

# Die Bekämpfung des Maiswurzelbohrers in der Schweiz – bis jetzt eine Erfolgsgeschichte

Mario Bertossa<sup>1</sup>, Romina Morisoli<sup>1</sup> und Luigi Colombi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 6593 Cadenazzo, Schweiz

<sup>2</sup>Pflanzenschutzamt des Kanton Tessin, 6500 Bellinzona, Schweiz

Auskünfte: Mario Bertossa, E-Mail: mario.bertossa@acw.admin.ch; Tel. +41 91 850 20 34



Der Käfer des Maiswurzelbohrers ist etwa 5 – 7mm gross und ist auf den Deckflügeln dunkel gestreift.

(Foto: ACW)

## Einleitung

Der Maiswurzelbohrer, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae), ist weltweit als wichtigster Mais-Schädling schon lange anerkannt. Die Europäische Pflanzenschutz-Organisation EPPO führt den Käfer in der A2-Liste der Quarantäne-Organismen. Die verursachten Schäden und Kosten für die Bekämpfung überschreiten in den USA deutlich die Milliarden-grenze. Der Maiswurzelbohrer verdankt seine Eigenschaft als Schädling ausschliesslich dem Menschen, denn die Voraussetzung für seine Massenvermehrung ist das Vorhandensein von Maismonokulturen, deshalb ist er ein Fruchtfolgeschädling. In Europa wurde der

Maiswurzelbohrer in der Gegend von Belgrad 1992 auf Grund von Pflanzenschäden entdeckt. Weil dazu eine genügend grosse Population aufgebaut werden muss, wird angenommen, dass der Schädling bereits in den frühen 80er Jahren über den Luftweg eingeführt worden ist.

Genetische Untersuchungen haben fünf verschiedene, voneinander unabhängige Einwanderungen identifiziert, diese haben zu weiteren etablierten Populationen geführt, z. B. Balkan, Lombardei etc. Innerhalb der letzten zwanzig Jahre hat sich der Käfer in 22 Ländern Europas weiterverbreitet. Wo sich grosse Populationen etablieren konnten, kam es in Vergangenheit schon zu wirtschaftlichen Schäden in Millionenhöhe.

In der Schweiz wurde der Maiswurzelbohrer das erste Mal im Jahr 2000 in der Nähe des Flughafens Lugano-Agno TI vorgefunden. Im Jahr darauf wurde der Hauptherd in der Grenzstadt Chiasso identifiziert. Da die Populationen in den ersten Jahren z.T. exponentielle Wachstumsraten aufwiesen, wurde das Fallennetz ab 2003 auf nationaler Ebene ausgeweitet.

Die vorliegende Dokumentation stellt die Entwicklung und das Verhalten des Maiswurzelbohrers im Tessin seit der Einwanderung dar, beschreibt die getroffenen Massnahmen und versucht deren Effizienz wissenschaftlich zu stützen.

### Biologie des Maiswurzelbohrers

Die univoltine Käferart gehört zur Familie der Blattkäfer und kommt ursprünglich aus Mexiko, die Eier überwintern im Boden und die Larven schlüpfen im Frühling. Die drei Larvenstadien befallen praktisch ausschliesslich Maiswurzeln (Abb. 1). Wurzeln anderer Pflanzenarten werden zwar aufgenommen, aber nach unseren Erfahrungen sind sie als Larvennahrung von geringer Bedeutung. Im Gegensatz zu den Larven ernähren sich die Käfer an mehreren Pflanzen, es kommt zu Migrationen ausserhalb des Maisfeldes in benachbarte Kulturen oder zur Kolonisierung weiterer Maisfelder. Der Maiswurzelbohrer ist ein ausgewiesener guter Flieger und kann bei geeignetem Wetter und Topographie bis zu 200 km pro Jahr zurücklegen. Nach unseren Beobachtungen liegt dieser Wert bei etwa 50 – 70 km. Das entspricht der Strecke von den Hauptherden in Grenznähe bis ins obere Bleniothal. Die befruchteten Weibchen legen die Eier wieder in ein Maisfeld in den Boden. Unter Laborverhältnissen können bis zu 1100 Eier abgelegt werden. Unter natürlichen Bedingungen liegen die Zahlen bei 300 – 500 pro Weibchen und Jahr. >

### Zusammenfassung

Die Schweiz gehört seit dem Jahr 2000 zu den 22 Europäischen Ländern, die vom Quarantäne-Schädling *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, dem Maiswurzelbohrer, befallen worden sind. Es handelt sich um den wichtigsten Maisschädling mit weltweit geschätzten Schäden von ca. 1,5 Milliarden \$. In der Schweiz ist der Käfer nur im Kt. Tessin etabliert, auf der Alpennordseite konnte eine lokale Population bisher verhindert werden. Die Untersuchungen von zwölfjährigen Daten bezüglich Auftreten und Verteilung lassen die Aussage zu, dass es sich im Tessin um eine Population handelt, die jährlich von den Hauptherden der Lombardei ins Tessin migriert. Die in der Schweiz angewendete Bekämpfungsstrategie basiert hauptsächlich auf Fruchtwechsellagen. Auf eine chemische Behandlung, wie dies u.a. in der EU vorgesehen ist, wird verzichtet. Die Effizienz der Fruchtfolge gegen den Maiswurzelbohrer wurde in einem fünfjährigen Feldversuch getestet. Die Resultate zeigen, dass Fruchtfolgesysteme das Aufkommen von wirtschaftlich schädigenden Populationen über einen längeren Zeitraum verhindern können.



Abb. 1 | Larvenfrass der Käfer, Mezzana 2005. (Foto: ACW)



Abb. 2 | Csalomon®-PAL-Falle. (Foto: ACW)

klein, und somit wurde die Falle auf etwa 120cm Höhe an einen Holzstab befestigt (Abb. 2). Die Kontrollen wurden wöchentlich durchgeführt und während Spitzenzeiten verdoppelt. Das Datum der Fallenaufstellung wurde mit Hilfe eines von Agroscope entwickelten Temperatursummenmodells bestimmt, und lag bei erreichten 520 Tagesgraden (Basis -10,5°C), die adulten Käfer wurden etwa bei 600 ±40 Tagesgraden erwartet.

### Systemvergleich Monokultur-Fruchtwechsel

Die 60 Aren grosse Maismonokultur-Versuchspartelle befand sich in Balerna, innerhalb des Areals der Landwirtschaftlichen Schule Mezzana (Koordinaten: E-721203/N-79224).

Die vier Fruchtfolge-Vergleichspartellen befanden sich in jeweiligen Maispartellen in voneinander abgegrenzten Regionen des Mendrisiotto, in maximaler Luftweg Entfernung von der Monokulturpartelle von 4,4 km.

Für die Bestimmung der Populationsgradienten im Kanton Tessin wurden die von uns erhobenen Zahlen mit denen des Pflanzenschutzamtes des Kantons zusammengefasst. Alle Zahlen wurden mit der Csalomon®-PAL-Falle ermittelt.

## Material und Methoden

### Populationsdynamik

Für die Befallskontrollen wurde die Csalomon®-PAL-Pheromonfalle benutzt. Diese in Ungarn entwickelte Klebefalle besteht aus einem 23×35 cm grossen Klebeblatt aus durchsichtigem oder gelbem Weichplastik. Sie ist mit einem mit einem Dispenser mit weiblichen Pheromon (PAL Falle) ausgestattet. In unseren Breitengraden ist die Pflanze beim Auftreten der ersten Käfer noch zu

## Resultate

### Populationsdichte und Verteilung im Tessin

Die in Abbildung 3 beschriebene Anzahl Käferfänge wurde in Käfer pro Falle und Tag umgerechnet. Dies hatte den Vorteil, dass auf eine flexible Fallenzahl (28 – 32) über die Jahre Rücksicht genommen wurde, genau dasselbe für die Flugperiode, die mit jedem Jahr variiert.

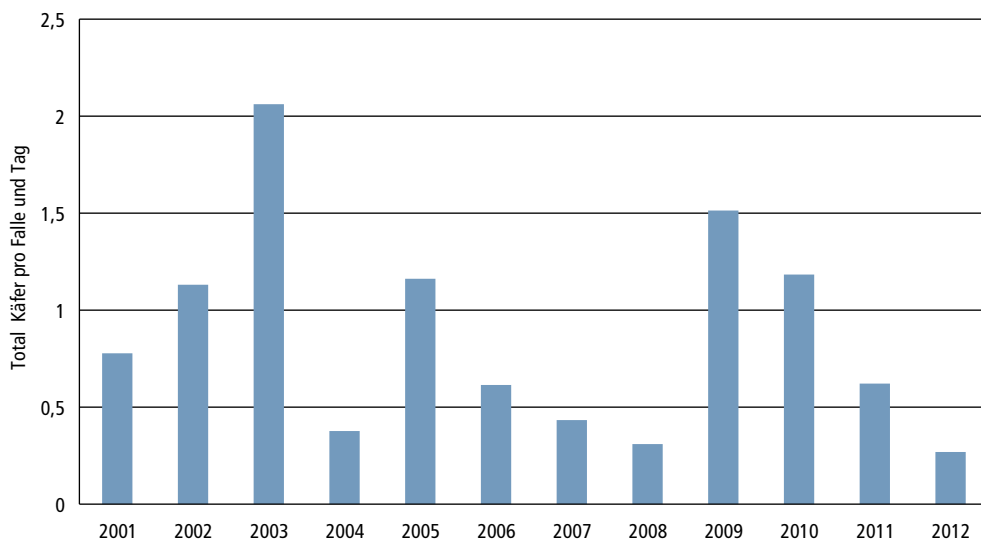
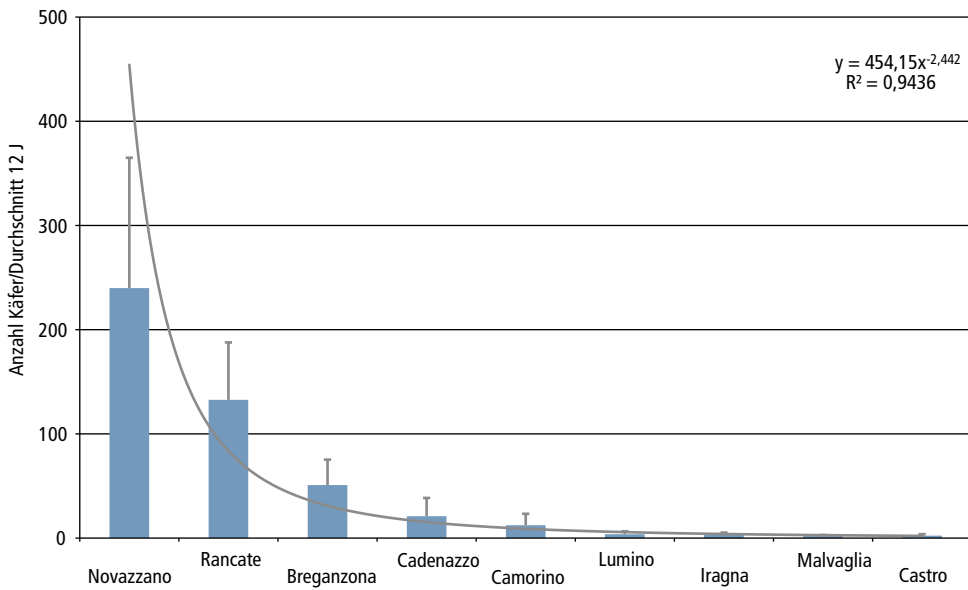


Abb. 3 | Populationen Maiswurzelbohrer Kt. Tessin von 2001 – 2012.



**Abb. 4 |** Käferauftreten auf der Süd – Nord Achse, Durchschnitt (2001 – 2012). Die Luftwegdistanz zwischen Novazzano und Castro beträgt 70 km.

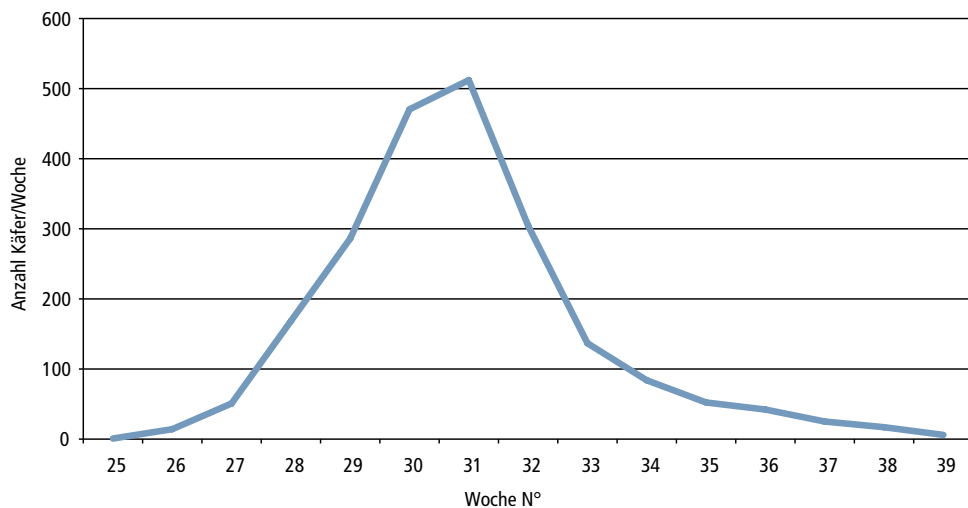
Bis 2003 wurde das Fruchtwechselobligatorium der jeweilig befallenen Regionen angepasst. Ab 2004 ist ein kantonsweiter Fruchtwechsel nach Mais für obligatorisch erklärt worden. Zwei Käfer pro Falle und Tag entsprechen einer Gesamtheit von ca. 5400 Käfern. Die maximale Anzahl an Käfern wurde 2003 gefangen, die minimale Anzahl 2012 mit 527 Käfern.

Je mehr man sich der Staatsgrenze zu Italien nähert, desto mehr nimmt die Anzahl der gefangenen Käfer zu (Abb. 4). Seit Beginn der Einführung des kantonsweiten

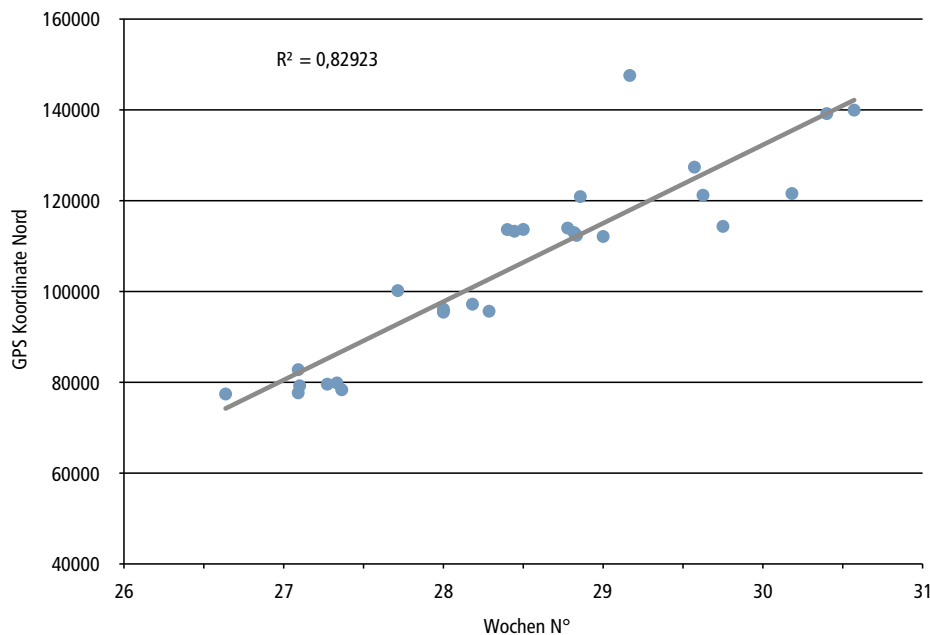
Fruchtwechselobligatoriums 2004 werden durchschnittlich 79,6% der Käfer im Bezirk Mendrisiotto gefunden. Im mittleren Tessin, im Bezirk Lugano sind es 12,7% und im Sopraceneri sind es 7,7%.

#### Populationsdynamik

Im Folgenden sind die Auftretensweisen und Flugkurven des Maiswurzelbohres dargestellt. Die in Abbildung 5 beschriebene jährliche Flugperiode dauerte durchschnittlich 91 Tage. Das Schlüpfen der Adulten aus dem



**Abb. 5 |** Durchschnittliche Flugkurve während der letzten 12 Jahre berechnet aufgrund der Summe der 4wöchentlichen Fangzahlen aller Fallen des offiziellen Kantonalen Fallennetzes.



**Abb. 6** | Zusammenhang des zeitlichen Auftretens mit der nördlichen Breite GPS N-Koordinate (n=27) Durchschnitt von 11 Jahren .

Boden erfolgte frühestens zu Beginn der dritten Juni-Dekade bis spätestens Ende der ersten Juli-Dekade. Die Temperatursummenvorgabe von  $600 \pm 40$  Tagesgraden wurde praktisch immer eingehalten, das Modell wurde damit konsolidiert.

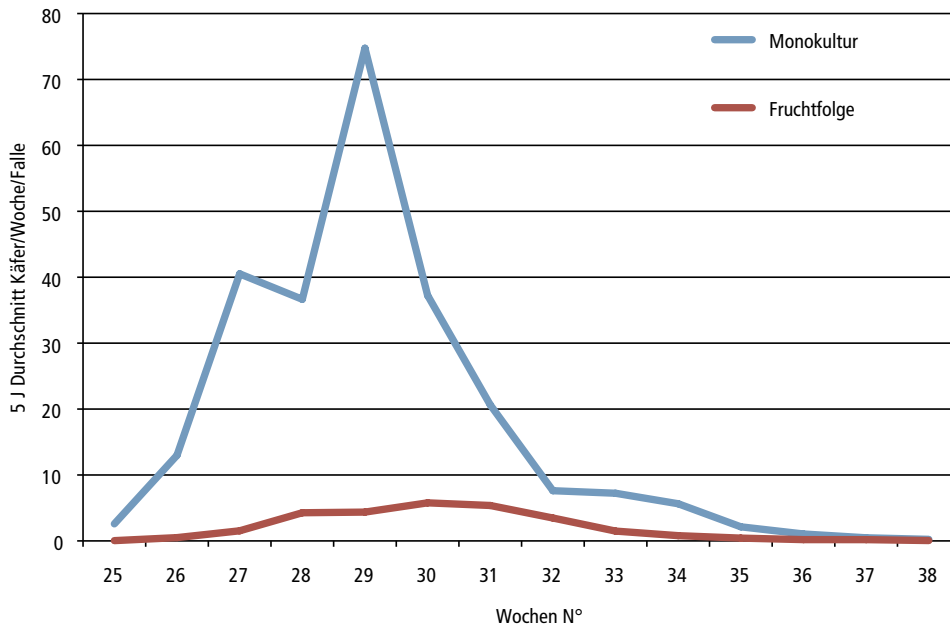
Die maximale Grösse der Population wurde regelmässig in der Periode zwischen dem 20. Juli und dem 10. August registriert, was mit der wärmsten Jahresperiode zusammenfällt. Die letzten Käfer waren noch im Monat September, im Jahr 2010 sogar bis Anfangs Oktober zu beobachten.

In der Abbildung 6 ist der Zusammenhang zwischen der nördlichen Breite N (GPS-Koordinate) des Fallensortes und der Woche des ersten Auftretens der Käfer in der Falle dargestellt.

Bei näherer Beobachtung der Punktwolke können die einzelnen Regionen identifiziert werden. Von links Mendrisiotto (Woche 27), Lugano (Woche 28), Magadinoebene (Woche 29). Mit 83 prozentiger Sicherheit kann davon ausgegangen werden, dass der Maiswurzelbohrer in Cadenazzo durchschnittlich zwei Wochen später auftritt als in Chiasso, dies obwohl laut Meteoswiss Cadenazzo durchschnittlich bessere Temperatursummenwerte aufweist als Stabio und Lugano.

### Bekämpfungsmassnahmen gegen *Diabrotica v. virgifera* in der Schweiz

- Wird ein Käfer gefangen, werden eine Kernzone (Radius 5 km) und eine Sicherheitszone (Radius 5 km) um den Fangpunkt definiert.
- In der Kern- und Sicherheitszone gilt ein Fruchtwechsel nach Mais für ein Jahr als obligatorisch.
- Kernzone: Maisdurchwuchs in der Folgekultur muss entfernt werden.
- Kernzone: Transportverbot für Silomais ausserhalb der Zone ist verboten.
- Kernzone: Maschinenreinigung ist empfohlen.
- Zusätzliche Fallen aufstellen.



**Abb. 7 |** Vergleich von Flugkurven zweier verschiedener Anbausysteme. Die blaue Kurve entspricht dem wöchentlichen Durchschnitt von 4 PAL-Fallen im Monokultursystem, die rote Kurve dem Durchschnitt mit Fruchtfolgesystem in der näheren Nachbarschaft. Die Beobachtungsperiode dauerte 5 Jahre, von 2003–2007.

### Validation der Fruchtfolgestrategie in einem Feldversuch

Nach dem Entscheid, von Beginn weg eine Bekämpfungsstrategie gegen den Maiswurzelbohrer ohne Einsatz von Insektiziden zu fahren (siehe Kasten), war es wichtig, deren Effizienz zu testen. Die Abbildung 7 stellt die Flugkurven der beiden Anbausysteme im Vergleich dar.

Die Reaktion der Maiswurzelbohrer-Populationen auf die Fruchtwechsel-Massnahme ist klar ersichtlich. In der Anfangsphase verzeichnete die Monokulturpopulation exponentielle Wachstumsraten, während die Fruchtwechselpopulationen nur zögerlich und verspätet zunahm. Die Gesamtzahl an gefangenen Käfern pro Jahr unter Monokultur war 13,5 Mal grösser als im Fruchtfolgesystem. Was in den Jahreskurven auch auffällt, aber in der Durchschnittskurve (Abb. 7) etwas untergeht, ist die abnehmende Flugaktivität während Schlechtwetterperioden.

## Diskussion

### Populationsdynamik

Die in Abbildung 3 dargestellten Populationsaufkommen lassen einige Fragen aufkommen. Ist das ab 2004 eingeführte Fruchtwechselobligatorium nicht effizient genug? Was ist der Grund für die stark variierenden Käferzahlen von z.B. 2008 und 2009. Ein wichtiges Ele-

ment, das diese Fakten erklären kann, ist die Mortalität der Ei- und Larvenpopulation. Nehmen wir an, dass die Populationen ab 2004 mit höchster Wahrscheinlichkeit von Süden her migriert sind, dann müssen die Überwinterungsverhältnisse und Mortalitäten an den Ursprungsorten massgebend die Grösse der Ausgangspopulation bestimmen. Die Mortalitätsfaktoren von Maiswurzelbohrer-Eiern werden vor allem durch abiotische Umweltfaktoren beeinflusst. Wichtige Parameter während der Überwinterungszeit sind Bodentemperaturen unter  $-7\text{ °C}$  und deren Einwirkungslänge, die Schneebedeckung und längere Trockenperioden. In Europa wurde eine Mortalität der Larven von bis 98% nachgewiesen. Solche Werte können eine Anfangspopulation, in unserem Fall der Lombardische Hauptherd, drastisch einschränken, ohne dass der Mensch etwas dazu beigetragen hätte.

Die in Abbildung 4 und 6 aufgezeigte Abhängigkeit von den Distanzen zur Grenze zu Italien, sei es was die Käferzahl als auch das zeitliche Erscheinen anbelangt, scheinen die Migrationshypothese der Tessiner Maiswurzelbohrer-Population zu erhärten. Kommt dazu, dass die Populationen der Lombardei mit denen des Tessins genetisch identisch sind und von den anderen vier genannten Invasionen differenziert werden können. Es

liegt somit der Verdacht nahe, dass die Populationen in der Nähe der Mailändischen Flughäfen ihren Ursprung haben.

### Wirkung der Fruchtfolge

Allgemein ist die Fruchtfolge als effiziente Massnahme gegen den Maiswurzelbohrer seit langem anerkannt. Im Gegensatz dazu wird im Corn Belt ist die Entstehung einer Fruchtfolge-«resistenten» Unterart von *Diabrotica v. virgifera* beschrieben worden, die Schäden in Fruchtfolge Mais verursachen kann. Dies wurde wahrscheinlich durch die allzu massive Anwendung einer Mais-Soja-Fruchtfolge auf breiter Ebene verursacht. Einige wenige Individuen der Maiswurzelbohrer-Population, die eine eingeschränkte Gewohnheit für die Eiablage in Maisfelder besaßen, wurden dadurch gefördert. Es entstand die sogenannte «Variant»-Population, die Eier eher in Sojafelder ablegten, die im Nachfolgejahr, mit Mais bepflanzt, der Larvenpopulationen zum Überleben verhalf. Von amerikanischer Seite wird deshalb die alleinige Anwendung einer Fruchtfolge als wirksame Massnahme anhand dieser Erfahrung in Frage gestellt. Dieses Argument war auch Anstoss die Fruchtfolgemassnahme unter Schweizerischen Verhältnissen auf ihre Effizienz zu testen. Die in Abbildung 7 beschriebenen Resultate bestätigen die hohe Wirksamkeit der Massnahme. Das verspätete Aufkommen der Käfer in den Fruchtwechsel-Parzellen kann als Hinweis für die nötige Migrationszeit vom Ursprungsort zum Fundort interpretiert werden. Gegen ein Auftreten von «Fruchtfolgeresistenten» Maiswurzelbohrern in der Schweiz spricht die komplexere Fruchtfolge und die kleinen Populationen.

## Schlussfolgerungen

Die über zwölf Jahre gemachten Beobachtungen verleihen den Resultaten eine solide Aussagekraft. Die Fruchtfolge als erfolgreiche Bekämpfungsmassnahme gegen den Maiswurzelbohrer ist mit dem Feldversuch über mehrere Jahre wissenschaftlich bestätigt worden und wird in der Praxis erfolgreich angewendet. In einem zwei oder drei Jahre dauernden Monokultursystem kann der Populationszuwachs unter optimalen Überwinterungsverhältnissen exponentiell sein. Ein einjähriger Unterbruch drückt die Population wieder annähernd auf null. Die Auswahl einer strengen 1 : 1 Fruchtfolge oder einer 2 : 1, (2 aufeinanderfolgende Jahre Mais mit nachfolgendem Unterbruch), hängt von der jeweilig geplanten Strategie ab. Wird eine Tilgungsstrategie beabsichtigt, kommt nur die erste Variante in Frage, für eine Eindämmungsstrategie ist die zweite Variante eine gute Option. Bis eine ökonomische Population aufgebaut

wird, müssen sicher drei oder noch mehr Jahre Mais bestehen bleiben. In einem solchen Fall wird die Kolonisierung von neuen Anbaugebieten gefördert, da die jährliche Ausbreitungsgeschwindigkeit nicht vergessen werden sollte. In unseren limitierten Dimensionen würde dies schnell über die bestehenden Landesgrenzen führen. Im Tessin garantiert die 1 : 1 Variante vorläufig eine gesicherte Eindämmung der Populationen auch unter extremen Käfer Zuführungen. Für die Alpennordseite ist mit derselben Strategie für mehrere Jahre sogar ein Tilgungseffekt erzielt worden.

Der Nutzen nicht ein einziges Gramm Insektizid eingesetzt haben zu müssen ist für das Image der Schweizer Landwirtschaft förderlich, von den übrigen Vorteilen der Fruchtfolge ganz abgesehen.

Trotz aller Erfolgsmeldungen über die vorliegenden Ergebnisse ist zu bemerken, dass es hier um eine äusserst dynamische und flexible Insektenart handelt, die im Begriff ist, Kontinente zu erobern, die sich Resistenzen gegenüber verschiedenen chemischen Wirkstoffen angeeignet hat, sich über eine einfache Fruchtfolge hinweggesetzt hat und zu guter Letzt auch noch die GMO-Mais-Offensive in den USA zu überstehen scheint. Es ist deshalb sinnvoll, den Maiswurzelbohrer weiterhin aufmerksam zu verfolgen, um Überraschungen möglichst zuvorkommen. ■

## Riassunto

### La lotta contro la diabrotica del mais in Svizzera, finora una storia di successo

Dal 2000 la Svizzera appartiene ai 22 paesi europei nei quali è stata scoperto l'organismo di quarantena *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, diabrotica del mais. Si tratta del maggiore fitofago del mais in quanto crea un danno pari a ca. 1,5 Miliardi di dollari a livello mondiale. In Svizzera è presente solo nel Canton Ticino, mentre al nord delle Alpi appaiono sporadicamente solo pochi coleotteri. Le osservazioni fatte durante 12 anni, mostrano che la popolazione in Ticino deriva da migrazioni annue dai fuochi principali della vicina Lombardia. Le correlazioni concernenti lo spazio e il tempo, relative alla distanza dalla frontiera dello stato non lasciano dubbi. La strategia di lotta scelta dalla Svizzera si basa sostanzialmente sull'imposizione di una rotazione colturale senza l'impiego di insetticidi come p.es nell'Unione Europea.

L'effetto della rotazione colturale sulla diabrotica è stata testata in una prova durata 5 anni. I risultati rivelano che essa evita la costituzione di popolazioni di diabrotica economicamente nocive per un tempo indeterminato.

## Summary

### Western corn rootworm control in Switzerland, yet a successful story

Since 2000 Switzerland belongs to the 22 European countries where the quarantine pest *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, Western corn rootworm, has been detected. It's reported to be the most important maize pest worldwide with an economical damage up to 1,5 Billion \$. In Switzerland, it's constantly present in the southern part of the Alps, while few beetles are sporadically found in the northern part. Observations during 12 years allowed to determine that the populations in the southern part of the Alps are generated by yearly migrations from the principal foci of neighbored Lombardy. The correlations referred to space and time versus the distance to the south border are hardly leaving doubts. Control measures enacted by Swiss authorities were principally based on a severe crop rotation without the use of chemicals as in the European Union.

The effect of crop rotation has been tested in a 5 year field trial. Results showed that no economic population has been built up during this period in the crop rotation treatment, confirming observations of the actual practice.

**Key words:** *Chrysomelidae*, Western corn rootworm, population dynamics, monitoring, crop rotation, maize.

## Literatur

- Ball H. J., 1957. On the biology and egg-laying habits of the western corn rootworm. *Journal of Economic Entomology* **50**, 126–128.
- Bertossa M., 2009. Chrysomèle des racines du maïs: un ravageur sous contrôle en Suisse. *Revue suisse d'Agriculture* **41**, 190–190.
- Breitenbach S., Heimbach U. & Lauer K. F., 2005. Field tests on the host range of the larvae of the western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte 1868, Chrysomelidae, Coleoptera). *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **57**, 241–244.
- Chiang H. C. & Flaskerd R. G., 1969. Northern and western corn rootworms in Minnesota. *Journal of the Minnesota Academy of Science* **36**, 48–51.
- 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. *Molecular Ecology* **17**, 3614–3627. DOI: 10.1111/j.1365-294X.2008.03866.x.
- Derron J. O., Bertossa M., Brunetti R. & Colombi L., 2005. Phénologie du vol de la chrysomèle des racines du maïs (*Diabrotica virgifera virgifera*) dans le sud des Alpes suisses. *Revue suisse d'Agriculture* **37**, 61–64.
- Gassmann A. J., Petzold-Maxwell J. L., Keweshan R. S. & Dunbar M. W., 2011. Field-Evolved Resistance to Bt Maize by Western Corn Rootworm. *Plos One* **6**. DOI: 10.1371/journal.pone.0022629.
- Gray M. E., Levine E. & Oloumi-Sadeghi H., 1998. Adaptation to crop rotation: Western and northern corn rootworms respond uniquely to a cultural practice. *Recent Research Developments in Entomology* **2**, 19–31.
- Krysan J. L., Miller T. A. & Andersen J. F., 1986. Methods for the study of pest *Diabrotica*. Springer-Verlag, New York.
- Levine E. & Oloumi-Sadeghi H., 1991. Management of diabrotic rootworms in corn. *Annual Review of Entomology* **36**, 229–255.
- Meinke L. J., Sappington T. W., Onstad D. W., Guillemaud T., Miller N. J., Judith K., Nora L., Furlan L., Jozsef K. & Ferenc T., 2009. Western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) population dynamics. *Agricultural and Forest Entomology* **11**, 29–46. DOI: 10.1111/j.1461-9563.2008.00419.x.
- Sappington T. W., Siegfried B. D. & Guillemaud T., 2006. Coordinated *Diabrotica* genetics research: Accelerating progress on an urgent insect pest problem. *American Entomologist* **52**, 90–97.
- Spencer J. L., Hibbard B. E., Moeser J. & Onstad D. W., 2009. Behaviour and ecology of the western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). *Agricultural and Forest Entomology* **11**, 9–27. DOI: 10.1111/j.1461-9563.2008.00399.x.
- Szalai M., Komaromi J. P., Bazok R., Barcic J. I., Kiss J. & Toepfer S., 2011. Generational growth rate estimates of *Diabrotica virgifera virgifera* populations (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Pest Science* **84**, 133–142. DOI: 10.1007/s10340-010-0336-z.
- Toepfer S. & Kuhlmann U., 2005. Natural mortality factors acting on western corn rootworm populations: a comparison between the United States and Central Europe. Western corn rootworm. CABI Publishing, Wallingford. 95–119, ISBN 0-85199-817-8.