benötigt viel

Licht und Niederschläge von 400 mm pro Jahr. Es bedarf weder einer Düngung, noch einer Schädlingsbekämpfung. Die Trockenmasse der Pflanze kann zu Verbrennung genutzt werden, während die im Sommer geerntete Frischmasse zur Vergärung in Biogasanlagen genutzt werden kann. Die langen Standzeiten, die hohen Erträge und die geringen Standortansprüche machen Igniscum zu einer attraktiven Energiepflanze. Inwiefern Igniscum als Wirt für des Westlichen Maiswurzelbohrer dienen kann, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht sagen (Pankrätius 2010).

2.6 Übersicht über alternative Futterquellen

Die europäischen Anbausysteme sind mit denen der USA kaum zu vergleichen. Die Unterschiede liegen vor allem in der Gestaltung der Fruchtwechsel. In den USA ist der alternierende Anbau von Mais und Soja üblich. Dies hatte jedoch eine Verhaltensanpassung des Westlichen Maiswurzelbohrers zur Folge. Die Käfer begannen damit, ihre Eier in Soja-Felder abzulegen, sodass die Larven im darauffolgenden Jahr in Feldern schlüpften, auf denen Mais angebaut wurde und somit an dessen Wurzeln fressen konnten.

In Europa werden jedoch mehrere Kulturen in die Fruchtfolge integriert. In Zukunft hängt eine erfolgreiche Etablierung des Westlichen Maiswurzelbohrers vor allem von seiner ökologischen Anpassungsfähigkeit an die europäischen Anbausysteme ab (Moeser & Vidal 2001). Für den adulten Käfer wird es demnach von Nöten sein, neben der Hauptnahrungsquelle Maispollen (Chiang 1973), alternative Futterquellen zu finden. Die Fähigkeit, sich rasch zu verbreiten, und die Tatsache, dass in Europa verschiedenste Kulturen auf engstem Raum angebaut werden, führen dazu, dass der Käfer ein immenses Angebot an potentiellen Wirtspflanzen hat. In Süd-Ost Europa wurde beobachtet, wie Käfer Maisfelder verließen, um an anderen Pflanzen, wie z.B. den bereits genannten Sonnenblumen, oder an blühenden Unkräutern am Feldrand zu fressen (Moeser & Vidal 2005). Dort legten die Käfer auch ihre Eier ab, was dazu führte, dass die Larven im darauffolgenden Jahr aufgrund des Fruchtwechsels in mit Mais bebauten Feldern schlüpften (Igrc-Barcic et al. 2007).

Um herauszufinden, von welchen Wirten sich adulte Maiswurzelbohrer ernähren, führten Moeser und Vidal (2001) eine Studie durch, in welcher die Darminhalte ausgewählter Käfer untersucht wurden. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Käfer an 19 verschiedenen Pflanzenarten fressen. Vor allem Süßgräser (*Poaceae*) wie Mais und

Sorghum, aber auch Korbblütengewächse (*Asteraceae*), wie beispielsweise Sonnenblumen, wurden als alternative Futterpflanzen genutzt. Der Westliche Maiswurzelbohrer sucht demnach bei Ernährungsengpässen neue Wirte auf. Dies konnte anhand der Blütezeiten verschiedener Gräser verdeutlicht werden. Mais blüht im Frühsommer. Demnach sind Maispollen auch nur im Frühsommer vorhanden. Ist die Blütezeit des Maises vorbei, ist der Westliche Maiswurzelbohrer gezwungen, sich neue Wirte zu suchen. So konnten zum Ende der Studie vermehrt Pollen, von den ganzen Sommer über blühenden *Amaranthus* und *Ambrosia artemisiifolia*-Pflanzen im Magen der Käfer gefunden werden. Moeser und Vidal (2001) konnten somit eine klare Habitatsabhängigkeit nachweisen. Doch nicht nur die Blütezeit der potentiellen Wirte ist in Bezug auf den Wirtswechsel der Käfer von Relevanz.

Branson und Ortman (1967, 1970) konnten bereits sehr früh nachweisen, dass sich auch die Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers nicht nur von Maiswurzeln, sondern auch von den Wurzeln von circa zwanzig verschiedenen monokotylen Pflanzen ernähren können. Dikotyle Pflanzen scheinen für die Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers keine alternativen Wirtspflanzen zu sein. Breitenbach et al. (2006) führten im Jahr 2004 Versuche zur Bestimmung verschiedener Wirtspflanzen der *Diabrotica*-Larven durch. Mit Laborversuchen kamen sie zu dem Ergebnis, dass sich die Larven an 7 von 13 getesteten Pflanzen entwickeln konnten (Abb. 17).

Geprüfte Pflanzen	Eingesetzte Larven	Überlebende Larven	% Überlebende Larven	% Überlebende im Vergleich zu Mais (= 100%)
Sommerweizen	25	0	0	0
Tritikale	25	0	0	0
Acker-Fuchsschwanzgras	50	0	0	0
Gemeiner Windhalm	50	0	0	0
Hühnerhirse	30	0	0	0
Einjähriges Rispengras	30	0	0	0
Quirlige Borstenhirse	30	0	0	0
Grüne Borstenhirse	50	0	0	0
Quirlige Borstenhirse	25	1	4	10
Winterweizen	25	1	4	12,5
Sommerweizen	25	1	4	14,3
Kriech-Quecke	25	1	4	14,3
Sommergerste	25	2	8	25
Gelbe Borstenhirse	25	5	20	50
Grüne Borstenhirse	25	5	20	50
Mais	25	7	28	100
Mais	25	8	32	100
Mais	25	8	32	100
Mais	25	10	40	100
Mais	30	10	33	100
Mais	50	25	50	100

Abb. 17: Entwicklung der Larven von *Diabrotica virgifera virgifera* an verschiedenen möglichen alternativen Wirtspflanzen.¹⁷

Die Ergebnisse von Branson und Ortman konnten demnach auch in Europa bestätigt werden. Bei Eradikationsmaßnahmen muss in Zukunft also berücksichtigt werden, dass sich die Larven nicht nur von Maiswurzeln, sondern auch von den Wurzeln verschiedener Gräser und Ungräser ernähren. Vor allem an Borstenhirschen (*Setaria spp.*) scheinen sich die Larven gut entwickeln zu können. Sollten diese alternativen Wirte in und am Rand von Maisfeldern auftreten, scheint die Eindämmung mittels Fruchtfolgewechsel nicht sehr effektiv. Problematisch ist es, dass Mais oft im Fruchtfolgewechsel mit potentiellen Wirten des Maiswurzelbohrers angebaut wird (Gray et al. 2009). Moeser und Vidal (2004) gehen davon aus, dass die meisten monokotylen Feldfrüchte, wie beispielsweise Winterweizen und Roggen, als Wirte für die Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers in Betracht kommen. Breitenbach et al. (2006) bestätigten dies, als sie durch Laborversuche feststellten, dass Gerste, Dinkel, Triticale und Weizen die Entwicklung der adulten Käfer ermöglichen. Doch nicht nur

¹⁷ Breitenbach et al. (2006), Getreidearten und Ungräser als alternative Wirtspflanzen der Larven von *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, 1868 (Coleoptera, Chrysomelidae); MITT. DTSCH. GES. ALLG. ANGEW. ENT. 15, 257-258; Darstellung leicht verändert.

Gräser sind für den Käfer von Bedeutung. Metcalf & Metcalf (1992), sowie Rhodes et al. (1980) konnten bereits vor einigen Jahren in den USA die Attraktivität von Kürbisgewächsen (*Cucurbita spp.*) nachweisen. Moeser und Vidal (2001) konnten dies bestätigen, als sie erstmals im Jahr 2001 fressende Käfer auf einer Kürbispflanze (*C. maxima*) in Europa (Ungarn) beobachteten.

Auch der zur Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers gezüchtete *Bt*-Mais, schützt nicht hundertprozentig vor einem Befall durch den Käfer. Oyediran et al. (2005) arbeiteten heraus, dass sich mehr Käfer in Feldern mit *Bt*-Mais und Ungräsern entwickelten, als in Feldern, auf denen ausschließlich *Bt*-Mais, oder ausschließlich Ungräser wuchsen. Dies zeigt, dass die Anwesenheit von Ungräsern eine wichtige Rolle in der Entwicklung der Larven spielt. Chege et al. (2005) führten Versuche durch, um zu testen, welche Gräser für die Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers als potentielle Wirte fungieren, und inwiefern sie das Wachstum, die Entwicklung und die Überlebensrate der Larven beeinflussen. Dazu testeten Sie neben Mais fünf verschiedene Gräser wie die Blutrote Fingerhirse (*Digitaria sanguinalis L. Scop.*), die Große Borstenhirse (*Setaria faberi R.A.W. Herrm.*), die Haarästige Rispenhirse (*Panicum capillare L.*), die *Eriochloa gracilis Kunth* und die Wirtel-Borstenhirse (*Setaria viridis L. P. Beauv.*). Sie kamen zu dem Ergebnis, dass das Larvenwachstum stark vom Zeitpunkt des Befalls abhängt. Findet der Befall in den ersten vier bis fünf Wochen nach der Pflanzung statt, sind Überlebensrate und Entwicklung der Larven am größten (Abb. 18). An der Blutroten Fingerhirse (in der Grafik „Large Crabgrass“) zeigten die Larven eine relativ gute Entwicklung.

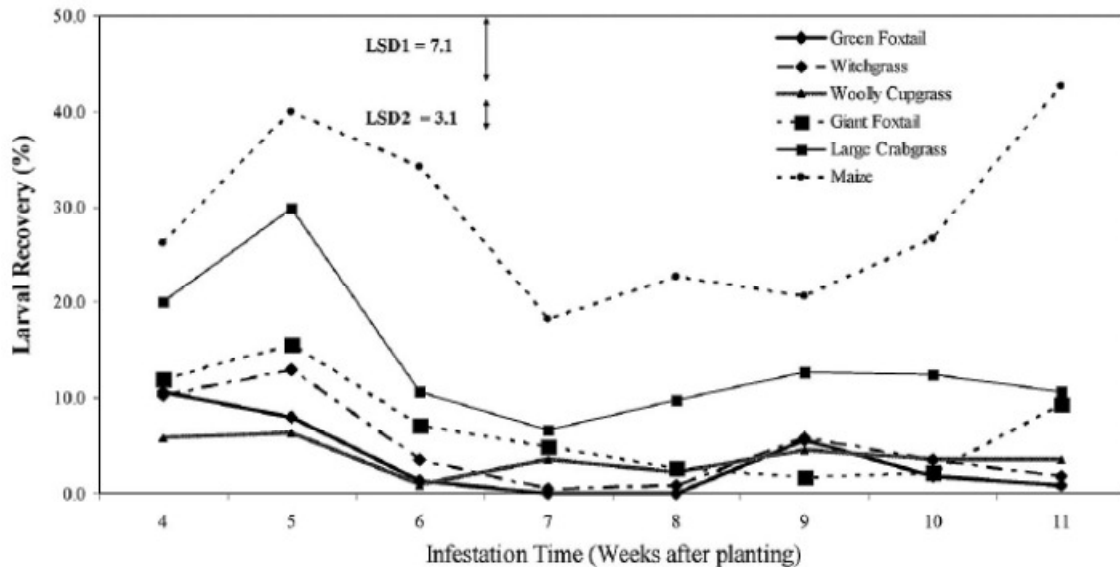


Abbildung 18: Prozentualer Larvenschlupf an sechs verschiedenen Wirts-Gräsern in Abhängigkeit des Zeitpunkts des Larvenschlupfs.¹⁸

Die Larven fressen so lange an den Wurzeln der Gräser, bis diese aufgrund der Nährstoffzusammensetzung und des Nährstoffgehaltes nicht mehr als Nahrungsquelle in Betracht kommen. Zu diesem Zeitpunkt weisen die Larven bereits eine sehr hohe Physis auf, sodass sie in der Lage sind, den Wirt zu wechseln. Laut Wilson und Hibbard (2004) sind die Larven sogar so weit entwickelt, dass sie *Bt*-Mais befallen können. Hibbard et al. (2004) bestätigten diese Annahme und schlussfolgerten, dass dieser Wirtswechsel aufgrund von Nahrungsknappeit stattfindet. Unkräuter und Ungräser im Maisbestand können demnach als Nahrungsquelle für die Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers fungieren. Die Unkrautbekämpfung ist somit als wichtige ackerbauliche Maßnahme zur Kontrolle und Bekämpfung dieses Schädling einzustufen (Mooser & Vidal 2004). Die Gefahr eines Befalls von Grünlandflächen und Feldgras durch den Westlichen Maiswurzelbohrer scheint jedoch aufgrund der Vielzahl von Grasarten (5-500 Arten) sehr unwahrscheinlich (Pers. Mitteilung Prof. Laser, Fachhochschule Südwestfalen, Soest).

Neben der Unkrautbekämpfung können auch die optimale Vorbereitung des Saatbetts, ein optimaler Saattermin und eine gezielte Maisdüngung zur Vermeidung von Schäden durch den Westlichen Maiswurzelbohrer beitragen.

¹⁸ Chege et al. 2005, Alternate Host Phenology Affects Survivorship, Growth, and Development of Western Corn Rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) Larvae, Environ. Entomol. 34 (6); 1441-1447.

3 Material und Methoden

3.1 Ziele der Versuche

Der Westliche Maiswurzelbohrer ist ein hervorragender Flieger und kann bei optimalen Bedingungen Strecken bis zu 20 km, im Extremfall sogar bis zu 40 km zurücklegen (Willige 2010). Er verbreitet sich jedoch nicht nur aktiv, also auf natürlichem Wege, sondern auch passiv über menschliche Verkehrswege. So gelangte er nach Europa (Miller et al. 2005), aber auch bei der Verbreitung innerhalb Europas konnte sich der Westliche Maiswurzelbohrer diverse Transportmittel zu Nutze machen. Krügener et al. (2011), aber auch Benker (2009) und Baufeld (2009) gehen davon aus, dass sich der Käfer über verschiedene Transportwege, auch mittels Lastwagen entlang von Autobahnen verbreiten kann. Funde an Flughäfen, Binnenhäfen und Autobahnraststätten belegen dies (Willige 2010). Durch die optimalen klimatischen Bedingungen im Frühjahr 2011 entwickelten sich die Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers rasch. Bereits im April wurde eine durchschnittliche Temperatur von über 11° C erreicht (Deutscher Wetterdienst 2011). Bereits Anfang Juli konnten die ersten adulten Käfer in Baden-Württemberg gefunden werden. Um eine mögliche Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers entlang des Rheintals nach Norden mittels Fahrzeugen nachzuweisen, wurde ein Monitoring mittels Pheromonfallen entlang der A5 zwischen Gießen und Karlsruhe durchgeführt.

3.2 Standorte der Fallen

Entlang der Autobahn A5 zwischen Gießen und Karlsruhe wurden an Autobahnraststätten und Parkplätzen sowohl in südliche, als auch in nördliche Richtung insgesamt 47 Fallen an 35 Rast- und Parkplätzen aufgestellt. Je nach Größe und örtlichen Gegebenheiten der Rastplätze wurden ein bis zwei Fallen aufgestellt, welche entweder an Ein- und Ausfahrten, oder in den Zentren der Rastplätze aufgestellt wurden. Diese Fallenstandorte erstreckten sich über eine ca. 400 km lange Route (Abb. 19). Die genauen Positionen der Fallen wurden mittels eines Garmin eTrex Vista HCx GPS-Gerätes erfasst. Das Monitoring erstreckte sich über einen Zeitraum von 8 Wochen. Es begann am 16.7.2011 und endete am 10.09.2011. Die Kontrolle der Fallen und das Erneuern der Pheromonträger erfolgte wöchentlich.

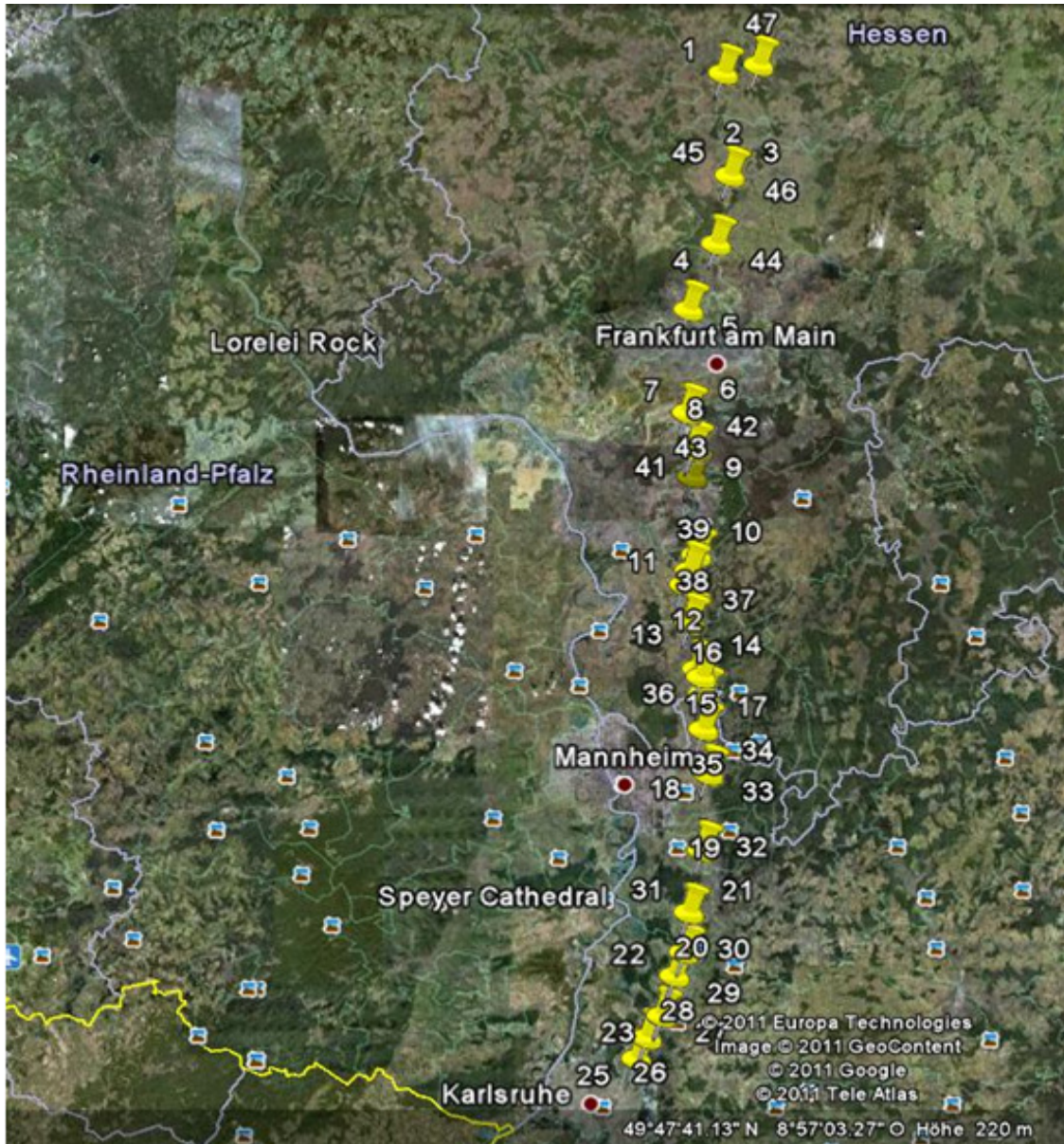


Abb. 19: Fallenstandorte des Monitorings mittels Pheromonfallen entlang der Autobahn A5.¹⁹

3.3 Fallentyp

Für das Monitoring wurden Pheromonbecherfallen nach Metcalf (Levine & Metcalf 1988) verwendet. Diese wurden je nach örtlichen Gegebenheiten entweder an Zäunen, oder an Bäumen bzw. Sträuchern in einer Höhe von 100-170cm befestigt. Die Fallen wurden an der konischen Außenfläche mit wasserunlöslichem Insektenleim (Polyisobuten) bestrichen, und mit 5 x 5 cm großen Quadraten des Spezialpapiers Whatman 17 CHR (Kat.-Nr. 3017 915) versehen, welche zuvor mit 2,5 µl der Lockstoffsubstanz (0,1mg des Sexualpheromons 8-Methyl-decan-2-ol propionat in Hexanlösung) beträufelt wurden.

¹⁹ Google Earth, eigene Erhebungen.

Die Metcalf-Falle ist im Vergleich zu anderen Fallen sehr kostengünstig (15 US-Cent pro Falle) und hat eine hervorragende Wirkungsweise (Abb. 20) (Wudtke et al. 2005). Jedoch ist sie im Wochenrhythmus ständig zu erneuern und für Ungeübte zunächst schwer handzuhaben. Bei einer Anwendung mit Kairomonen ist die Bestimmung des Geschlechts der Käfer recht schwierig, sodass sich dieser Fallentyp bisher noch nicht allgemein durchsetzen konnte (Levine & Oloumi-Sadeghi 1991), obwohl seine Vorteile auf der Hand liegen (Hummel et al. 2009).

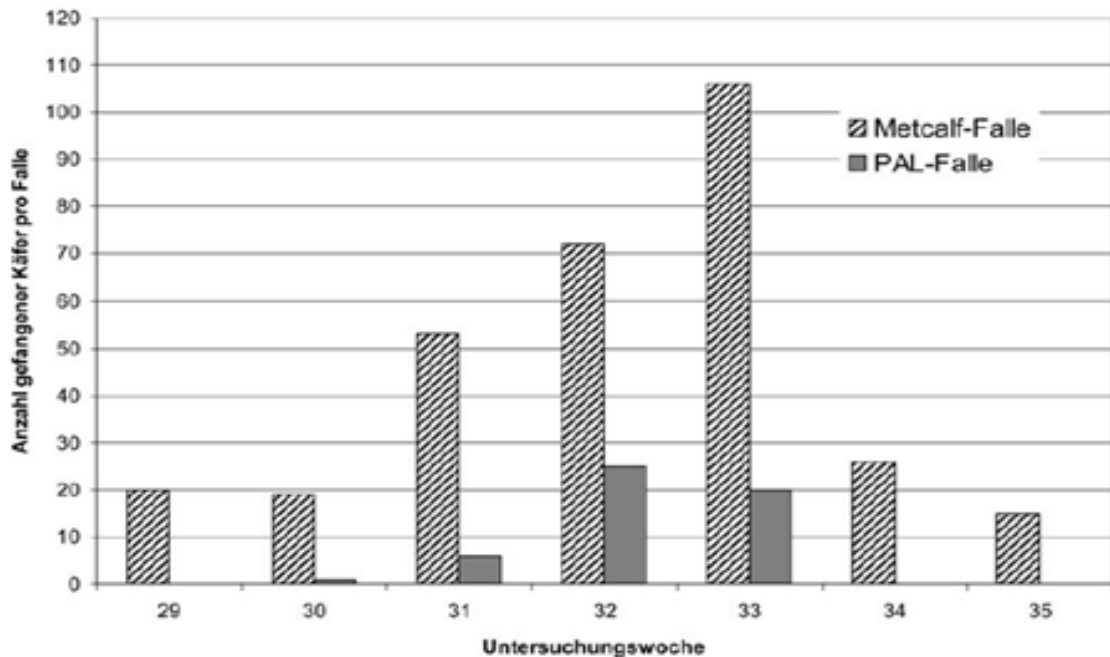


Abb. 20: Vergleich der Fängigkeit von mit Pheromonködern bestückten Metcalffallen und PAL-Klebefallen in Breganzona (Versuchsparzelle 8) am Flughafen Agno (Jahr 2004).²⁰

3.4 Wirkungsweise der Fallen

Hormone sind artspezifische Botenstoffe und dienen der Kommunikation zwischen Individuen derselben Art (Karlson & Lüscher 1959). Das Wahrnehmen dieser Duftstoffe führt zu einer bestimmten Reaktion der Insekten. Guss et al. (1982) ermittelten im Jahr 1982, dass das Molekül 8-Methyl-decan-2-ol propionat die einzig natürliche, von den Weibchen des Westlichen Maiswurzelbohrers produzierte Verbindung ist, die unter Feldbedingungen in der Lage ist, männliche Maiswurzelbohrer anzulocken. Die männlichen Käfer nehmen den Lockstoff mittels Chemorezeptoren an ihren Antennen über eine Distanz von ca. 20 m wahr (Hummel et

²⁰ Wudtke et al. (2005), Der Westliche Maiswurzelbohrer *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (Col.: Chrysomelidae) auf dem Weg nach Deutschland; Gesunde Pflanzen (2005), 73-80.

al. 2006) und steuern die Quelle des Lockstoffes zielgenau an. Die Käfer landen im besten Fall auf dem mit Insektenleim bestrichenen Teil der Falle und bleiben kleben.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse des Monitorings

Der enorme Befall in Baden-Württemberg entlang des Rheingrabens bis nach Rastatt, welches ca. 28 km südlich von Karlsruhe liegt, ließ einen Fund an Autobahnraststätten der A5 wahrscheinlicher denn je werden. Vor allem in der Gegend um Karlsruhe konnte man einen Käferfund erwarten. Da die Käfer die LKW nur bei Stillstand des Fahrzeugs verlassen können und die Lastwagenfahrer verschiedene Lenkpausen einhalten, wäre ein Fund nicht nur in der Nähe von Karlsruhe, sondern auch an der kompletten Route (vornehmlich Richtung Norden) möglich. Die Fallen wurden am 16.07.11 aufgestellt und über einen Zeitraum von 8 Wochen kontrolliert und erneuert. In diesen 8 Wochen konnte jedoch kein Westlicher Maiswurzelbohrer an den Pheromonfallen nachgewiesen werden (Abb. 21). Trotz des negativen Ergebnisses ist die Möglichkeit einer Verschleppung durch Verkehrsmittel wie z.B. LKW nach wie vor gegeben und nicht zu vernachlässigen.

Ergebnisse

Falle	Rastplatz	23.07.11	30.07.11	06.08.11	13.08.11	20.08.11	27.08.11	03.09.11	10.09.11
1	Hardt	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Wetterau	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Wetterau	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Spießwald	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Taunusblick	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Parkplatz	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Parkplatz	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Gräfenhausen	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Gräfenhausen	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Rolandshöhe	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Alsbach	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Alsbach	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Scheidweg	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Fuchs buckel	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Fuchs buckel	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Parkplatz	-	-	-	-	-	-	-	-
17	Fliegwiese	-	-	-	-	-	-	-	-
18	Parkplatz	-	-	-	-	-	-	-	-
19	Hardtwald	-	-	-	-	-	-	-	-
20	Mönchsberg	-	-	-	-	-	-	-	-
21	Mönchsberg	-	-	-	-	-	-	-	-
22	Bruchsal	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Parkplatz	-	-	-	-	-	-	-	-
24	Kreuzbachtal	-	-	-	-	-	-	-	-
25	Parkplatz	-	-	-	-	-	-	-	-
26	Höfenschlag	-	-	-	-	-	-	-	-
27	Höfenschlag	-	-	-	-	-	-	-	-
28	Bruchsal	-	-	-	-	-	-	-	-
29	Bruchsal	-	-	-	-	-	-	-	-
30	Parkplatz	-	-	-	-	-	-	-	-
31	Lußhardt	-	-	-	-	-	-	-	-
32	Hardtwald	-	-	-	-	-	-	-	-
33	Parkplatz	-	-	-	-	-	-	-	-
34	Parkplatz (wie 33)	-	-	-	-	-	-	-	-
35	Wachenburg	-	-	-	-	-	-	-	-
36	Parkplatz	-	-	-	-	-	-	-	-
37	Bergstraße	-	-	-	-	-	-	-	-
38	Bergstraße	-	-	-	-	-	-	-	-
39	Erlensee	-	-	-	-	-	-	-	-
40	Parkplatz	-	-	-	-	-	-	-	-
41	Gräfenhausen	-	-	-	-	-	-	-	-
42	Gräfenhausen	-	-	-	-	-	-	-	-
43	Parkplatz	-	-	-	-	-	-	-	-
44	Schäferborn	-	-	-	-	-	-	-	-
45	Wetterau	-	-	-	-	-	-	-	-
46	Wetterau	-	-	-	-	-	-	-	-
47	Limes	-	-	-	-	-	-	-	-

Abb. 21: Fallenstandorte und Kontrolldaten (Minus-Zeichen = keine Fänge)

4.2 Die aktuelle Lage der Bedrohung

Aufgrund des relativ hohen Befalls im Jahr 2010 konnte auch für das Jahr 2011 mit einem ähnlich hohen Befall gerechnet werden. Um dies jedoch zu vermeiden, wurde im Frühjahr eine Genehmigung für das Granulat Force 1.5 G mit dem Wirkstoff Tefluthrin zur Bekämpfung der Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers an Saatmais auf befallsgefährdeten Vermehrungsflächen in Baden-Württemberg nach § 11 (2) PflSchG „Gefahr im Verzuge“ für den Zeitraum vom 08.04.11 bis zum 07.08.11 erteilt. Für die Bekämpfung der adulten Käfer wurde das Pflanzenschutzmittel „Spruzit Schädlingfrei“ mit den Wirkstoffen Pyrethrin und Rapsöl für den Zeitraum vom 15.06.11 bis zum 12.10.11 zugelassen. Dieses Pflanzenschutzmittel wird vor allem im ökologischen Landbau eingesetzt. Auch das Blatinsektizid BISCAYA[®] mit dem Wirkstoff Thiacloprid wurde für den Zeitraum vom 01.07.11 bis zum 28.10.11 zugelassen.

Bis zum 15.09.11 wurden allein in Baden-Württemberg 6030 (Abb. 22) Käfer gefangen. Dies lässt darauf schließen, dass die durchgeführten Maßnahmen nicht die erwünschte Effektivität hatten. Denn im Vergleich zu 2010 (308 Käferfunde) stieg die Zahl der Käferfunde bereits im September 2011 um mehr als das neunzehnfache. Da die Flugzeit der Käfer jedoch bis in den Oktober hinein andauert, ist davon auszugehen, dass das volle Ausmaß des Befalls noch lange nicht erreicht ist.

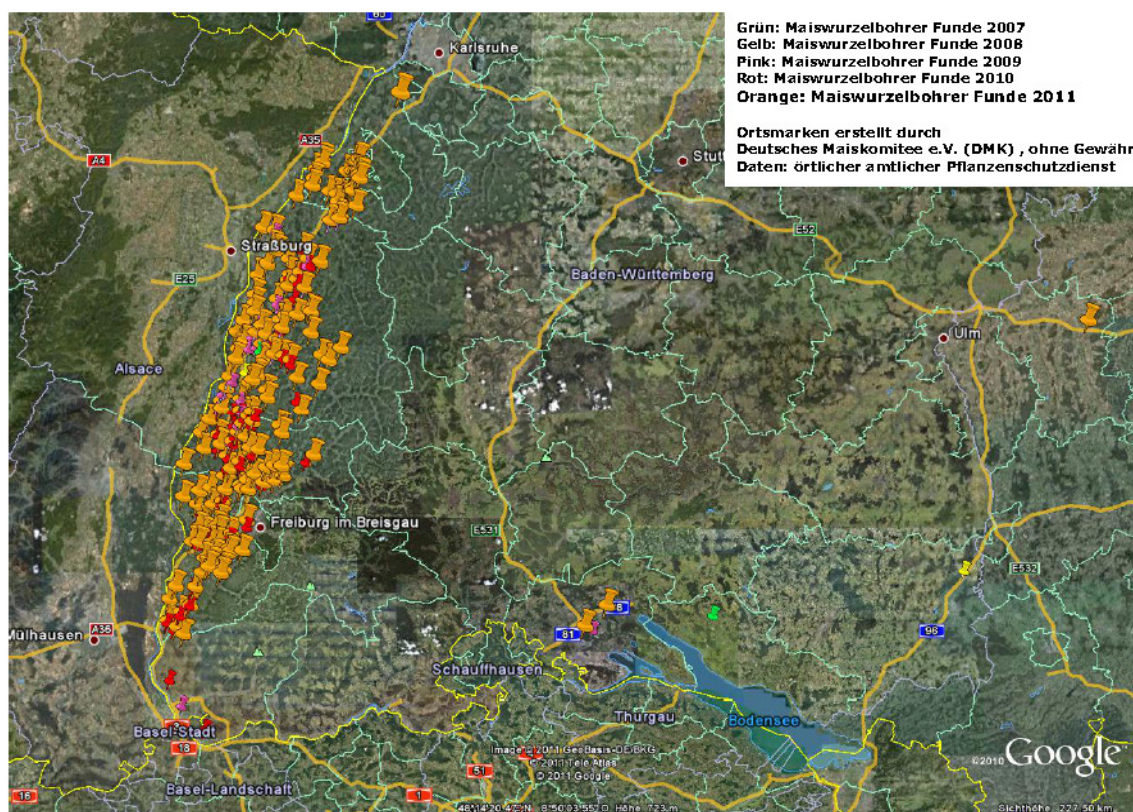


Abb. 22: Maiswurzelbohrer Funde in den Jahren 2007-2011 in Baden-Württemberg (Stand: 15.09.11).²¹

Auch in Bayern konnte der Westliche Maiswurzelbohrer im Jahr 2011 wieder gefangen werden. Die Verbreitung verläuft jedoch nicht in dem Ausmaß wie in Baden-Württemberg. Bis zum 15.09.11 wurden in Bayern laut DMK 168 Käfer gefunden. Erstmals konnte der Schädling in den Landkreisen Rosenheim, Günzburg, Traunstein Ebersberg und Markt Jettingen-Scheppach nachgewiesen werden (Abb. 23).

²¹ http://www.maiskomitee.de/web/upload/pdf/produktion/Karte_Diabrotica_BW_07-11_20110906.pdf (15.09.11).

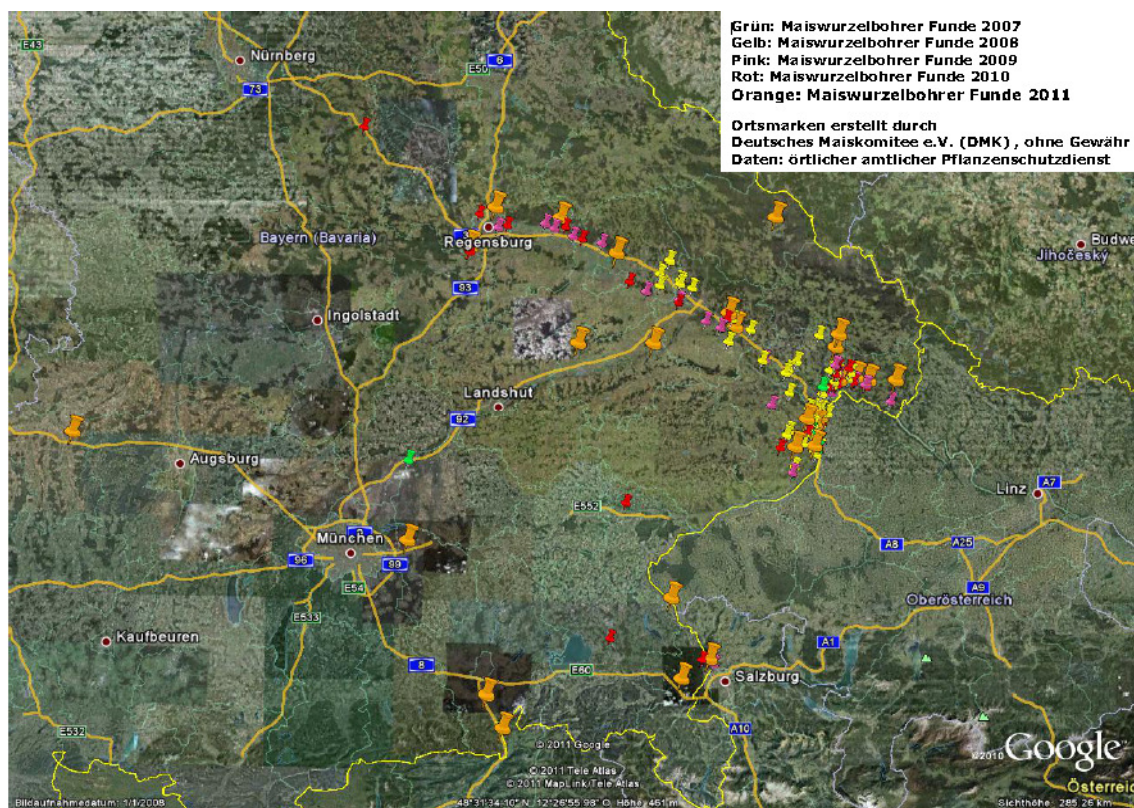


Abb. 23: Maiswurzelbohrer Funde in den Jahren 2007-2011 in Bayern (Stand: 07.09.11).²²

Am 30.08.11 wurden erstmals *Diabrotica*-Funde in Hessen und am 05.09.2011 in Rheinland-Pfalz vermeldet. In Hessen wurden 50 Käfer in Groß Gerau (Ortsteil Wallerstädten) gefangen und in Rheinland-Pfalz konnte ein Käfer in der ca. 11 km entfernten Gemarkung Bodenheim gefangen werden (Abb. 24). Umgehend wurden Befalls- und Sicherheitszonen eingerichtet und Eradikationsmaßnahmen (Spritzung mit Biscaya[®]) eingeleitet. Diese Verschleppungen sind aufgrund der hohen Fangzahlen vermutlich auf das vorherige Jahr zurückzuführen. Da die Fundorte fernab von bisher bekannten Fundorten auftraten, ist davon auszugehen, dass die Käfer durch eine Verschleppung (vermutlich per LKW über die Autobahn A 67, oder per Schiff über den Rhein) in diese Region gelangen konnten. Die Befallssituation in Deutschland hat sich im Jahr 2011 drastisch verändert (Abb. 25). Die Entwicklung in Baden-Württemberg und die Fänge in Hessen und Rheinland-Pfalz zeigen, dass sich die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers durch die zurzeit angewandten Bekämpfungsmaßnahmen nicht aufhalten lässt. Noch sind die Fangzahlen auf einem Niveau, auf dem noch keine wirtschaftlichen Schäden zu befürchten sind. Sollte sich diese Entwicklung in den nächsten Jahren fortsetzen, könnte es jedoch auch in

²² http://www.maiskomitee.de/web/upload/pdf/produktion/Karte_Diabrotica_BY_07-11_20110901.pdf (15.09.11).

Deutschland erstmalig zu Ertragseinbußen durch den Westlichen Maiswurzelbohrer kommen.

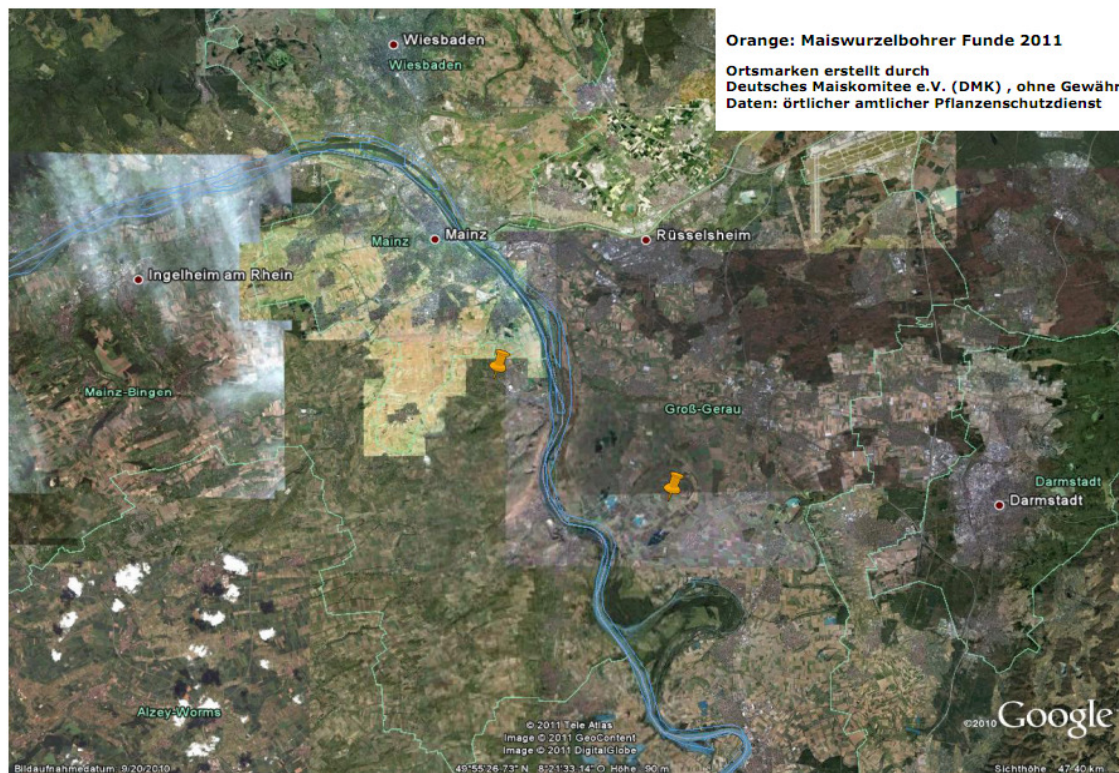


Abb. 24: Fundorte in Hessen und Rheinland-Pfalz (Stand: 15.09.11).²³

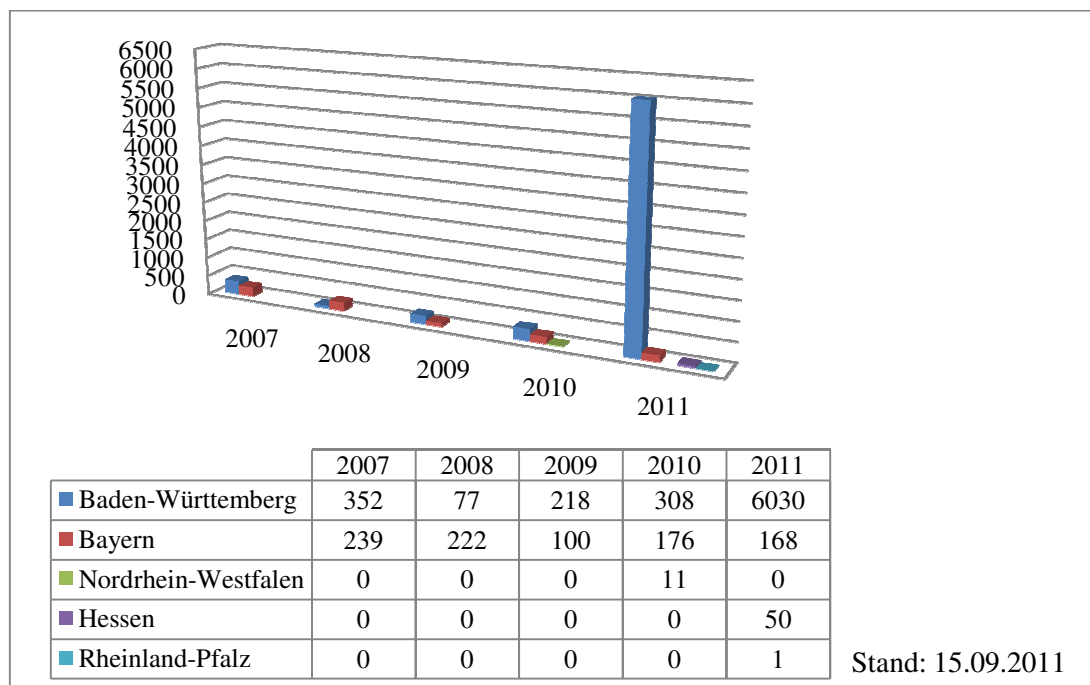


Abb. 25: Käferfunde in Deutschland in den Jahren 2007-2011 (eigene Grafik).

²³http://pflanzenschutzdienst.rp-giessen.de/fileadmin/dokumente/pflanzenbeschau/maiswurzelbohrerbefall__karte_2011.pdf (15.09.11).

5 Diskussion

5.1 Einschätzung und Beurteilung verschiedener Positionen

Laut Wilstermann und Vidal (2010) wird sich der Westliche Maiswurzelbohrer trotz intensiver Ausrottungs- und Quarantäne-strategien in Deutschland etablieren. Um einschätzen zu können, inwiefern der Klimawandel einen Einfluss auf die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers in Norddeutschland hat, führten Wilstermann und Vidal eine Studie durch. Für ihre Berechnungen zogen sie sowohl aktuelle, als auch prognostizierte Klimabedingungen heran. Sie gingen von einer durchschnittlichen Erwärmung von 2° C bis zum Jahr 2030 aus. Ausschlaggebend für ihre Versuche war der Zeitpunkt des Erreichens der minimalen durchschnittlichen Entwicklungstemperatur von 11° C für die Eier des Westlichen Maiswurzelbohrers. Als Ergebnis konnten sie festhalten, dass eine Durchschnittstemperatur von 11° C immer früher erreicht wird und somit auch die Larvenentwicklung früher einsetzt. Der Larvenschlupf verschob sich demnach von Ende Juni auf Anfang Juni. Durch die klimatischen Veränderungen kann die Maisanbaufläche in Deutschland immer weiter ausgedehnt werden. Die wachsende Maisfläche wird die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers begünstigen. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass der Westliche Maiswurzelbohrer aufgrund der zukünftigen klimatischen Bedingungen das Potential hat, sich in ganz Deutschland zu verbreiten. Die Bekämpfung und die Kontrolle müssen demnach an die Entwicklung angepasst und intensiviert werden. Dazu gehört ein engmaschigeres Monitoring, welches einer frühzeitigeren Erkennung von Befallsherden dient.

Um die zukünftige Effektivität der durch EU-Regelungen festgesetzten Maßnahmen zur Bekämpfung und Kontrolle zu überprüfen, führten Krügener et al. (2011) im Jahr 2011 eine Studie durch. Dazu gingen sie von einer mittleren Mortalität vom Ei bis zum adulten Tier von 97% aus, sowie von einer mittleren Eiablage von 486 Eiern pro Weibchen. Die Wachstumsrate pro Populationszyklus betrug 7,505. Als Ausgangspopulation wurde in den Berechnungen von 100 Käfern ausgegangen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Population des Westlichen Maiswurzelbohrers bei kontinuierlichem Maisanbau (Mais nach Mais) rapide ansteigen würde. Bereits nach vier Jahren wäre die ökonomische Schadensschwelle von 80.000 Käfern pro Hektar erreicht. Bei einem Maisanteil von 75% in der Fruchtfolge würde sich innerhalb von drei Jahren die Zahl der Käfer von ursprünglich 100 pro Hektar auf 40.000 erhöhen,

sodass es im siebten Jahr zum Überschreiten der ökonomischen Schadensschwelle kommen würde. Bei einer Kulturführung von 66% Mais würde es innerhalb des berücksichtigten Zeitraums von neun Jahren nicht zu einem Überschreiten der ökonomischen Schadensschwelle kommen, jedoch würde ebenfalls keine Reduzierung der Population eintreten, sondern bei einer tendenziell leicht zunehmenden Wachstumsrate bleiben. Ein Maisanteil von 50 % in der Fruchtfolge würde innerhalb von drei Jahren, insofern direkt mit einem Fruchtwechsel begonnen werden sollte, zu einer Ausrottung der Population führen. Bei 33% Mais in der Fruchtfolge würde es laut dieser Studie ebenfalls zu einer Ausrottung der Käfer-Population nach drei Jahren kommen.

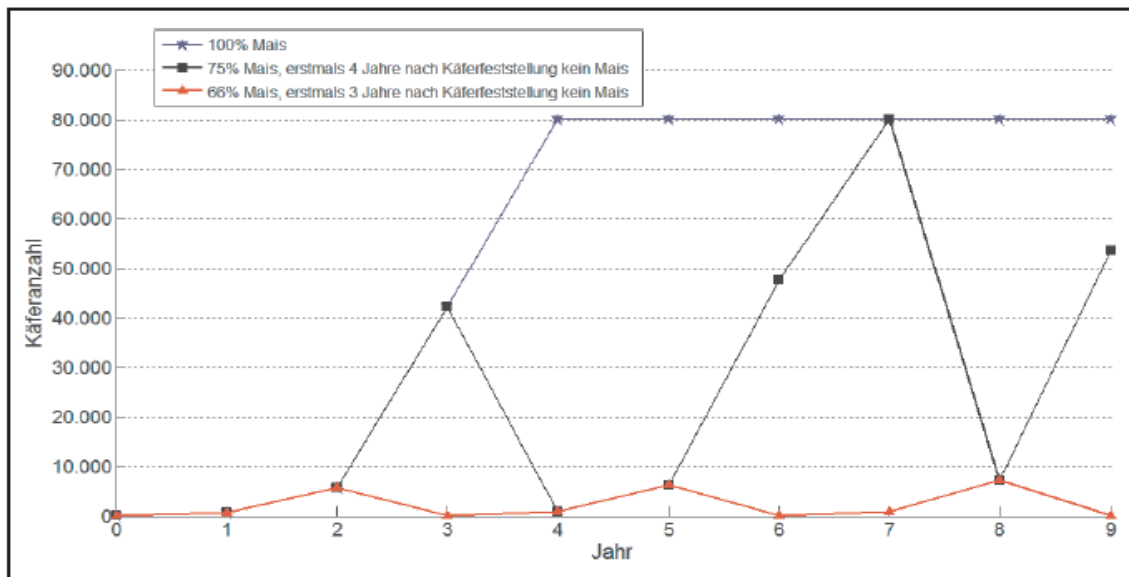


Abb. 26: Kalkulierte Populationsentwicklung des Westlichen Maiswurzelbohrers bei Maisanteilen von 66, 75 und 100% in der Fruchtfolge über einen Zeitraum von neun Jahren; Käferanzahl bis zur ökonomischen Schadensschwelle von 80.000 Käfer pro Hektar graphisch dargestellt.²⁴

²⁴Krügenger et al. (2011) Modellierung der Populationsentwicklung des Westlichen Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera virgifera*) - Betrachtung verschiedener Eingrenzungsoptionen. *Journal für Kulturpflanzen* 63, S. 69-76.

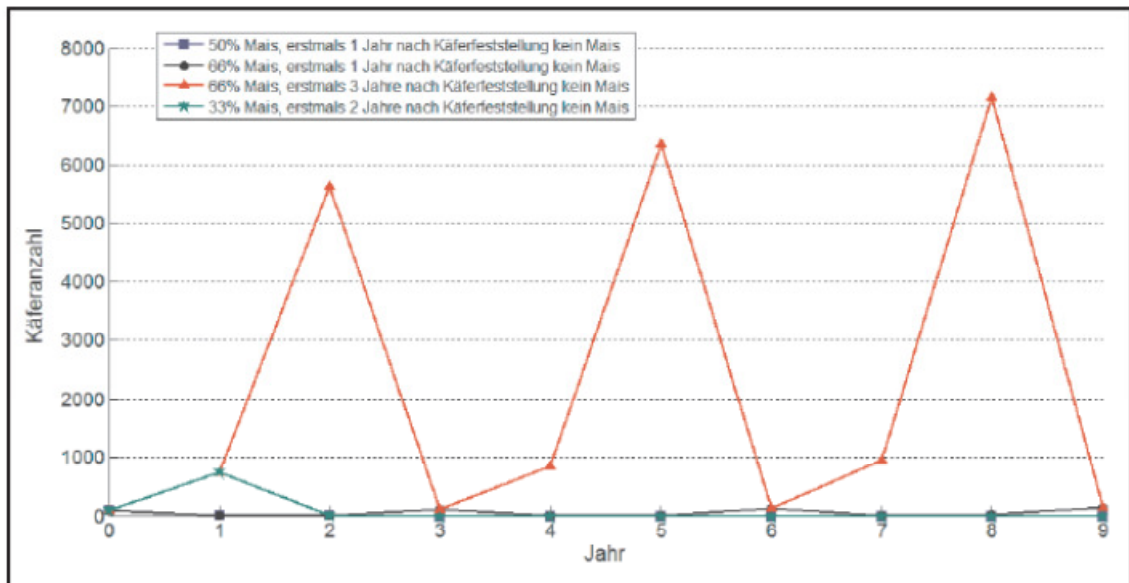


Abb. 27 :Vergleich der Populationsentwicklung des Westlichen Maiswurzelbohrers bei Maisanteilen von 33, 50 und 66% in der Fruchtfolge über einen Kalkulationszeitraum von neun Jahren.²⁵

Auch die insektiziden Bekämpfungsmaßnahmen wurden in dieser Studie bewertet. Bei einem alleinigen Einsatz der insektiziden Saatgutbeize wurde eine deutliche Zunahme der Population kalkuliert, sodass es bereits nach sieben Jahren zu einem ökonomischen Schaden kommt. Beim alleinigen Einsatz von Bodengranulat ist ebenfalls ein zwar verlangsamer, dennoch kontinuierlicher Anstieg der Population zu erwarten. Nach neun Jahren würde auch hier die Schadensschwelle überschritten werden.

Eine regelmäßige jährliche Adultenbekämpfung mittels Insektiziden führt zu einem Rückgang der Population. Nach neun Jahren sind laut der Studie nur noch acht von ursprünglich 100 Käfern vorhanden. Bei einer Fruchtfolge mit 66% Mais und einer zusätzlichen Behandlung mit Insektiziden kommt es zu einem Rückgang der Population und letztlich zum Aussterben. Je nach eingesetztem Insektizid (Granulat, Beize, Adultenbekämpfung) kann die Ausrottung zwischen vier und neun Jahren dauern. Auch eine alleinige Bekämpfung der Larven mit Bodengranulat oder insektizider Beize würde nach den Berechnungen der Autoren ein schnelles Wachstum der Population nicht vermeiden. Eine regelmäßige Bekämpfung der adulten Käfer würde hingegen zu einem Rückgang der Population führen. Eine erfolgreiche Bekämpfung hängt jedoch stark von Faktoren wie Bekämpfungszeitpunkt, Verfügbarkeit der Applikationstechnik,

²⁵ Krügener et al. (2011) Modellierung der Populationsentwicklung des Westlichen Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera virgifera*) - Betrachtung verschiedener Eingrenzungsoptionen. *Journal für Kulturpflanzen* 63, S. 69-76.

Witterungsbedingungen und Befahrbarkeit der Felder ab. Dies führt zu großen Unsicherheiten, was die Effektivität betrifft und ist aufgrund der geringen Praktikabilität nicht zu empfehlen.

Eine Fruchtfolge mit 66% Maisanteil in der Fruchtfolge ist als Eingrenzungsmaßnahme geeignet, insofern die Populationsentwicklung ständig kontrolliert wird und gegebenenfalls ergänzende Maßnahmen (Insektizid-Applikationen) durchgeführt werden. Aufgrund des hohen Ausbreitungsdrucks sind neben den Maßnahmen in den Befallsgebieten auch Unterdrückungsmaßnahmen durch Insektizide in den Eingrenzungsgebieten für eine erfolgreiche Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers von Nöten.

Krügner et al. berücksichtigten in ihren Kalkulationen jedoch nicht, dass die Käfer über ein breites Wirtsspektrum verfügen und somit in der Lage sind, ihre Wirte zu wechseln, sobald der Druck durch Eingrenzungsmaßnahmen zu groß wird. Dieser Tatsache könnte bei der Eingrenzung mittels Fruchtfolgewechsel in Zukunft eine große Bedeutung zukommen.

Auch Baufeld und Enzian (2005) ermittelten in einer Studie den vom Westlichen Maiswurzelbohrer ausgehenden potentiellen Schaden in Deutschland. Jedes Jahr legt der Westliche Maiswurzelbohrer laut Baufeld und Enzian 60-100 km zurück, insofern keine Bekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden. Auch in an Deutschland angrenzenden Ländern (Frankreich, Schweiz, Österreich, Tschechien, Polen, Niederlande) ist der Westliche Maiswurzelbohrer bereits etabliert. Baufeld und Enzian gingen in ihrer Studie davon aus, dass ein ökonomischer Schaden erst ab dem fünften Jahr nach dem Erstbefall zu erwarten ist. Sie legten fest, dass eine Fläche mit mehr als 50% Mais in der Fruchtfolge als Risikofläche einzustufen ist. Um die finanziellen Verluste besser darstellen zu können, betrachteten sie sowohl den Anbau von Körnermais, als auch den Anbau von Silomais separat. Der durchschnittliche Ertragsverlust beträgt in ihrer Studie 10% auf Risikoflächen. Aufgrund der optimalen Bedingungen in der Region um Alsace (Frankreich) und im Rheintal in Baden-Württemberg ist davon auszugehen, dass der Verbreitungsdruck des Westlichen Maiswurzelbohrers in diesen Regionen sehr hoch ist, sollten keine Eradikationsmaßnahmen durchgeführt werden (Abb. 28).

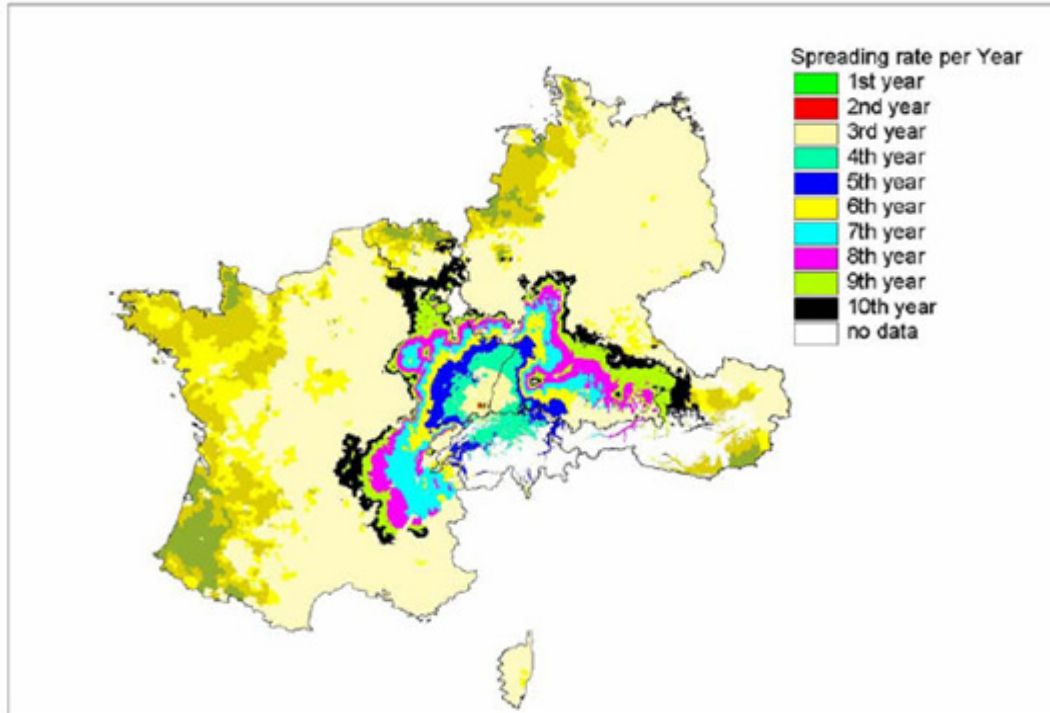


Abb. 28: Länderübergreifendes Ausbreitungs-Szenario des Westlichen Maiswurzelbohrers, ausgehend von Blotzheim (Alsace, Frankreich) ohne Eradikations- und Eingrenzungsmaßnahmen über 10 Jahre.²⁶

In der Simulation von Baufeld und Enzian würden ohne Kontrollmaßnahmen in einer Dekade (ausgehend vom Jahr 2003) 400.000 ha Mais vom Westlichen Maiswurzelbohrer allein in Deutschland befallen sein. 140.000 ha würden allein in Baden-Württemberg befallen sein, was nahezu der kompletten Maisanbaufläche dieses Bundeslandes entspricht (141.700 ha). Mehr als ein Viertel dieser Fläche wird als Risikofläche eingestuft. Allein auf diesen Risikoflächen kann der Westliche Maiswurzelbohrer in einer Dekade Schäden in Höhe von 18,2 Millionen Euro im Körnermaisbau, und 1,6 Millionen Euro im Silomaisbau verursachen.

Die Autoren Wessler und Fall (2010) entwarfen ein Szenario, bei dem von einer nicht kontrollierbaren Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers in Europa ausgegangen wird. Ihre Berechnungen bezogen sich auf 18 europäische Länder (Österreich, Belgien, Bulgarien, Tschechien, Frankreich, Griechenland, Deutschland, Ungarn, Italien,

²⁶http://p11631.typo3server.info/fileadmin/alte_Webseiten/Invasive_Symposium/articles/101_Baufeld.pdf (15.09.11).

Niederlande, Polen, Portugal, Rumänien, Slowakei, Slovenien, Spanien, Großbritannien und Kroatien). Geographische Begebenheiten wurden nicht berücksichtigt.

Die Autoren machten die Annahme, dass aufgrund der Kosten, die durch Schäden verursacht werden, die Kosten von Kontroll-Maßnahmen in jedem Fall zu rechtfertigen sind. Auch in Ländern die keine hohen Schäden durch *Diabrotica* erleiden, würden Kontroll-Maßnahmen zu positiven externen Effekten bei der Bekämpfung des Käfers in Ländern mit hohen Schäden führen. Deutschland profitiert beispielsweise von den Bekämpfungsmaßnahmen, die in Österreich durchgeführt werden.

Für ihre Studie gingen Wesseler und Fall von kontinuierlichem Maisanbau in Europa aus. Die Schäden im ersten Jahr des Befalls laufen in ihren Annahmen gegen Null. Die Fruchtfolge stellt in ihrem Szenario ein effektives Mittel gegen den Befall des Westlichen Maiswurzelbohrers dar. Die Höhe der Ernteverluste wurde auf maximal 10-30% festgelegt. Da sich Käferpopulationen erst etablieren müssen, gingen die Autoren davon aus, dass mit einem ökonomischen Schaden erst ab dem fünften Jahr nach dem Befall zu rechnen ist. Um das Modell einfach zu halten, legten die Autoren in ihrer Studie gleichbleibende Maispreise und -mengen fest. Die berücksichtigten Länder ergeben in der Summe eine Fläche von ca. 3,26 Millionen km². Von dieser Fläche sind ca. 2,55 Millionen km² gegenüber einem Befall durch den Westlichen Maiswurzelbohrer anfällig. Um die Geschwindigkeit der Verbreitung einschätzen zu können, nahm man eine radiale Verbreitung, ausgehend vom geographischen Mittelpunkt des jeweiligen Landes an.

Da die Maispreise in Europa von Land zu Land sehr verschieden sind, die Autoren jedoch aussagekräftige Ergebnisse erzielen wollten, gingen sie von drei verschiedenen Szenarien für ganz Europa aus, welche verschieden hohe Ertragseinbußen zu verschiedenen Maispreisen darstellen. Eine Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers von jährlich 40 km, durchschnittlichen Ernteeinbußen von 20% und einem Maisertrag von 939 €/ha bei einer Fläche von 1,26% der Gesamtfläche mit Mais als Monokultur gilt als das wahrscheinlichste Szenario. Bei diesem Szenario ist jährlich mit Schäden von ca. 472 Millionen € in den berücksichtigten Ländern zu rechnen. Um eine Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers erfolgreich einzugrenzen, ist es wichtig, einen möglichen Befall so lange wie möglich zu verzögern. Insofern die Kosten der Maßnahmen unter der Höhe des potentiellen Schadens von 472 Millionen €

liegen, sind diese in jedem Fall gerechtfertigt und unbedingt anzuwenden. In Deutschland würden nach den Berechnungen der Autoren Schäden in Höhe von etwa 52 Millionen € jährlich entstehen, insofern keine Maßnahmen durchgeführt werden. Demzufolge sollten Bekämpfungsmaßnahmen in Deutschland nicht mehr als 52 Millionen € pro Jahr in Anspruch nehmen. Auf lange Sicht ist ein Aufhalten der Verbreitung des Käfers nicht mehr möglich. Das Eindämmen der Verbreitung ist somit die wichtigste Alternative. Sollte eine Reduzierung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von 40 km/Jahr auf 20 km/Jahr möglich sein, könnten im Hinblick auf alle berücksichtigten Länder, Schäden in Höhe von 74 Millionen € vermieden werden.

Da die Wahrscheinlichkeit eines Befalls durch den Westlichen Maiswurzelbohrer in vielen Ländern verschieden ist, sind auch die ökonomischen Vorteile einer Bekämpfung und die damit verbundenen Kosten ungleich verteilt. In einer Studie von MacLeod et al. (2004) kommen die Autoren zu dem Ergebnis, dass sich Kontrollmaßnahmen für Länder mit geringen Schäden nicht lohnen und die Kosten somit nicht zu rechtfertigen sind.

Deutschlandweit könnten die Ertragseinbußen laut Baufeld und Enzian (2005) bei Körnermais 113.145 t und bei Silomais 930.946 t betragen und zu einem finanziellen Verlust von insgesamt 22,3 Millionen Euro führen. Diese Ergebnisse stimmen mit denen von Wudtke et al. (2005) und Hummel et al. (2004) überein, denn auch sie gehen im Falle einer erfolgreichen Festsetzung des Westlichen Maiswurzelbohrers in Deutschland von Ernteverlusten in Höhe von ca. 25 Millionen Euro aus. Wesseler und Fall (2010) errechneten in ihrem Szenario jährliche Schäden von über 52 Millionen € in Deutschland, insofern keine Maßnahmen zur Bekämpfung und Eingrenzung durchgeführt werden würden.

Durch die Eradikations- und Eingrenzungsmaßnahmen der letzten Jahre konnten die Entwicklungen und Schäden dieses Szenarios jedoch vorerst vermieden werden. Die Zahl der Käferfunde, die seit 2007 in Deutschland gemacht wurden, ist jedoch sehr schwankend. Zuletzt (2010, 2011) konnte ein erneuter Anstieg der Fänge verzeichnet werden.

Bei diesen Szenarien wird jedoch nicht berücksichtigt, dass der Anbau von Saatmais (im Jahr 2011 laut DMK ca. 4000 ha) jährlich, das heißt ohne Fruchtfolge, durchgeführt werden darf. Sogar auf Flächen, auf denen ein Befall durch den Maiswurzelbohrer

nachgewiesen werden konnte, ist der Maisanbau im Folgejahr nicht verboten. Der Anbau von Saatmais findet in Deutschland größtenteils im Oberrheingraben statt – dort, wo sich der Westliche Maiswurzelbohrer etablieren konnte. Voraussetzung für den permanenten Anbau von Saatmais ist jedoch die jährliche Bekämpfung der Larven und der adulten Tiere. Im Jahr 2010 wurden vor allem Parasiten zur Bekämpfung eingesetzt. Für das Jahr 2011 wurde eine kombinierte Bekämpfung mittels Parasiten und Insektiziden vorgeschlagen (Imgraben 2011).

5.2 Eigene Einschätzung

Die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers in Deutschland scheint unaufhaltsam. Eine Ausrottung ist nicht mehr möglich. Alle Aktivitäten müssen nun darauf abzielen, eine weitere Verbreitung zu verhindern. Die enorm hohe Zahl der Fänge, die in Baden-Württemberg gemacht wurden, weist darauf hin, dass die vorgeschriebenen EU-Maßnahmen zur Eingrenzung des Käfers nicht die erwünschte Effektivität aufweisen. Gegen eine geringe Effektivität spricht jedoch die Verbreitungssituation in Bayern. Hier blieb die Zahl der Käferfänge auf einem relativ geringen Niveau, obwohl eine Fruchtfolge mit 66% Mais durchgeführt wird (Pers. Mitteilung LfL Bayern). Das erstmalige Auftreten von Maiswurzelbohrern in Hessen und Rheinland-Pfalz deutet darauf hin, dass sich die zukünftige Verbreitung des Käfers in keinster Weise voraussagen lässt. Ein punktueller Auftreten dieses Schädlings kann aufgrund der deutschlandweit intensiven Maiskultivierung zu jeder Zeit in nahezu jeder Region auftreten. Vor allem der Verbreitungsdruck der umliegenden Länder könnte dazu führen, dass in naher Zukunft immer mehr punktuelle Verschleppungen auftreten.

Ein weiterer Anhaltspunkt dafür, dass sich die Ausmaße der Verbreitung nicht voraussagen lässt, zeigt ein Vergleich der Verbreitungssituationen in den Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg. Hier ist der Verlauf der Verbreitung sehr unterschiedlich. In Baden-Württemberg verbreitet sich der Käfer fast ausschließlich an der französischen Grenze nach Norden, entlang des Rheingrabens. In Bayern verbreitet sich der Käfer zwar vornehmlich entlang der Donau nach Nord-Westen, doch konnten in den letzten Jahren immer wieder Einzelfunde im ganzen Bundesland gemacht werden. Ein Grund dafür könnte die im Vergleich zu Baden-Württemberg umfangreichere Maisanbaufläche in Bayern sein, die es dem Käfer bei zu großem Verbreitungsdruck ermöglicht, bereits befallene Felder zu verlassen und umgehend weitere, nichtbefallene Flächen zu besiedeln. Diese Flächen kann er

problemlos durch aktiven Flug, aber auch durch das Nutzen verschiedener Transportmittel erreichen. Auch die von Benker (2009) aufgestellte Theorie einer Verbreitung über die Autobahn A8 von Linz nach Passau, oder über die A3 von Passau nach Regensburg scheint ein Grund für die aktuelle Verbreitungssituation in Bayern zu sein.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Entwicklung in den Ländern Österreich und Frankreich. An den Grenzen zu diesen Ländern befinden sich jeweils von Baufeld definierte Risikogebiete (Abb. 29), in denen sich der Käfer bereits etabliert hat bzw. etablieren kann.

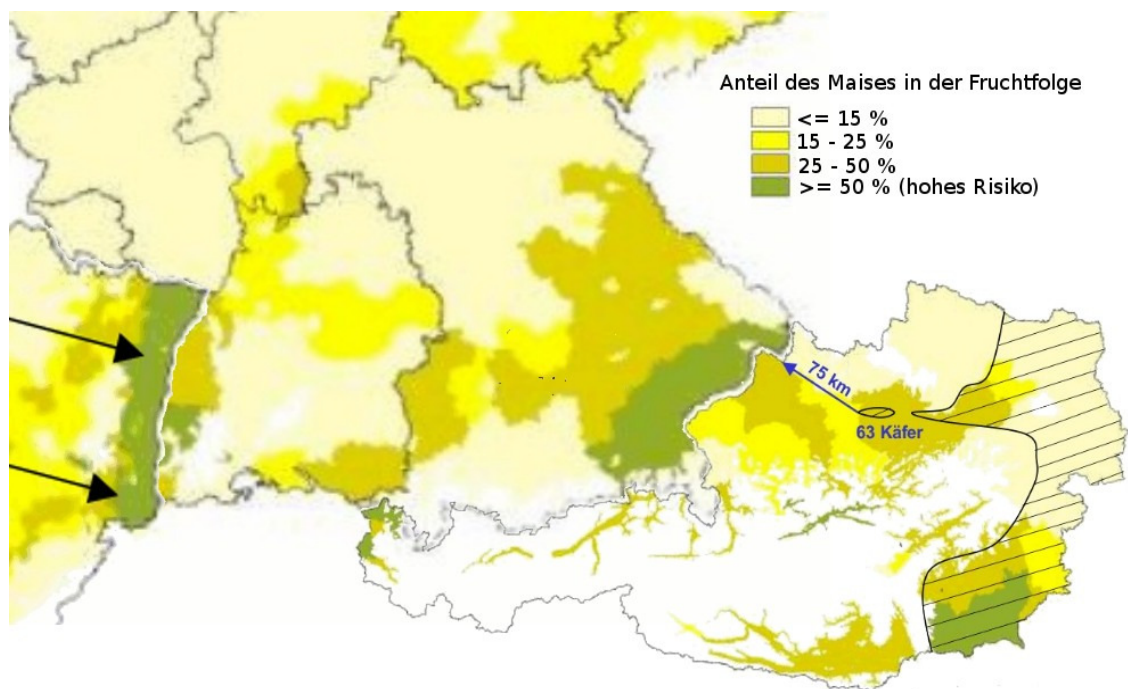


Abb. 29: Maisanteile in der Fruchtfolge in Süddeutschland, Ostfrankreich und Österreich (Maisanbau von über 50% wird als Risikogebiet eingestuft).²⁷

Die Verbreitungssituation in Österreich wirkt stabil. Die Eradikations- und Eingrenzungsmaßnahmen scheinen dort die gewünschte Effektivität zu haben. Dies führt dazu, dass der Verbreitungsdruck in dieser Region noch nicht so hoch ist, dass die Käfer in großem Umfang gezwungen sind, sich nach Norden in Richtung Bayern auszubreiten. In Frankreich hingegen nimmt der Befall im Jahr 2011 neue Ausmaße an. Vor allem an der Grenze zu Deutschland hat sich der Westliche Maiswurzelbohrer etabliert. Laut des französischen Fachverbands der Maiserzeuger (AGPM, 2011)

²⁷http://diabrotica.jki.bund.de/images/13_20110407__Befallssituation_Deutschland_2010.jpg (15.09.11).

wurden allein am 20. Juli **220** Käfer in Lockstoff-Fallen in den Regionen Elsass, Burgund und Rhône-Alpes gefangen. Von dort aus können sich die Käfer problemlos nach Deutschland ausbreiten. Diese Situation ist auf die witterungsbedingte vorgezogene Reife der Maiskolben, aber auch auf die erhöhte Fallenzahl und die günstigen Witterungsverhältnisse zurückzuführen.

Diese Entwicklung zeigt, dass das oberste Ziel bei der Bekämpfung und der Eingrenzung des Westlichen Maiswurzelbohrers weiterhin der Einsatz eines umfangreichen Fruchtwechsels sein muss. Eine Fruchtfolge mit 66% Mais und ergänzendem Insektizid-Einsatz würde zwar zu einer Eingrenzung führen, die Population würde jedoch nicht umgehend, sondern erst über einen Zeitraum von mehreren Jahren getilgt werden. Diese Variante der Fruchtfolge birgt demnach das Risiko einer weiteren Verbreitung. Auch die Möglichkeit des Überlebens der Eier im Boden mit zweijähriger Diapause würde wahrscheinlicher werden.

Sinnvoll wäre eine Fruchtfolge mit höchstens 50% Mais. Dies würde zwar dazu führen, dass die Landwirte ihre Anbauweise anpassen müssten, die dadurch entstehenden finanziellen Einbußen würden jedoch in keinsten Weise in Relation zu den Kosten stehen, die durch die Schäden einer etablierten *Diabrotica*-Population verursacht würden.

Neben einer abwechslungsreichen Fruchtfolge ist auch eine Bodenbearbeitung nach der Maisernte zu empfehlen. Wie Versuche von Gräpel et al. (2010) zeigen, kann die Art der Bodenbearbeitung die Anzahl der schlüpfenden Käfer beeinflussen (Abb. 30).

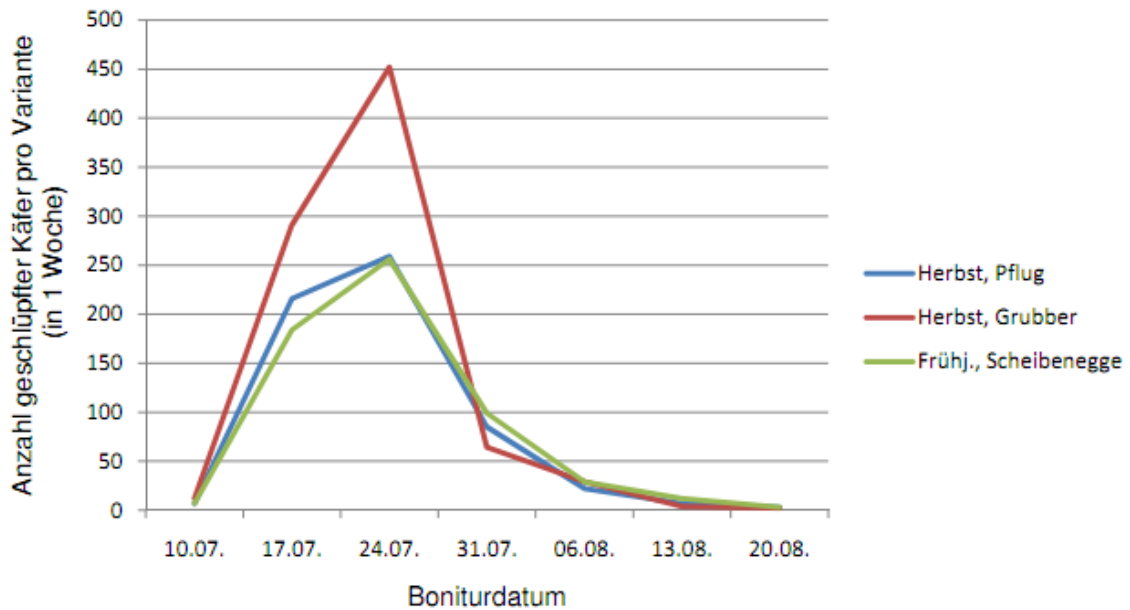


Abb. 30: Anzahl geschlüpfter Käfer in den unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten.²⁸

Inwiefern der permanente Anbau von Saatmais die Wirksamkeit des Fruchtfolgewechsels in Feldern mit Silo- und Körnermais beeinträchtigt, muss noch erörtert werden. Es scheint jedoch nicht sehr sinnvoll, in Gebieten mit hohem Befallsdruck den Saatmaisbau um jeden Preis fortzuführen. Denn so könnte sich der Schädling, sollte er weiter Resistenzen gegen Insektizide ausbilden, problemlos in Feldern mit Saatmais etablieren. Die Fruchtfolge-Maßnahmen in Feldern mit Silo- und Körnermais würden demnach wirkungslos sein (siehe 2.4.3).

In Zukunft muss geprüft werden, wie die Effektivität verschiedener kombinierter Bekämpfungsmethoden zu beurteilen ist. Die biologische Bekämpfung mittels Parasiten ist vielversprechend und könnte schon bald Anwendung finden, allerdings ist ein Einsatz dieser Methode zurzeit noch mit hohen Kosten verbunden. Die Kombination eines Fruchtwechsels mit einem zusätzlichen Einsatz von Nematoden während des Maisanbaus könnte zu einer erfolgreichen Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers führen.

Desweiteren sollte in Erwägung gezogen werden, den Einsatz von transgenem *Bt*-Mais europaweit zuzulassen. Der Anbau in den USA hat gezeigt, dass diese Methode sehr effektiv ist, solange der Westliche Maiswurzelbohrer keine Resistenzen gegen das Cry-

²⁸http://www.versuchsreferat.com/pdf_Artikel/Maiswurzelbohreitag/Graepel_Erste_Ergebnisse_aus_Rumaenien,%207.12.2010%20Graz.pdf (15.09.11).

Protein ausbildet. Um dies zu vermeiden, könnte *Bt*-Mais in einen Fruchtwechsel mit nicht gentechnisch-verändertem Mais integriert werden. Positiver Nebeneffekt wäre hier eine sichere Maisproduktion mit der Möglichkeit, eine Fruchtfolge mit einem Anteil von über 50% Mais einzusetzen. Auch die dauerhafte Zulassung von Insektiziden sollte in Erwägung gezogen werden. In Kombination mit der Fruchtfolge könnte dies zu einer erfolgreichen Eingrenzung der Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers führen.

6 Zusammenfassung

Die derzeitigen Entwicklungen in der Biogasbranche deuten daraufhin, dass sich der Anbau von Mais in den kommenden Jahren intensivieren wird. Schätzungen der FNR zufolge, werden bis zum Ende des Jahres 2011 ca. 7000 Biogasanlagen in Deutschland stehen. Um diese Anlagen mit einer ausreichenden Substratmenge zu versorgen, ist ein intensiver Anbau von Energiepflanzen unabdingbar. Es ist davon auszugehen, dass Mais auch in Zukunft aufgrund seiner geringen Anbaukosten und seiner hohen Methanausbeute weiterhin als wichtigstes Gärsubstrat eingesetzt werden wird. Der Westliche Maiswurzelbohrer wird demnach optimale Bedingungen vorfinden, um sich in Deutschland etablieren und weiter verbreiten zu können. Die Befallssituation im Jahr 2011 hat sich im Vergleich zu den vorherigen Jahren drastisch verändert. Vor allem die Situation in Baden-Württemberg, wo sich die Käfer-Funde nahezu um das neunzehnfache vervielfacht haben, deutet daraufhin, dass sich die Verbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers in den kommenden Jahren weiter fortsetzen wird. Die erstmaligen Funde in Hessen und Rheinland-Pfalz zeigen auf, dass es durch Verschleppungen deutschlandweit zu nicht vorhersehbaren Befällen kommen kann. In Zukunft wird es daher vor allem wichtig sein, flexibel und schnell auf neue Funde reagieren zu können. Die Eingrenzungsmaßnahmen müssen weiter ausgebaut werden, was mit hohen Kosten für Landwirte und Länder verbunden ist. Der Verbreitungsdruck der Käferpopulationen in den an Deutschland angrenzenden Ländern wird ebenfalls weiter ansteigen. An den Grenzen zu diesen Ländern sind in den kommenden Jahren neue Einschleppungen zu erwarten. Vor allem die Situation in Polen muss in Zukunft beachtet werden. Denn dort ist der Käfer nur noch ca. 150 km von der Grenze zu Sachsen entfernt und könnte demnach schon bald eine Bedrohung für den sächsischen Maisanbau darstellen (Baufeld 2011). Die Verbreitung über menschliche Transportwege ist trotz der negativen Ergebnisse des durchgeführten Monitorings entlang der Autobahn

A 5 nicht zu vernachlässigen. Denn punktuelle Einschleppungen wie beispielsweise in Hessen und Rheinland-Pfalz, oder in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2010 sind auf Verschleppungen durch Flug-, Straßen- und Schiffsverkehr zurückzuführen.

Ein Umstieg der Biogasbranche auf alternative Substratpflanzen sollte unbedingt in Erwägung gezogen werden. Es stehen genügend alternative Pflanzenarten zur Verfügung, die sowohl mit den Anbaukosten, als auch mit den Gaserträgen von Mais vergleichbar sind. Inwiefern ein Umstieg aus ökonomischer Sicht realisierbar ist, müsste in weiteren Studien erarbeitet werden. Sollte die Biogasbranche weiterhin auf die Substratversorgung durch Mais setzen, könnte es schon in wenigen Jahren zu Substratengpässen kommen.

7 Literaturverzeichnis

Agentur für Erneuerbare Energien e. V. (2010). *in Sachen Energiepflanzen*.

AGPM. (31. Juli 2011). Proplanta. Abgerufen am 24. August 2011 von http://www.proplanta.de/Agrar-Nachrichten/Pflanze/Maiswurzelbohrer-wuetet-in-Frankreich-in-unbekanntem-Ausmass_article1312105074.html

Andersen, J. F., & Metcalf, R. L. (1987). Factors influencing distribution of *Diabrotica* spp. in blossoms of cultivated *Cucurbita* spp. *Journal of Chemical Ecology* 13 , S. 681-699.

Baca, F. (1993). New member of the harmful entomofauna of Yugoslavia *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (*Coleoptera: Chrysomelidae*). *IWGO NewsLetter, Vol. XII (1-2)* , S. 21.

Ball, H. J., & Weekman, G. T. (1963). Differential resistance of corn rootworms to insecticides in Nebraska and adjoining states. *J. Econ. Entomol.* 56 , S. 553-555.

Barna, G., Edwards, C. R., Gerber, C., Bledsoe, L. W., & Kiss, J. (1998). Management of western corn rootworm (*D.v.v.*) in corn based on survey information from previous soybean crop. In *Acta Phytopatologica et Entomologica Hungarica*, 33 (1-2) (S. 169-178).

- Baufeld. (23. August 2011). Julius-Kühn Institut; Institut für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit. Abgerufen am 24. August 2011 von Westlicher Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) – Aktuelle Situation und Hintergründe: http://pflanzengesundheit.jki.bund.de/dokumente/upload/a6e7c_diabviaktuell.pdf
- Baufeld. (2009). Julius-Kühn-Institut. Abgerufen am 4. August 2011 von <http://diabrotica.jki.bund.de/index.php?menuid=18>
- Baufeld, P., &ENZIAN, S. (2005). *Diabrotica virgifera virgifera*, its potential spread and economic and ecological consequences in Germany. Abgerufen am 14. Mai 2011 von http://p11631.typo3server.info/fileadmin/alte_Webseiten/Invasive_Symposium/articles/101_Baufeld.pdf
- Baufeld, P., &ENZIAN, S. (2004). Länderübergreifende Ausbreitungsszenarien zu *Diabrotica virgifera virgifera* und mögliche Konsequenzen. In 54. Deutsche Pflanzenschutztagung (S. 378-379). Hamburg: BBA.
- Baufeld, P., &ENZIAN, S. (2005). Maize Growing, Maize High-risk Areas and Potential Yield Losses due to Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) Damage in Selected European Countries. In Vidal, Kuhlamm, & Edwards, Western Corn Rootworm: Ecology and Management (S. 285-302). CABi.
- Baufeld, P., Dellling, H., Krieger, A. E., Häring, A. M., Kühne, S., Jakob, J., et al. (2008). Mitteilungen aus dem Julius-Kühn Institut - Erarbeitung von Verfahrensbeschreibungen, Zeitbedarf und Anwendungskosten für spezielle Pflanzenschutzmaßnahmen im Ökologischen Landbau. Julius Kühn-Institut.
- Benker, U. (2009). Ausbreitung des Westlichen Maiswurzelbohrers *Diabrotica virgifera virgifera* LE CONTE, 1868 (*Chrysomelidae, Coleoptera*) in Bayern 2007–2009. In DGaaE Nachrichten 23. Jahrgang, Heft 3 (S. 133-134). Deutsche Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie e.V.
- Bertossa, M., Schaub, L., & Colombi, L. (2009). Die gute alte Fruchtfolge als Bekämpfungsmethode gegen den Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). Tagungsband der 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau (1) , S. 370-373.

- bioumweltenergie. (15. September 2008). bioumweltenergie.de. Abgerufen am 18. August 2011 von Vergleich der EEG-Vergütungsregelungen für 2009: http://www.bioumweltenergie.de/pdf/biomasse_verguetung.pdf
- Branson, Ortman, & Eldon. (1970). The Host Range of Larvae of the Western Corn Rootworm: Further Studies. *Journal of Economic Entomology*, Volume 63 (3) , S. 800-803.
- Branson, T. F., & Ortman, E. E. (1967). Host Range of Larvae of the Western Corn Rootworm. *J. Econ. Entomol.* 60 (1) , S. 201-203.
- Breitenbach, S., Gloyna, K., Heimbach, U., Thieme, T., & Dehne, H. W. (2006). Getreidearten und Ungräser als alternative Wirtspflanzen der Larven von *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, 1868 (*Coleoptera, Chrysomelidae*). *MITT. DTSCH. GES. ALLG. ANGEW. ENT.* 15 , S. 257-258.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft. (2002). Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft. Abgerufen am 27. Juli 2011 von EEG Jahresabrechnungen: http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_EEG-Jahresabrechnungen
- Cate, P. (2002). The confirmation of WCR (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) in Austria: occurrence, expansion and future prospects. *IWGO News Letter* 23 (2) , 18-19.
- Chandler, L. D., & Sutter, G. R. (1997). High clearance sprayer methods for application of corn rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*) semiochemical based baits. *Southwestern Entomologist* 22 (2) , S. 167-178.
- Cheek, S., Baker, R. H., & Cannon, R. J. (2004). First findings of the western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera* in the UK. *IWGO Newsletter*, 25 , 21–22.
- Chege, P. G., Clark, T. L., & Hibbard, B. E. (2005). Alternate Host Phenology Affects Survivorship, Growth, and Development of Western Corn Rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*) Larvae. *Environ. Entomol.* 34 (6) , S. 1441-1447.
- Chiang, H. C. (1973). Bionomics of the Northern and Western Corn Rootworm.- *Ann. Rev. Entomol.* 18, S. 47-72
- Ciosi, M., Miller, N. J., Kim, K. S., Giordano, R., Estoup, A., & Guillemaud, T. (2008). Invasion of Europe by the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera*:

multiple transatlantic introductions with various reductions of genetic diversity. In Journal compilation, 2008 Blackwell Publishing Ltd (S. 3614-3627).

Conrad, M. (2009). Energiepflanzen.info. Abgerufen am 13. Juni 2011 von <http://www.energiepflanzen.info/pflanzen/durchwachsene-silphie/>

Crickmore, N., Zeigler, D. R., Feitelson, J., Schnepf, E., Van Rie, J., Lereclus, D., et al. (1998). Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 62 , S. 807-813.

Deutscher Wetterdienst. (2011). [de.statista.com](http://de.statista.com/statistik/daten/studie/5564/umfrage/monatliche-durchschnittstemperatur-in-deutschland/). Abgerufen am 4. August 2011 von <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/5564/umfrage/monatliche-durchschnittstemperatur-in-deutschland/>

Dinnesen, S., Nedelev, T., & Ulrichs, C. (2009). *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (*Col.: Chrysomelidae*) and its abundance in maize and neighbouring non-maize fields of West Romania. Berlin.

Doane Marketing Research. (2001). The AgroTrak Study - 2000. St Louis, Missouri: Doane Marketing Research, Inc.

Donovan, W. P., Rugar, M. J., Slaney, A. C., Malvar, T., Gawron-Burke, M. C., & Johnson, T. B. (1992). Characterization of two genes encoding *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal proteins toxic to Coleoptera species. *Applied and Environmental Microbiology* 58 , S. 3921-3927.

Edwards, C. R. (1996). The dramatic shift of the western corn rootworm to first year corn. In 1996 Proceedings of the Illinois Agricultural Pesticides Conference, Cooperative Extension Service. University of Illinois at Urbana-Champaign.

English, L. H., Brussock, S. M., Malvar, T. M., Bryson, J. W., Kulesza, C. A., Walters, F. S., et al. (2000). Patentnr. 6,023,013 B1. USA.

English, L., & Slatin, S. L. (1992). Mode of action of delta-endotoxins from *Bacillus thuringiensis*: a comparison with other bacterial toxins. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 22 , S. 1-7.

eva-Verbund. (2008). Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Abgerufen am 22. August 2011 von <http://www.eva-verbund.de/themen/fruchtarnten/mais.html>

Fachagentur nachwachsende Rohstoffe. (2009). Energiepflanzen.info. Abgerufen am 8. August 2011 von [nachwachsende-rohstoffe.de:](http://www.nachwachsende-rohstoffe.de:)
<http://www.energiepflanzen.info/pflanzen/miscanthus/>

Festić, H., Faginovic, M., Berberovic, H., & Seratlic-Turkic, A. (1998). Die Ergebnisse des Warndienstes beim Western Corn Rootworm *Dv* LeConte (*Coleoptera: Chrysomelidae*) in Bosnia Herzegowina. Pflanzenschutzberichte 57 (2) , 28-32.

FNR, K. (2006). Handreichung Biogasgewinnung (FNR); Datensammlung Energiepflanzen (KTBL).

Furlan, L., Vettorazzo, M., Ortez, A., & Frausin, C. (1998). *Diabrotica virgifera virgifera* has already arrived in Italy. Infomatore Fitopatologico 12 , S. 43-44.

Gassmann, A., Petzold-Maxwell, J., Keweshan, R., & Dunbar, M. (2011). Field-Evolved Resistance to *Bt* Maize by Western Corn Rootworm. PloS ONE 6 (7) e22629. doi:10.1371/journal.pone.0022629.

Gianessi, L. P., Silvers, C. S., Sankula, S., & Carpenter, J. E. (2002). Plant Biotechnology: Current and Potential Impact for Improving Pest Management in US Agriculture. An Analysis of 40 Case Studies. National Center for Food and Agricultural Policy . Washington DC.

Glas, M., & Staer, B. (2010). Mit dem Maiswurzelbohrer leben - Erfahrungen aus deutschen Befallsgebieten. mais (4) , S. 138-141.

Gloyna, K., Thieme, T., & Zellner, M. (2010). *Miscanthus x giganteus*, a potential host plant for larvae of a European population of *Diabrotica v. virgifera* (*Coleoptera: Chrysomelidae*). Journal of Applied Entomology .

Gräpel, H. (2010). *Erste Ergebnisse aus den Versuchen in Rumänien*. Abgerufen am 29. August 2011 von [versuchsreferat.com:](http://www.versuchsreferat.com:)
http://www.versuchsreferat.com/pdf_Artikel/Maiswurzelbohrertag/Graepel_Erste_Ergebnisse_aus_Rumaenien,%207.12.2010%20Graz.pdf

- Gray, M. E., Sappington, T. W., Miller, N. J., Moeser, J., & Bohn, M. O. (2009). Adaption and Invasiveness of Western Corn Rootworm: Intensifying Research on Worsening Pest. *Annu. Rev. Entomol.* 54 , S. 303-321.
- Guss, P. L., Tumlinson, J. H., Sonnet, P. E., & Proveaux, A. T. (1982). Identification of a female-produced sex pheromone of the Western Corn Rootworm. *Journal of Chemical Ecology*, Vol.8, No. 2 , S. 545-556.
- Harmuth, P. (2008). *landwirtschaft-bw.info*. Abgerufen am 12. Mai 2011 von Der Westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) ist in Baden-Württemberg angekommen: [http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/-s/e5434fo0pwxlx59o3g17abl5bcj8txu/show/1222393/landinfo_Der%20Westliche%20Maiswurzelbohrer%20\(Diabrotica%20virgifera%20virgifera%20Le%20Conte\)%20ist%20in%20Baden-W%FCrttemberg%20angekommen%20\(Peter%20Harmuth\)](http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/-s/e5434fo0pwxlx59o3g17abl5bcj8txu/show/1222393/landinfo_Der%20Westliche%20Maiswurzelbohrer%20(Diabrotica%20virgifera%20virgifera%20Le%20Conte)%20ist%20in%20Baden-W%FCrttemberg%20angekommen%20(Peter%20Harmuth)).
- Hellmann, C., Greiner, A. & Wendorff, H.J. (2009): Design of pheromone releasing nanofibers for plant protection, (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/pat.1532 Published online in Wiley InterScience: 2009
- Hibbard, B. E., Higdon, M. L., Duran, D. P., Schweikert, Y. M., & Eilersieck, M. R. (2004). Role of egg density on establishment and plant-to-plant movement by western corn rootworm larvae (*Coleoptera Chrysomelidae*). *J. Econ. Entomol.* 97 , S. 871-882.
- Hoback, Clark, Meinke, Higley, & Scalzitti. (2002). Immersion survival differs among three *Diabrotica* species. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 105 , S. 29–34.
- Hoffman, C., Vanderbruggen, H. V., Hofte, H., Van Rie, J., Jansens, S., & Van Mellaert, H. (1988). Specificity of *B. thuringiensis* delta-endotoxins is correlated with the presence of high affinity binding sites in the brush border membrane of target insect midguts. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 85 , S. 7844-7848.
- Horváth. (2003). *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, A new sunflower pest from America. *HELIA*, 26 , S. 93-100.
- Hummel, H. E., Bertossa, M., & Deuker, A. (2009). The current status of *Diabrotica virgifera virgifera* in selected european countries and emerging options for its Pest Management. In F. FELDMANN, D. V. ALFORD, C. FURK: Crop Plant Resistance to Biotic and Abiotic Factors: Current Potential and Future Demands. Berlin, S. 338-348.

Hummel, H. E., Bertossa, M., Wudtke, A., Hein, D. F., Urek, G., Modic, S., et al. (2004). The Western Corn Rootworm *Diabrotica virgifera virgifera* en route to Germany. In H. Kleeberg, S. Strang: Biological Control of Plant, Medical and Veterinary Pests (S. 151-162). Wetzlar: TRIFOLIO-M GMBH.

Hummel, H. E., Shaw, J. T., & Hein, D. F. (2006). A promising biotechnical approach to pest management of the western corn rootworm in Illinois maize fields shielded with a MCA kairomone baited trap line. In *Mitt.DTSCH. GES. ALLG. ANGEW. ENT.* 15 (S. 131-136). Giessen.

Igrc-Barcic, J., & Maceljsky, M. (1996). Monitoring *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte in Croatia in 1995. *IWGO News Letter* 16 (1) , 11-13.

Igrc-Barcic, J., Bazok, R., Edwards, C. R., & Kos, T. (2007). Western corn rootworm adult movement and possible egg laying in fields bordering maize. *J. Appl. Entomol.* 131 , S. 400-405.

ima. (kein Datum). ima-agrar.de. Abgerufen am 22. August 2011 von information.medien. agrar: <http://www.ima-agrar.de/fileadmin/redaktion/download/pdf/materialien/mais.pdf>

Imgraben, H. (2011). Regierungspräsidium Freiburg. Abgerufen am 14. September 2011 von www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de: http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1318879_11/LTZ_Imgraben_biologische%20Bek%C3%A4mpfung%20des%20%20Maisz%C3%BCnslers%20%20und%20Ma%C3%9Fnahmen%20gegen%20Maiswurzelbohrer.pdf

Jackson, J. J. (1996). Field performance of entomopathogenic nematodes for suppression of western corn rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*). *J. Econ. Entomol.* 89 , S. 366-372.

Journey, A. M., & Ostlie, K. R. (2000). Biological control of the western corn rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*) using the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae*. *Environ. Entomol.* 29 , S. 822-831.

Julius Kühn-Institut. (2009). diabrotica.jki.bund.de. Abgerufen am 13. September 2011 von <http://diabrotica.jki.bund.de/index.php?menuid=19>

- Karlson, P., & Lüscher, M. (1959). Pheromones: a New Term for a Class of Biologically Active Substances. *Nature* 183 , S. 55 - 56.
- Kiss, J., Edwards, C. R., Allara, M., Sivcev, I., Igrc-Barcic, J., Festic, H., et al. (2001). A 2001 update on the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, in Europe. In Proceedings Book of the XXI IWGO Conference and VIII Diabrotica Subgroup Meeting. (S. 83-87). Veneto Agricoltura: Legnaro, Italien.
- Kiss, J., Edwards, C. R., Berger, H. K., Cate, P., Cean, M., Cheek, S., et al. (2005). Monitoring of Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) in Europe 1992-2003. In S. Vidal, U. Kuhlmann, & C. Edwards, Western Corn Rootworm: Ecology and Management (S. 29-39). CAB International.
- Kiss, J., Igrc-Barcic, J., Dobrincic, R., Sivcev, I., Edwards, C. R., & Hatala-Zsellér, I. (2001). Is the Western Corn Rootworm adapting to the European Crop Rotation System? Results of a joint european trial. In VIII Diabrotia Subgroup Meeting (S. 29-37). Legnaro, Padua, Venedig.
- Kiss, J., Komáromi, J., Bayar, K., Edwards, C. R., & Hatala-Zsellér. (2005). Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) and the Crop Rotation Systems in Europe. In S. Vidal, U. Kuhlmann, & C. R. Edwards, Western Corn Rootworm: Ecology and Management (S. 189-220). CAB international.
- Krügener, S., Baufeld, P., & Unger, J. G. (2011). Modellierung der Populationsentwicklung des Westlichen Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera virgifera*) - Betrachtung verschiedener Eingrenzungsoptionen. *Journal für Kulturpflanzen* 63 , S. 69-76.
- Krysan, J., & Smith, R. (1987). Systematics of the *virgifera* species group of *Diabrotica* (*Coleoptera: Chrysomelidae: Galerucinae*). In *Entomography*, 5 (S. 375– 484).
- Kuhlmann, U., & Burgt, W. A. (1998). Possibilities for biological control of the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, in Central Europe. *Biocontrol News and Information* 19 , S. 59-68.
- Kuhlmann, U., & Töpfer, S. (2005). Natural mortality factors acting on Western Corn Rootworm Population: a comparison between the United States and Central Europe. In

Vidal, Kuhlmann, & Edwards, Western Corn Rootworm Ecology and Management (S. 95-119). Cabi Publishing.

Kuhlmann, U., Toepfer, S., & Zhang, F. (2005). Is classical biological control against western corn rootworm in Europe a potential sustainable management strategy? In S. Vidal, U. Kuhlmann, & C. R. Edwards, Western Corn Rootworm: Ecology and Management (S. 263-284). CABI.

Kurtz, B., Toepfer, S., Ehlers, R. U., & Kuhlmann, U. (2007). Assessment of establishment and persistence of entomopathogenic nematodes for biological control of western corn rootworm. *J. Appl. Entomol.* 131 , S. 420-425.

Lack, N. (26. Mai 2011). Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Abgerufen am 16. August 2011 von [biogasportal.info](http://www.biogasportal.info): http://www.biogasportal.info/service/pressecenter/presse/aktuelle-nachricht/archive/2011/may/article/maisanbau-in-deutschland/?tx_ttnews%5Bday%5D=26&cHash=f4eafd17b285dcac00a5bf2b67e1fe9c

Lammers, W., Meijer, A., & Stigter, H. (2003). First finding of the western corn rootworm in the Netherlands. In Abstracts of the 10th IWGO Diabrotica Subgroup Meeting 2004 (S. 30).

Lance, D. R., & Sutter, G. R. (1991). Semiochemical-based toxic baits for *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae): effects of particle size, location, and attractant content. *Journal of Economic Entomology* 84 , S. 1861-1868.

Leach, J. N., Pyla, P. D., Holleschak, G., Hileman, R. E., Lee, T. C., Bechtel, C. L., et al. (2001). Safety assessment of insect control *Bacillus thuringiensis* Cry3Bb1 protein for use in transgenic crops. *Toxicologist* 60 (1) , S. 414.

Levine, E., & Metcalf, R. L. (1988). Sticky attractant traps for monitoring corn rootworm beetles. *Ill. Nat. Hist. Surv. Rep.* 279: 1-2 .

Levine, E., & Oloumi-Sadeghi, H. (1991). Management of *Diabrotica* Rootworms in corn. *Annu. Rev. Entomol.* 36 , S. 229-255.

- Levine, E., & Oloumi-Sadeghi, H. (1996). Western corn rootworm larval injury to corn grown for seed production following soybeans grown for seed production. *J. Econ. Entomol.* 89 , S. 1010-1016.
- MacLeod, A., Baker, R. Holmes, M., Cheek, S., Cannon, R. & Agallou, E. (2004). Costs and benefits of a campaign against *Diabrotica virgifera virgifera* (Dvv). Pest Risk Analysis, Department for Environment, Food & Rural Affairs, London.
- Matsumura, F. (1985). Toxicology of insecticides, 2nd ed. Plenum, New York.
- Meinke, L. J., Siegfried, B. D., Wright, R. J., & Chandler, L. D. (1998). Adult susceptibility of Nebraska western corn rootworm (*Coleoptera Chrysomelidae*) populations to selected insecticides. *J. Econ. Entomol.* 91 , S. 594-600.
- Menestrina, G., & Semjen, B. V. (1999). Biophysical methods and model membranes for the study of bacterial pore-forming toxins. In J. E. Alouf, & J. H. Freer, *The Comprehensive Sourcebook of Bacterial Protein Toxins* (S. 287-309). New York: Academic Press.
- Metcalf, R. L. (1986). Coevolutionary adaptations of rootworm beetles (*Coleoptera Chrysomelidae*) to *Cucurbitacins*. *Journal of Chemical Ecology* 12 (5) , S. 1-16.
- Metcalf, R. L. (1983). Implications and prognosis of resistance to insecticides. In G. GP, & S. T, *Pest Resistance to Pesticides* (S. 703–733). Plenum, New York.
- Metcalf, R. L., & Lampman, R. L. (1991). Evolution of diabroticite rootworm beetle (*Chrysomelidae*) receptors for Cucurbita blossom volatiles. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 88 , S. 1869-1872.
- Metcalf, R. L., & Lampman, R. L. (1989). Role of kairomones in integrated pest management. *Phytoparasitica* 22 , S. 275-279.
- Metcalf, R. L., & Metcalf, E. R. (1992). Plant Kairomones in Insect Ecology and Control. In Routledge, Chapman, & Hall. New York.
- Metcalf, R. L., Ferguson, J. E., Lampman, R., & Andersen, J. F. (1987). Dry cucurbitacin-containing baits for controlling *diabroticite* beetles (*Coleoptera: Chrysomelidae*). *Journal of Economic Entomology* 80 , S. 870-875.

- Metcalf, R. L., Mecalp, R. A., & Rhodes, A. M. (1980). *Cucurbitacins* as kairomones for *diabrotica* beetles. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 17 , S. 3769-3772.
- Miller, N., Estoup, A., Toepfer, S., Bourguet, D., & Lapchin, L. (2005). Multiple transatlantic introductions of the western corn rootworm. Science 310: 992 .
- Mitchell, P. D. (Mai 2002). <http://ageconsearch.umn.edu>. Abgerufen am 10. Juni 2011 von <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/23978/1/fp02-04.pdf>
- Moeser, J., & Vidal, S. (2001). Alternative Food Resources for adult *Diabrotica virgifera virgifera* in southern Hungary. In VIII Diabrotica Subgroup Meeting (S. 19-24). Legnaro, Padua, Venedig.
- Moeser, J., & Vidal, S. (2004). Do alternative host plants enhance the invasion of the maize pest *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae) in Europe? *Environ. Entomol.* 33 , S. 1169-1177.
- Moeser, J., & Vidal, S. (2005). Nutritional resources used by the invasive pest *Diabrotica virgifera virgifera* in its new Southeast European distribution range. *Entomol. Exp. Appl.* 114 , S. 55-63.
- Monsanto. (September 2003). www.monsanto.com/products. Abgerufen am 10. Juni 2011 von http://www.monsanto.com/products/Documents/safety-summaries/yieldgard_rw_pss.pdf
- Movchan, O. M., Melnyk, P. O., & Konstantynova, N. A. (2001). The problem of corn rootworm - *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte - in Ukraine. *IWGO News Letter* 22 (1-2) , 33-35.
- Onstad, D. W. (2001). Modelling evolution of behavioural resistance by an insect to crop rotation. *Entomologia experimentalis et Applicata* 100 , S. 195-201.
- Oyediran, I. O., Hibbard, B. E., & Clark, T. L. (2005). Beetle emergence from weedy Cry3Bbl rootworm-resistant transgenic corn. *J. Econ. Entomol.* 98 , S. 1679-1684.
- Pankrätius. (2010). Igniscum-Botanik und Biologie. Abgerufen am 06. September 2011 von [nachwachsende-rohstoffe.biz](http://www.nachwachsende-rohstoffe.biz): <http://www.nachwachsende-rohstoffe.biz/glossar/igniscum-2/>

- Pilz, C., Grabenweger, G., & Heimbach, U. (2010). Biologische Kontrolle des Westlichen Maiswurzelbohrers *Diabrotica v. virgifera* mit entomoparasitischen Nematoden. 57. Deutsche Pflanzenschutztagung, Julius-Kühn-Archiv 428 , S. 212-213.
- Pistorius, J., Bischoff, G., Heimbach, U., & Stähler, M. (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 , S. 118-126.
- Postel, J., & Fischer, E. (2010). Emissionsquellen und Minderungsmaßnahmen. http://www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek_Politik_und_Verwaltung/Bibliothek_LLFG/dokumente/KoNaRo/veranstaltungsbeitraege/Gem-veranst_10_03_25/Postel_250310_Bernburg.pdf.
- Princzinger, G. (1996). Monitoring of western corn rootworm (*D.v.v. LeConte*) in Hungary 1995. IWGO News Letter 16 (1) , 7-11.
- Rasmann, S., Kollner, T. G., Degenhardt, J., Hiltbold, I., & Toepfer, S. (2005). Recruitment of entomopathogenic nematodes by insect-damaged maize roots. Nature 434 , S. 732-737.
- Rasovsky, V., & Vahala, O. (2002). Monitoring and first record of *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (*Coleoptera: Chrysomelidae*) from Czech Republic. 2-4 November, 2002, Belgrad: Poster; 9. IWGO Diabrotica Subgroup Meeting.
- Raussen, T. (2008). *Witzenhausen-Institut GmbH*. Abgerufen am 16. August 2011 von bioenergie-portal.info: http://www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergieberatung/hessen/dateien/archiv_veranstaltungen/biogasnutzung_und_eeg_1.pdf
- Reed, J. P., Hall, F. R., Taylor, R. A., & Wilson, H. R. (1991). Development of a Corn Rootworm (*Diabrotica, Coleoptera: Chrysomelidae*) Larval Threshold for Ohio. Journal of the Kansas Entomological Society 64 (1) , S. 60-68.
- Rhodes, A. M., Metcalf, R. L., & Metcalf, E. R. (1980). *Diabroticite* beetle response to *Cucurbitacin* kairomones in *Cucurbita* hybrids. J. Amer. Soc. Horticultural Sci. 105 , S. 838-842.

- Rüb, B., Schrage, R., & Schröder, A. (15. März 2011). Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Abgerufen am 26. Juli 2011 von <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/pflanzenschutz/psd/mwb-biologie.htm>
- Rupar, M. J., Donovan, W. P., Groat, R. G., Slaney, A. C., Mattison, J. W., Johnson, T. B., et al. (1991). Two novel strains of *Bacillus thuringiensis* toxic to coleopterans. *Applied and Environmental Microbiology* 57 , S. 3337-3344.
- Sacchi, V. F., Parenti, P., Hanozet, G. M., Giordana, B., Luthy, P., & Wolfersberger, M. G. (1986). *Bacillus thuringiensis* toxin inhibits K⁺-gradient-dependent amino acid transport across the brush border membrane of *Pieris brassicae* midgut cells. *Federation of European Biochemical Societies* 204 , S. 213-218.
- Sattler, U., Block, T., & Petersen, H. H. (2004). Konzept zur *Diabrotica*-Bekämpfung mit Syngenta-Insektiziden. 54. Deutsche Pflanzenschutztagung, (S. 393). Hamburg.
- Scheirs, J., Debruyne, L., & Verhagen, R. (2002). Seasonal changes in leaf nutritional quality influence grass miner performance . *Ecol. Entomol.* 27 , S. 84-93.
- Schmidt, M. (2010). Analytische Laboruntersuchungen zum Freisetzungverhalten von Sexualduftstoffen des westlichen Maiswurzelbohrers *Diabrotica virgifera virgifera* aus elektrogenen Nanofasern. Bachelorarbeit. Giessen.
- Schnepf, E., Crickmore, N., Van Rie, J., Lereclus, D., Baum, J., Feitelson, J., et al. (1998). *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 62 , S. 775-806.
- Schwabe, K., Kunert, A., Heimbach, U., Zellner, M., Baufeld, P., & Grabenweger, G. (Juni 2010). Der Westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) – eine Gefahr für den europäischen Maisanbau. *Journal für Kulturpflanzen*, 62 , S. 277–286.
- Sivcev, I., Manojlovic, B., Krnjajic, S., Dimic, N., Draganic, M., Baca, M., et al. (1994). Distribution and harmful effect of *D.v.v.* LeConte, an new maize pest in Yugoslavia. *Zatista Bilja* 45 (1) , S. 19-26.

- Smith. (1966). Distributional patterns of selected western North American insects: the distribution of *diabroticites* in western North America. In Bulletin of Entomological Society of America, 12 (S. 108–110).
- Spencer, J. L., & Raghu, S. (2009). Refuge or Reservoir? The potential Impacts of the Biofuel Crop *Miscanthus x giganteus* on a Major Pest of Maize. *PLoS ONE* 4 (12): e8336 , S. 1-9.
- Spencer, J. L., Levine, E., Isard, S. A., & Mabry, T. R. (2005). Movement, dispersal and behaviour of western corn rootworm adults in rotated maize and soybean fields. In S. Vidal, U. Kuhlmann, & C. R. Edwards, Western Corn Rootworm: Ecology and Management (S. 121–144).
- Springer, B. (2004). Maiswurzelbohrerbekämpfung (*Diabrotica virgifera virgifera*) in Europa - Erfahrungen mit der insektiziden Beizung mit Clothianidin (PONCHO®). 54. Deutsche Pflanzenschutztagung, (S. 393-394). Hamburg.
- Strnad, S. P., & Bergman, M. K. (1987). Distribution and orientation of western corn rootworm (*Coleoptera Chrysomelidae*) larvae in corn roots. *Environ. Entomol.* 16 , S. 1193-1198.
- Stülpnagel, R. a. (2008). Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen und der verschiedenen Standortbestimmungen Deutschlands, Teilprojekt 6, Zwischenbericht.
- Sutter,G. R., Branson, T. F., Fisher, J. R., & Elliot, N. C. (1991). Effect of insecticides on survival, development, fecundity and sex ration in controlled infestations of western corn rootworms. *J. Econ. Entomol.* 84 , S. 1905-1912. Wallingford
- Tallamy, Hibbard, Clark, & Gillespie. (2005). Western Corn Rootworm,Cucurbits and Cucurbitacins. In Vidal, Kuhlmann, & Edwards, Western Corn Rootworm: Ecology and Management (S. 67-93). CAB international.
- Toepfer, S., Burger, R., Ehlers, R.-U., Peters, A., & Kuhlmann, U. (2010). Controlling western corn rootworm larvae with entomopathogenic nematodes: effect of application techniques on plant-scale efficacy. *Journal of Applied Entomology* 134 , S. 467-480.

- Toepfer, S., Ehlers, R. U., Kuhlmann, U., & Turlings, T. C. (2010). Einflussfaktoren auf die biologische Bekämpfung von Larven des Maisschädlings *Diabrotica v. virgifera* mit Nematoden. 57. Deutsche Pflanzenschutztagung, Julius-Kühn-Archiv 428 , S. 213.
- transGEN. (2011). Bt-Mais: Ein Risiko für die Umwelt. Wirklich? transGEN kompakt, 5 , S. 1-5.
- Vetter, A., Heiermann, M., & Toews, T. (2009). Anbausysteme für Energiepflanzen - optimierte Fruchtfolgen + effiziente Lösungen. DLG-Verlags-GmbH.
- Vidal, S., & Petersen, H. H. (2010). Was ist an Bodenschädlingen im Mais zu erwarten? Mais 2/2010 , S. 64-68.
- Vonica, I. (1996). Monitoring for *Diabrotica virgifera* in Romania. *IWGO News Letter* 16 (2) , 15-16.
- Ward, D. P., DeGooyer, T. A., Vaughn, T. T., Head, G. P., McKee, M. J., Astwood, J. D., et al. (2005). Genetically enhanced maize as a potential management option for corn rootworm: YieldGard® Rootworm maize case study. In S. Vidal, U. Kuhlmann, & C. R. Edwards, *Western Corn Rootworm: Ecology and Management* (S. 239-262). CAB International.
- Webster, F. M. (1895). On the probable origin, development, and diffusion of North American species of the genus *Diabrotica*. *Journal of the New York Entomological Society* 3 , S. 158-166.
- Wennemann, L., & Hummel, H. E. (2002). Der Maiswurzelbohrer. Neue Bedrohung für den europäischen Maisanbau. *Mais* (1) , S. 16-19.
- Wennemann, L., & Hummel, H. E. (2001). Use of MCA (4 -Methoxycinnamaldehyde) as an orientation disruption tool for adult western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte. In VIII *Diabrotica* Subgroup Meeting (S. 77-82). Legnaro, Padua, Venice
- Wessler, J., & Fall, E. H. (2010). Potential damage costs of *Diabrotica virgifera virgifera* infestation in Europe - the 'no control' scenario. *Journal of Applied Entomology* 134 , S. 385-394.

- Wilken, F., & Becker, J. (1. April 2011). Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Abgerufen am 2. Mai 2011 von <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/74/article/15555.html>
- Willige, A. (2010). Die schwarz-gelbe Gefahr. *top agrar 2/2010* , S. 14-18.
- Wilson, T. A., & Hibbard, B. E. (2004). Host suitability of nonmaize agroecosystem grasses for the western corn rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*). *Environ. Entomol.* 33 , S. 1102-1108.
- Wilstermann, A., & Vidal, S. (2010). Auswirkungen des Klimawandels auf den Schlupf und die Larvenentwicklung des Westlichen Maiswurzelbohrers in Norddeutschland. *57. Deutsche Pflanzenschutztagung* , S. 187-188.
- Wolfersberger, M. G., Hofmann, C., & Lüthy, P. (1986). Interaction of *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin with membrane vesicles isolated from lepidopteran larval midgut. In P. Falmaigne, F. J. Fehrenbech, J. Jeljaszewics, & M. Thelestam, *Bacterial Protein Toxins* (S. 237-238). New York: Gustav Fischer.
- Wright, R. J., Scharf, M. E., Meinke, L. J., Zhou, X., Siegfried, B. D., & Chandler, L. D. (2000). Larval susceptibility of an insecticide-resistant western corn rootworm (*Coleoptera Chrysomelidae*) population to soil insecticides: laboratory bioassays of detoxification enzymes, and field performance. *J. Econ. Entomol.* 93 , S. 7-13.
- Wudtke, A., Hummel, H. E., & Ulrichs, C. (21. Mai 2005). Der Westliche Maiswurzelbohrer *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (*Col.: Chrysomelidae*) auf dem Weg nach Deutschland. *Gesunde Pflanzen (2005)* , S. 73-80.
- Zellner, M., Wagner, S., Weber, B., & Hofbauer, J. (März 2010). *Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft*. Abgerufen am 15. Mai 2011 von http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte_mais/30839/
- Zscheischler, J. (1990). *Handbuch Mais* . Frankfurt am Main: Verlagsunion Agrar.

Danksagung

Vielen Dank an:

Die **Dieter Schwarz Stiftung gemeinnützige GmbH, Neckarsulm**, die das Monitoring entlang der Autobahn A 5 durch eine großzügige Spende ermöglichte.

Herrn Prof. Dr. Leithold, dass ich meine Bachelorarbeit am Institut für Organischen Landbau anfertigen durfte.

Herrn Prof. Dr. Hummel, Herrn Arno Deuker und Herrn Dr. Detlef Hein, die mich während meiner Arbeit unterstützten, förderten und anleiteten.

Meine Eltern, die das Monitoring entlang der Autobahn A 5 durch die Zurverfügungstellung ihres PKW ermöglichten und mich jederzeit in allen Belangen unterstützten.

Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Alle Gedanken die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommen wurden sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde bisher weder einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt, noch veröffentlicht.

Gießen, den

Lucas Wagner