

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für integrierten Pflanzenschutz, Kleinmachnow¹
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Folgenabschätzung im Pflanzenschutz, Kleinmachnow²

Insektenresistenzmanagement von Bt-Mais - Entwicklung einer GIS-basierten Entscheidungshilfe auf Betriebsebene für die Refugienplanung

Insect Resistance Management of Bt maize – Development of a GIS based decision making tool on farm scale for planning refuges

Bernd Hommel¹, Burkhard Golla² und Ralf Neukampf²

Zusammenfassung

Mit dem zunehmenden Anbau von Bt-Mais in Deutschland steigt das Risiko der Anpassung von heimischen Populationen des Maiszünslers, *Ostrinia nubilalis* (Hübner), an Toxine von *Bacillus thuringiensis*. Durch das Anlegen von Refugien mit anfälligem Mais soll dieser Entwicklung nachhaltig begegnet werden. Die hohe Effizienz solcher Refugien in Nachbarschaft von Bt-Kulturen belegen robuste Daten aus den USA, wo nach über 10 Jahren des Anbaus von Bt-Mais und –Baumwolle auf jährlich vielen Millionen Hektar keine resistenten Schädlingpopulationen aufgetreten sind. Zur Unterstützung der notwendigen Refugienplanung auf Betriebsebene wird in Zusammenarbeit mit drei Bt-Mais anbauenden Landwirtschaftsbetrieben im Oderbruch eine auf GIS-Daten basierte Entscheidungshilfe entwickelt.

Stichwörter: Bt-Mais, Maiszünslers, Refugienplanung, GIS

Abstract

Increasing Bt maize in Germany will consequently lead to a high risk concerning adaptation of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hübner), populations for *Bacillus thuringiensis* endotoxins. Obligatory growing of susceptible maize cultivars by farmers as refuge close to Bt fields will sustainably face this development. The high efficiency of such strategy has been documented by robust data gathered in the USA where pest populations being resistant for *B. thuringiensis* have not been detected after utilization of Bt maize and cotton on Million of hectares for over 10 years. For supporting decision making on farm scale in planning refuges in Germany, a GIS based software tool is being developed in close collaboration with three experienced Bt maize growing farms located in north-east Germany (region Oderbruch).

Key words: Bt maize, European corn borer, refuge strategy, GIS

Einleitung

Nachhaltige Strategien im Pflanzenschutz zur Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel für die menschliche Ge-

sundheit und die Umwelt setzen ganz wesentlich auf Schaderreggerresistenzen bei Kulturpflanzen. Insektenresistente Pflanzensorten sind für gesunde Pflanzenbestände bei geringer Anwendung von Insektiziden von großer Bedeutung; hier stehen sie den krankheits- und virusresistenten Sorten gerade für Konzepte im integrierten Pflanzenschutz um nichts nach. Da oft die Aussaat und das Auftreten tierischer Schaderreger zeitlich versetzt erfolgen, kann die Auswahl einer resistenten Sorte nicht als direkte Bekämpfungsmaßnahme angesehen werden. Es können Fälle eintreten, bei denen die zusätzlichen Kosten für das Merkmal „Insektenresistenz“ umsonst sind, wenn der Befall als Folge hoher Wintermortalität oder ungünstiger Witterung im Frühjahr unerwartet niedrig ist. Die Sortenwahl stellt somit eine Art „Versicherung“ für den Landwirt dar, welche nicht immer in Anspruch genommen wird. Modelle, welche auf der Basis des Ausgangsbefalls und des winterlichen Witterungsverlaufes die zu erwartende Befallsstärke prognostizieren, wären ein wichtiges Instrument, um insektenresistente Sorten gezielt einsetzen zu können.

Während das Merkmal „Insektenresistenz“ bei der Sortenwahl für viele Kulturpflanzen wie Weizen, Reis, Sorghum, Mais, Luzerne, Apfel, Wein und Gemüse in Nordamerika seit Jahrzehnten zur Praxis gehört, spielt sie in Mitteleuropa und speziell in Deutschland sowohl in der aktuellen (klassischen) Züchtung, als auch beim Anbau kaum eine Rolle. In den letzten 100 Jahren gab es in der deutschen Landwirtschaft zwei wesentliche Ereignisse, die mit der Insektenresistenz verbunden waren: die Einführung von reblausresistenten Unterlagen im Weinbau mit Beginn und von maiszünslersresistenten Bt-Mais-sorten am Ende des 20. Jahrhunderts. Die Wahrnehmung beider Ereignisse in der öffentlichen Meinung kann verschiedener nicht sein! Die dem Anbau vorausgehende Züchtung insektenresistenter Sorten mit gentechnischen Verfahren (artübergreifender künstlicher Gentransfer) wird im Vergleich zu klassischen Verfahren (künstliche Mutation und Selektion; natürliche Auslese; Kreuzung mit *wilden* Verwandten und Rückkreuzung) weitgehend abgelehnt. Das wichtigste mit dem Anbau verbundene Risiko aber, die Anpassung der Zielorganismen an den die Resistenz vermittelnden (häufig sekundären) Pflanzeninhaltsstoff, ist bei allen insektenresistenten Sorten gleich groß und muss über angepasste Resistenzvermeidungsstrategien vorsorglich vermindert werden. SMITH, (1989) zeigt die Konsequenzen fehlgeschlagener oder unterlassener Resistenzvermeidungsstrategien auf: Viele Schädlingpopulationen haben sich über die jahrelange Selektion unempfindlicher Biotypen den klassisch ausgelesenen oder gezüchteten insektenresistenten

Sorten angepasst. Berede Beispiele hierfür sind *Mayetiola destructor* an Weizen und *Schizaphis graminum* an Sorghum. Von beiden Arten sind in Nordamerika bisher 11 bzw. 16 Biotypen bekannt (Tab. 1). Das heißt, dass bei der Sortenwahl die Landwirte genau wissen müssen, welcher Biotyp(en) die lokale Schädlingpopulation dominiert. Dort, wo es dann keine resistenten Sorten für den speziellen Biotyp gibt, muss oft über die erneute Anwendung von Insektiziden der Bestand geschützt werden. Die ökologischen, sozioökonomischen und oft auch ökonomischen Vorteilswirkungen der sortenbasierten Insektenresistenz können dann vorerst nicht weiter (z. B. für den integrierten Pflanzenschutz) genutzt werden!

Im Rahmen der Sicherheitsbewertung von gentechnisch veränderten Pflanzen wurde dieses Problem im Gegensatz von klassisch gezüchteten insektenresistenten Sorten beim Anbau von Bt-Mais von Beginn an thematisiert. In den USA (und Kanada) erfolgt die Zulassung von Bt-Maissorten nur dann, wenn die Antragsteller entsprechende Programme zur Vermeidung der Resistenzbrechung vorlegen und regelmäßig einen Statusbericht abliefern (EPA, 2001). Bisher gibt es für Bt-Mais und Bt-Baumwolle nach fast 10-jährigem intensivem Anbau in den USA keine Hinweise darauf, dass über eine Selektion von *Bacillus thuringiensis*-resistenter Zielorganismen wenig anfällige Populationen entstanden sind (MOAR und MCCOLLUM, 2006). Optimistisch ausgedrückt heißt das, dass die Strategien zur Vermeidung der Anpassung bisher sehr erfolgreich waren. Dennoch, Verstöße gegen die Verpflichtung zur Anlage von Refugien sind in den USA nicht selten. Im Jahr 2002 hatten in den Bundesstaaten Iowa, Minnesota und Nebraska etwa 23 % der Betriebe von kleiner 80 ha einen Bt-Maisanbau von 100 %. Bei den größeren Betrieben waren es „nur“ 7 % (JAFFE, 2003).

Tab. 1. Intensität der Anpassung von Schädlingen an insektenresistente Sorten (SMITH, 1989)

Kulturpflanze	Schädling	Anzahl Biotypen
Luzerne	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	4
	<i>Therioaphis maculata</i>	6
Apfel	<i>Eriosoma lanigerum</i>	2
	<i>Dysaphis devecta</i>	3
	<i>Rhagoletis pomonella</i>	2
Mais	<i>Rhopalosiphum maidis</i>	5
Wein	<i>Viteus vitifoliae</i>	2
Himbeere	<i>Amphorophora idaei</i>	4
Reis	<i>Nephotettix cincticeps</i>	2
	<i>Nephotettix virescens</i>	3
	<i>Nilaparvata lugens</i>	4
	<i>Orseolia oryzae</i>	4
Sorghum	<i>Schizaphis graminum</i>	11
Gemüse	<i>Brevicoryne brassicae</i>	2-4
	<i>Bemisia tabaci</i>	2
Weizen	<i>Aceria tosichella</i>	5
	<i>Sitobion avenae</i>	3
	<i>Mayetiola destructor</i>	16

Refugienstrategie als probate Maßnahme zur Resistenzvermeidung

Die Etablierung von Refugien in Nachbarschaft von Bt-Maisfeldern durch die Landwirte stellt die 2. Säule im Insektenresistenzmanagement (IRM) dar. Die 1. Säule beinhaltet als Aufgabe für die Züchter, dass die Bt-Toxinkonzentration in den grünen Pflanzenteilen um ein Vielfaches über dem LC₉₀-Wert liegen muss. Diese hohe Konzentration ermöglicht, dass – wenn überhaupt – nur hoch resistente Tiere überleben können. Da aber Häufigkeit und Anzahl dieser Tiere mit Beginn des Anbaus sehr gering sein sollten, haben sie im Wettbewerb mit den vielen anfälligen Artgenossen aus den Refugien oder den anderen konventionellen Feldern keine Chance, ihre Gene im Genpool der Population nachhaltig einzubringen.

Die folgenden verbindlichen und empfohlenen Rahmenbedingungen charakterisieren die Refugienstrategie für Bt-Mais in den USA und Kanada:

- Mindestens 20 % Flächenanteil von anfälligem Mais als Refugium. In Gebieten mit Anbau von Bt-Baumwolle erhöht sich dieser Anteil aufgrund gemeinsamer Schädlinge auf 50 %.
- Eine Kombination von mehreren Refugien zur Summe von 20 % ist möglich.
- Der Abstand des Refugiums zum Bt-Mais beträgt maximal 400 m bei einer geplanten chemischen oder biologischen Maiszünslerbekämpfung oder bis 800 m, wenn auf diese Maßnahmen von vornherein gänzlich verzichtet wird.
- Das Refugium sollte so spät und Bt-Mais so früh wie möglich geerntet werden.
- Ein Nachbau von Mais insbesondere auf dem Refugium sollte vermieden werden.
- Saatgutmischungen sind für den Anbau (als Refugium) nicht erlaubt.
- Durchführung eines Monitorings von Bt-Mais auf Befall: Der Signalwert für die Anpassung der Population liegt bei > 5 %.

Die Möglichkeiten der Anlage von Refugien sind vielfältig (Abb. 1). Die Anlage als Block auf demselben Feld dürfte wohl für viele Landwirte in Deutschland die bevorzugte Variante sein, da dadurch auch der Austrag von transgenen Pollen eingeschränkt und damit die Koexistenz optimal berücksichtigt wird.

Kritik aus populationsgenetischer Sicht ist allerdings angebracht, wenn Bt-Mais auch dort angebaut wird, wo der Befallsdruck eher gering ist, d. h. auch ohne Bt-Mais keine direkten Bekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden würden. Nach Schätzungen von BENBROOK (2003) soll dieser Anteil nach anfänglichen 20 % (1996 und 1997) der Anbaufläche rasch auf mittlerweile über 80 % in den USA angestiegen sein. Damit wird einerseits ein völlig unnötig hoher Selektionsdruck auf Maiszünslerpopulationen ausgeübt, da aufgrund geringer Vermehrungsraten in den Refugien das Risiko der Selektion resistenter Tiere erhöht ist. Andererseits muss die Entscheidung für Bt-Mais noch während der Winterruhe der Larven getroffen werden. Für eine grobe Abschätzung der Befallstärke im Anbaujahr stehen den Landwirten und Beratern nur ihre langjährigen Erfahrungen sowie Informationen zum Vorjahresbefall, zur Bodenbearbeitung nach der Maisernte und zur Winterwitterung zur Verfügung. Sichere Prognosemodelle, die diese und weitere Faktoren berücksichtigen, sind aber (noch) nicht vorhanden.

Anbau von Bt-Mais in Deutschland

Der Maiszünsler wird ein zunehmendes Problem in vielen Maisanbaugebieten in Deutschland. Seine Anfälligkeit für Bt-Toxine ist hoch und relativ einheitlich über mehrere Popu-

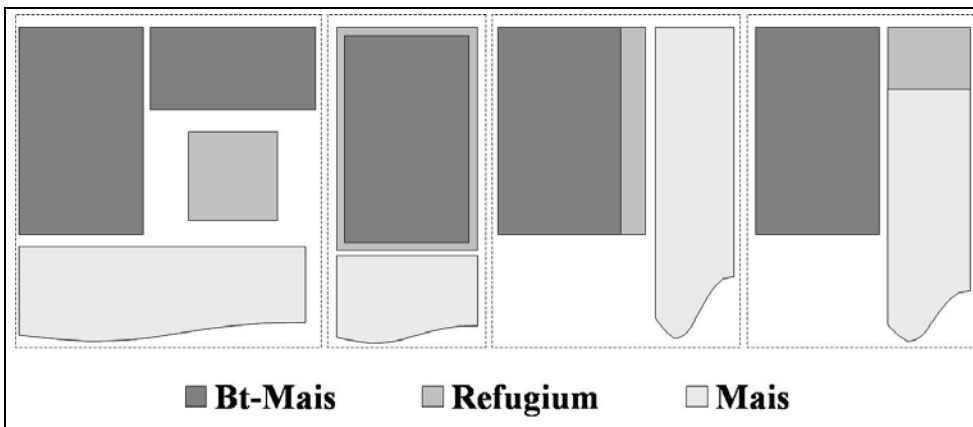


Abb. 1. Verschiedene Möglichkeiten für die Anlage von Refugien beim Anbau von Bt-Mais.

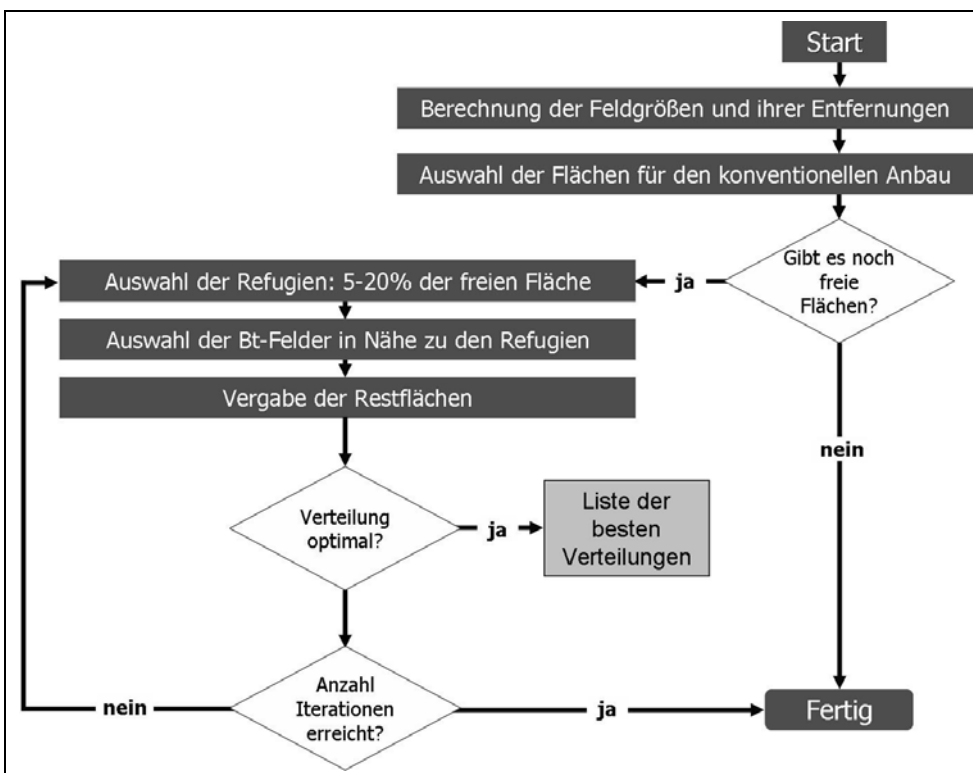


Abb. 2. Entscheidungsbaum auf der Grundlage von GIS basierten Eingangsdaten in der ersten Stufe des „BBA-Refugienmanagers“.

lationen hinweg (SAEGLITZ et al., 2006; MEISE, 2003). Bt resistente Tiere wurden im Anbaubereich Oderbruch, wo der Bt-Mais seit einigen Jahren mit zunehmendem Flächenumfang angebaut wird, nicht identifiziert (KAISER-ALEXNAT et al., 2005). Der Anbau von Bt-Mais in Deutschland konzentriert sich seit Beginn auf großflächige Betriebe in den nordöstlichen Befallsgebieten des Maiszünslers. Dies steht häufig im Zusammenhang mit der Ausdehnung des Körnermaisbaus und der pfluglosen Bodenbearbeitung nach der Maisernte. Oft konzentriert sich der Anbau von Bt-Mais im Landwirtschaftsbetrieb auf wenige große Schläge, die häufig von weiteren Schlägen mit konventionellem Mais umgeben sind. Ein realer Bedarf für die Umsetzung der Refugienstrategie stellt sich aufgrund der geringen Anbaukonzentration daher nicht. Im Rahmen der Koexistenz werden allerdings die meisten Felder mit Bt-Mais von einem über 20 m breiten Saum umgeben.

Neben der Kontrolle der Resistenzsituation, hierfür wäre ein Signalwert von 5 % befallener Pflanzen eine gute Lösung, sollte auch die Verpflichtung zur Anlage von Refugien einer externen Kontrolle unterliegen. Zu überlegen wäre in diesem Zusammenhang, ob über das Standortregister nicht nur die

Bt-Maisflächen erfasst und bekannt gegeben werden, sondern auch der Anteil von Bt-Mais im Betrieb und die Lage der Refugienfelder aufgenommen werden.

GIS unterstütztes Instrument zur Refugienplanung in Deutschland

Für die Unterstützung der Landwirte zur Umsetzung der Refugienstrategie in Deutschland wird eine GIS (Geografische Informationssysteme) gestützte Software entwickelt („BBA-Refugienmanager“), die die Optimierung der Refugienauswahl auf Betriebsebene zum Ziel hat (Abb. 2). Folgende Projektziele wurden dafür in Angriff genommen:

1. Erfassung der Anbauverteilung von Mais.
2. Optimale Auswahl und Verteilung der konventionellen Maisflächen, der Bt-Maisflächen und der Maisfläche(n) für das Refugium.
3. Planungen unter Berücksichtigung der Datensammlung über mehrere Anbaujahre.
4. Berücksichtigung von vorjährigen Verteilungsmustern und Fruchtfolgen.

5. Berücksichtigung von Ausbreitungsszenarien des Maiszünslers.
6. Praktikable Unterstützung für das (externe) Resistenzmonitoring von Maiszünslerpulationen.
7. Voraussetzung für eine überbetriebliche Organisation der Refugienstrategie, insbesondere in kleiner strukturierten Agrarlandschaften.

Die technischen Grundlagen für die Entwicklung des Programms sind Delphi 7 von Borland Software Corporation als Programmiersprache und MapObjects 2.4 der Firma ESRI als Softwarebibliothek für das Geoprozessing und die Kartendarstellung.

Als Ansatz wurde eine Monte-Carlo-Methode verwendet, welche interaktiv den Prozess der Verteilung der Flächen durchläuft und am Ende jedes Durchlaufs prüft, ob das Ergebnis eine optimale Variante gegenüber den bisher gefundenen darstellt.

Als Optimum wird ein möglichst hoher Bt-Maisanteil angesehen. Nach Abschluss der Berechnungen stehen dem Nutzer mehrere Varianten zu Auswahl, welche als Karten dargestellt werden können.

Für die spätere benutzerfreundliche Verwendung des Programms werden nur die mit dem Programm installierten Dateien und die Geometriedaten der Landwirtschaftsflächen im Shape-Format eingesetzt. Eine erste Version des BBA-Refugienmanagers wird Anfang 2008 im Oderbruch getestet.

Literatur

- BENBROOK, C.M., 2003: Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the United States: The first eight years. BioTech Info Net. Technical paper, Number 6 (<http://www.biotech-info.net/highlights.html>).
- EPA, 2001: http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/pips/bt_brad2/1-overview.pdf
- JAFFE, G., 2003: Planting trouble: Are farmers squandering Bt corn technology? An analysis of USDA data showing significant non-compliance with EPA's refuge requirements. Center for Science in the Public Interest. 2003 (http://www.cspinet.org/new/pdf/bt_corn_report.pdf).
- KAISER-ALEXNAT, R., T. MEISE, G.-A. LANGENBRUCH, B. HOMMEL, J. HUBER, 2005: Untersuchungen zur frühzeitigen Entdeckung einer Resistenzentwicklung des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*) gegenüber dem *B.t.*-Mais-Toxin Cry1Ab. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **57** (7), 144–151.
- MEISE, T., 2003: Monitoring der Resistenzentwicklung des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*, Hübner) gegenüber Bt-Mais. Dissertation. Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultäten, Georg-August-Universität Göttingen, 153 S.
- MOAR, W.J., R.C. MCCOLLUM, 2006: Bt formulated products: should there be more concern about resistance development with the introduction of Bt transgenic plants? IOBC/wprs Bulletin Vol. **29** (5), 99-102.
- SAEGLITZ, C., D. BARTSCH, S. EBER, A. GATHMANN, K. U. PRIESNITZ, I. SCHUPHAN, 2006: Monitoring the Cry1Ab susceptibility of European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hübner) in Germany. Journal of Economic Entomology **99**, 1768-1773.
- SMITH, C.M., 1989: Plant Resistance to Insects - A Fundamental Approach. New York, John Wiley & Sons, 286 S.

Zur Veröffentlichung angenommen: Juni 2007

Kontaktanschrift: Dr. Bernd Hommel, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), Institut für integrierten Pflanzenschutz, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: b.hommel@bba.de