

Bt-Mais – Ein möglicher Beitrag zur Integrierten Produktion in Europa?

Michael Meissle, Jörg Romeis und Franz Bigler

Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich

Auskünfte: Michael Meissle, E-Mail: michael.meissle@art.admin.ch, Tel. +41 44 377 73 96



Durch die Produktion von *Bacillus thuringiensis* Eiweissen ist Bt-Mais gegen Frass von bestimmten Schmetterlings- oder Käferarten geschützt. (Foto: ART)

Einleitung

Die weltweite Anbaufläche gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP) stieg in den letzten 15 Jahren auf 160 Millionen Hektaren im Jahr 2011 (James 2011), was rund 10 % der weltweiten Ackerfläche entspricht. Die meisten dieser Pflanzen tragen Gene, die sie gegen bestimmte Herbizide, Insektenschädlinge, oder beides resistent

machen. Verglichen mit der weltweiten Anbaufläche von GVP spielt Europa eine unbedeutende Rolle. Hier wurde auf knapp 115 000 Hektaren insektenresistenter Mais angebaut und auf 17 Hektaren Kartoffeln, die eine für Industrieanwendung optimierte Stärkezusammensetzung haben.

Insektenresistenz in kommerziellen GVP wurde durch das Einbringen von Genen des Bakteriums *Bacillus thuringiensis* (Bt) erreicht. Diese Gene ermöglichen die Produktion von Insektiziden Cry oder Vip Proteinen, die zum Tod des Zielschädling führen. Mikrobielle Bt-Produkte gelten als umweltfreundlich und werden seit langem in der Landwirtschaft eingesetzt. Die wichtigste Pflanze, die mit Bt-Genen transformiert wurde, ist Mais (James 2011). In der Europäischen Union (EU) wird Bt-Mais vor allem in Spanien angebaut, gefolgt von Portugal, Tschechien, Polen, der Slowakei und Rumänien mit wesentlich kleineren Anbauflächen (Abb. 1).

In diesem Beitrag stellen wir die Hauptmaisschädlinge in Europa vor und wie sie derzeit bekämpft werden. Anschliessend diskutieren wir Vor- und Nachteile von Bt-Mais und dessen mögliche Rolle in der Integrierten Produktion (IP).

Hauptschädlinge im Europäischen Maisanbau

Der wichtigste Insektenschädling in Europa ist der Maiszünsler *Ostrinia nubilalis* (Meissle et al. 2010). Der Kleinschmetterling ist in ganz Europa, mit Ausnahme der nördlichen Gebiete, verbreitet (Abb. 2a). Ein weiterer Schadschmetterling ist die Maiseule *Sesamia nonagrioides*, die jedoch weitgehend auf den Mittelmeerraum beschränkt ist und in der Schweiz keine Rolle spielt (Abb. 2b). Die Raupen beider Arten fressen Tunnel in Stängel und Maiskolben, was die Nährstoff- und Wasserzufuhr beeinträchtigt und Eingangspforten für Pilzkrankheiten (z. B. Fusarien) öffnet. Starker Frassschaden führt zum Brechen von Stängeln und Kolben.

Der dritte Hauptschädling ist der westliche Maiswurzelbohrer *Diabrotica virgifera virgifera*, der aus Nordamerika eingeschleppt wurde und sich schnell in Europa ausbreitet (Abb. 2c). In der Schweiz ist der Käfer im Tessin zu finden. Nördlich der Alpen etablierten sich in den letzten Jahren Populationen im Inntal an der Bayerisch-

Österreichischen Grenze, sowie im Elsass und in Baden-Württemberg entlang des Rheins. Die Larven dieses Käfers fressen an den Wurzeln, was wiederum die Nährstoff- und Wasseraufnahme einschränkt und die Stabilität der Pflanzen reduziert. Schaden kann auch durch Frass der adulten Käfer an Fruchtfäden und jungen Körnern entstehen (Meissle *et al.* 2010).

Derzeitige Kontrollmassnahmen

Bei geringem Schädlingsaufkommen ist die wirtschaftlichste Option keine Schädlingsbekämpfung durchzuführen. In den meisten Europäischen Ländern werden jedoch die im Folgenden vorgestellten Massnahmen gegen Insektenschädlinge ergriffen.

Chemische Kontrolle

Im Maisanbau werden oft Insektizide mit breitem Wirkungsspektrum, wie zum Beispiel Pyrethroide gegen Schadschmetterlinge und Organophosphate gegen den Maiswurzelbohrer, eingesetzt (Meissle *et al.* 2010). Anwendungen gegen Maiszünsler müssen kurz nach dem Eischlupf erfolgen, noch bevor sich die Raupen in die Maisstängel bohren. Regelmässige Bonituren und oft mehrere Anwendungen sind dafür nötig. In der Schweiz sind Insektizidbehandlungen möglich, allerdings muss dann meist auf Zahlungen für den Ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) verzichtet werden. Die Maiseule ist besonders schwer zu bekämpfen, da ihre Eier geschützt zwischen Blattscheide und Stängel abgelegt werden. Gegen die Larven des Maiswurzelbohrers werden Bodeninsektizide während der Aussaat sowie gebeiztes Saat-

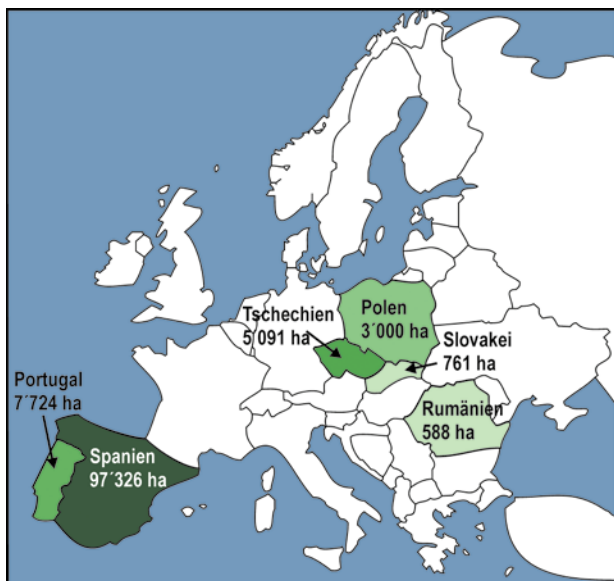


Abb. 1 | Bt-Maisanbau 2011 in Europa (in Hektaren). Angepasst von Meissle *et al.* (2011) mit Daten von James (2011).

Zusammenfassung

Mithilfe von Bt-Mais können bestimmte Schädlinge spezifisch und effizient kontrolliert werden. Falls chemische Insektizide mit breitem Wirkungsspektrum durch Bt-Mais eingespart werden können, führt dies zu ökologischen Vorteilen, da zum Beispiel nützliche Organismen geschont werden. Dabei können hochqualitative Produkte mit geringem Zeit- und Ressourcenaufwand erzeugt werden. Resistenzentwicklung und mögliche Ausbrüche von Sekundärschädlingen stellen Risiken für die nachhaltige Nutzung von Bt-Mais dar, die entsprechende Massnahmen (Refugien, Förderung natürlicher Gegenspieler) und Monitoring erfordern. Trotz höheren Saatgutkosten und administrativem Mehraufwand können Bt-Maisproduzenten in Regionen mit hohem Schädlingsdruck grössere Einkommen erzielen. Durch das Anbauverbot in mehreren Europäischen Ländern können jedoch nicht alle Produzentinnen und Produzenten dieses wirtschaftliche Potenzial nutzen. In der integrierten Produktion könnte Bt-Mais gut mit anderen Massnahmen kombiniert werden.

gut verwendet. Gegen adulte Käfer können Insektizide gespritzt werden. Im Allgemeinen sind chemische Insektizide günstig und die Produzenten haben Erfahrung mit deren Anwendung. Spezialmaschinen sind jedoch nötig um hohe Maisbestände behandeln zu können. Insektizide mit breitem Wirkungsspektrum erlauben die Kontrolle mehrerer Schädlinge gleichzeitig, haben aber auch Nebeneffekte auf Nützlinge, wie zum Beispiel natürliche Gegenspieler, Bestäuber und Zersetzer. Des weiteren besteht das Risiko, dass Resistenzen gegen den aktiven Wirkstoff entstehen. Die EU ist bestrebt Pestizide zu reduzieren und integrierten Pflanzenschutz umzusetzen. So fordert die kürzlich publizierte EU-Direktive 2009/128/EC von allen Mitgliedsstaaten bis 2014 die Umsetzung dieser Ziele.

Biologische Kontrolle

Die einzige für Mais erhältliche Biokontrollalternative sind *Trichogramma*-Wespen, welche die Eier des Maiszünslers befallen. Die Schlupfwespen werden auf etwa 150 000 Hektaren vor allem in Frankreich, Deutschland und der Schweiz ausgebracht (Meissle *et al.* 2009, 2010). ➤



Abb. 2 | Verbreitung der drei Hauptmaisschädlinge in Europa: A) Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*), B) Maiseule (*Sesamia nonagrioides*), C) Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*). Angepasst von Meissle *et al.* (2011), (Fotos: Matilde Eizaguirre, Carmen Lopez, Michael Meissle)

Ausser bei sehr hohen Maiszünslerpopulationen kann eine hohe Wirksamkeit erreicht werden. Bonituren, Prognosesysteme und effiziente Logistik sorgen für eine Ausbringung zum optimalen Zeitpunkt, was für den Erfolg sehr wichtig ist. Gegen die Maiseule ist *Trichogramma* nicht wirksam, da deren versteckte Eier kaum parasitiert werden. Feldversuche zeigen, dass die Larven des Maiswurzelbohrers mit entomopatho-

genen Nematoden (Fadenwürmern) bekämpft werden können. Ein marktreifes Produkt ist bereits in Deutschland erhältlich. Biologische Schädlingsbekämpfung ist generell wünschenswert, da sie in der Regel spezifisch gegen die Zielschädliche wirkt und umweltverträglich ist.

Kontrolle durch Kulturmassnahmen

Um die Anzahl der überwinterten Maiszünslerlarven zu reduzieren, wird das Feld nach der Ernte dicht über dem Boden abgemäht und das Pflanzenmaterial zerkleinert und untergepflügt (Meissle *et al.* 2010). Gegen den Maiswurzelbohrer ist Fruchtfolge sehr effizient, da die Weibchen ihre Eier vor allem in Maisfelder ablegen und sich die Larven, die im folgenden Jahr schlüpfen, nicht oder schlecht in anderen Feldkulturen entwickeln können. In den USA, wo einfache Fruchtfolgen aus Soja und Mais dominieren, entwickelten sich jedoch Käferpopulationen, die ihre Eier entweder zu einem grossen Teil in Soja ablegen, oder bei denen der Schlupf der Eier erst nach zwei Jahren erfolgt. Dies unterstreicht die Bedeutung von diversifizierten Fruchtfolgen als wesentlichen Eckpfeiler der IP.

Potenzielle Vorteile des Anbaus von Bt-Mais

Die Maislinie MON810 ist die einzige insektenresistente GVP, die in Europa für den Anbau zugelassen ist. Sie produziert das Bt-Eiweiss Cry1Ab zur Kontrolle von Maiszünsler und Maiseule. Mehrere Vorteile führten zu einer raschen Annahme der Technologie in vielen Ländern der Welt (Meissle *et al.* 2011). Auch gegen den Maiswurzelbohrer wurden verschiedene Bt-Maislinien entwickelt, die in den USA bereits weit verbreitet sind.

Hohe Wirksamkeit

Bt-Mais ist vor den Zielschädlingen mit hoher Wirksamkeit geschützt, was sich bei mittlerem bis starkem Befall in der Regel in höheren Erträgen im Vergleich zu konventionellem Mais widerspiegelt (Gómez-Barbero *et al.* 2009). Cry1Ab-produzierender Mais kontrolliert sowohl den Maiszünsler als auch die Maiseule, was im Mittelmeergebiet ein grosser Vorteil gegenüber konventionellen Methoden ist. In den USA konnte durch den grossflächigen Anbau von Bt-Mais eine starke regionale Abnahme von Maiszünslerpopulationen erreicht werden, von der vor allem auch konventionelle Produzenten profitieren (Hutchison *et al.* 2010).

Einfache Betriebsabläufe

Da das insektizide Bt-Eiweiss von den Pflanzen selbst über die gesamte Feldsaison produziert wird, muss für Bt-Mais keine zusätzliche Zeit, zum Beispiel für Bonituren oder Ausbringung von Insektiziden oder Schlupfwespen, aufgewendet werden. Dies ist vor allem in Südeuropa vorteilhaft, wo die Schadschmetterlinge mehrere Generationen pro Jahr durchlaufen.

Hohe Produktqualität

Pilzerreger, wie etwa *Fusarium* Arten, verursachen Wurzel-, Stängel- und Kolbenfäule und produzieren Mykotoxine, die giftig für Mensch und Tier sind. Frassstellen von Insekten, vor allem von Schmetterlingslarven der zweiten Generation, erleichtern das Eindringen der Erreger in die Pflanze. Da Bt-Mais besser vor Insektenfrass geschützt ist, ist auch das Infektionsrisiko durch Pathogene geringer, was die Korn- beziehungsweise Silagequalität verbessert. Dies ist wichtig, da in der EU und der Schweiz strenge Obergrenzen für bestimmte Mykotoxine in Nahrungsmitteln und Richtwerte für Futtermittel gelten.

Ökologische Vorteile

Eine Vielzahl von Labor- und Feldstudien zeigen, dass die Bt-Eiweisse spezifisch auf bestimmte Gruppen von Zielschädlingen wirken und Bt-Mais keine unerwarteten Auswirkungen auf Nützlinge, wie natürliche Gegenspieler, Bienen oder Bodenorganismen hat (Romeis *et al.* 2006; Naranjo 2009; Icoz und Stotzky 2008). Mögliche Risiken von schmetterlingsresistentem Bt-Mais auf Tagfalter wurden wegen geringer Exposition als gering eingestuft (Perry *et al.* 2010). Es wird geschätzt, dass in den Anbauregionen von Bt-Mais 35 % der Insektizide eingespart werden (Brookes und Barfoot 2010; Gómez-Barbero *et al.* 2008). Durch diese Einsparung umweltschädlicher Insektizide kann Bt-Mais einen deutlichen ökologischen Vorteil darstellen (Romeis *et al.* 2006; Naranjo 2009).

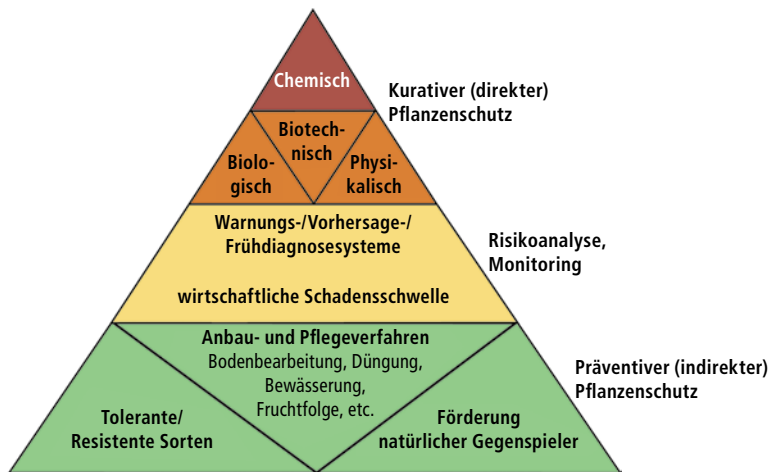


Abb. 3 | Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes nach Boller *et al.* (2004). Angepasst von Meissle *et al.* (2011).

Potenzielle Nachteile des Anbaus von Bt-Mais

Wie bei jeder Technologie gibt es auch beim Anbau von Bt-Mais Hindernisse und Risiken, die dessen Einsatzmöglichkeit einschränken (Meissle *et al.* 2011).

Entwicklung von Resistenzen

Da durch Bt-Mais ein insektizides Eiweiss in hoher Dosis während der ganzen Feldsaison produziert wird, kann der hohe Selektionsdruck auf die Zielschädlinge zur Resistenzentwicklung führen. Um dies hinauszuzögern, muss ein gewisser Prozentsatz (z. B. 20 %) konventioneller Mais als Refugium gepflanzt werden. Durch diese Strategie wird erreicht, dass sich vereinzelte, resistente Falter mit empfindlichen Faltern paaren und deren Nachkommen wiederum empfindlich sind. In Spanien, wo Bt-Mais seit 1998 kultiviert wird, gibt es bislang keine Hinweise auf einen Rückgang der Empfindlichkeit gegenüber Cry1Ab (Farinos *et al.* 2011). Neue Bt-Maispflanzen, die vor allem in den USA im Anbau sind, produzieren zwei oder mehrere verschiedene Bt-Eiweisse gleichzeitig. Diese Pflanzen haben eine potentiell höhere Dauerhaftigkeit, da die Wahrscheinlichkeit, dass Resistenzen gegen verschiedene Eiweisse gleichzeitig entstehen, erheblich reduziert ist.

Auftreten von Sekundärschädlingen

Der Ersatz von unspezifischen Massnahmen (z. B. Insektizide mit breitem Wirkungsspektrum) zur Schädlingsbekämpfung durch sehr spezifisch wirkende Methoden, kann dazu führen, dass sich Populationen von Sekundärschädlingen, die zuvor mit kontrolliert wurden, aufbauen und die Schadschwelle überschreiten. Dies gilt auch für den sehr spezifisch wirkenden Bt-Mais. Im schlimmsten Fall müssen dann wiederum vermehrt

Insektizide eingesetzt werden. In Europa ist bislang jedoch kein Auftreten von Sekundärschädlingen im Zusammenhang mit dem Anbau von Bt-Mais bekannt. Die Förderung von natürlichen Gegenspielern in Bt-Maisfeldern hilft die Populationen von Sekundärschädlingen unterhalb der Schadschwelle zu halten (Romeis *et al.* 2006) und muss deshalb ein wichtiges Ziel integrierter Maisproduktion sein.

Erfüllen von Vertragsbestimmungen

Produzenten von Bt-Mais haben einen höheren administrativen Aufwand als konventionelle Produzenten. Dieser umfasst Bekanntmachungen, detaillierte Buchhaltung, Schulungen und Betriebskontrollen. Durch die Vorschriften der Koexistenzverordnung muss zudem jeder Bt-Maisproduzent sicherstellen, dass benachbarte Betriebe weiterhin die Möglichkeit haben konventionell oder biologisch, innerhalb der geltenden Grenzwerte für GVP-Verunreinigungen, zu produzieren. Dies erfordert Absprachen und Abkommen mit Nachbarinnen und Nachbarn, Lohnunternehmungen und Kooperativen, was wiederum zu höheren Produktionskosten führt (Albisser Vögeli *et al.* 2011).

Fehlende Anbaugenehmigung

In der EU ist eine Vielzahl von GVP-Linien für den Import als Nahrungs- und Futtermittel zugelassen (siehe www.gmo-compass.org). MON810 ist jedoch die einzige Bt-Maislinie, die auch angebaut werden darf. In einigen Ländern, wie zum Beispiel Österreich, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Luxemburg und Ungarn, wurde der Anbau jedoch untersagt. In der Schweiz besteht seit 2005 ebenfalls ein Moratorium für den kommerziellen Anbau von GVP. Dossiers für die Zulassung von weiteren Bt-Maislinien wurden in der EU eingereicht, jedoch wurde bislang nicht entschieden (Meissle *et al.* 2011). Viele Produzentinnen und Produzenten in Europäischen Ländern haben demnach keine Wahlmöglichkeit, ob sie Bt-Mais verwenden möchten oder nicht, da der Anbau durch regionale, nationale, oder EU-Behörden nicht autorisiert ist.

Wirtschaftlichkeit von Bt-Mais

Saatgutpreise für Bt-Mais sind generell höher als für konventionellen Mais, da die Industrie einen Technologiezuschlag erhebt. Die Kosten für Pflanzenschutz fallen somit bereits beim Saatgutkauf an, was zu weniger Gewinn führen kann, falls der Schädlingsdruck niedrig ist. Wie die Erfahrungen in Spanien zeigen, werden die Saatgutpreise regional je nach Schädlingsdruck und Gewinnerwartung angepasst (Gómez-Barbero *et al.* 2009). In Spanien wird Bt-Mais annähernd überall dort

produziert, wo er zu höherem Betriebsgewinn beiträgt. Ökonomische Analysen haben ergeben, dass Bt-Mais vor allem auch Vorteile in denjenigen EU-Staaten bringen würde, in denen der Anbau derzeit verboten ist (Meissle *et al.* 2011). In der Schweiz besteht derzeit wenig Bedarf an Bt-Mais, da die Bekämpfung des Maiszünslers weitgehend mit *Trichogramma* erfolgt. Eine Wirtschaftlichkeitsstudie von Agroscope ART zeigte, dass Bt-Mais in der Schweiz gegenüber konventionellem Mais für Landwirtinnen und Landwirte kaum interessant wäre, was vor allem durch die erforderlichen Koexistenzmassnahmen begründet ist (Albisser Vögeli *et al.* 2011). Zudem nimmt ein grosser Teil der Schweizer Konsumentinnen und Konsumenten eine ablehnende Haltung gegenüber der Gentechnik in der Landwirtschaft ein (Bonfadelli & Meier 2010).

Bt-Mais als Technologie für die Integrierte Produktion

Die IP setzt sich zum Ziel, hochqualitative Produkte nachhaltig zu erzeugen. Dabei sollen natürliche Ressourcen und Regelmechanismen genutzt werden, um umweltschädliche Einträge zu reduzieren, die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern und eine diversifizierte Umwelt zu erhalten (Boller *et al.* 2004). Integrierter Pflanzenschutz soll demnach kostengünstig und umweltschonend zugleich sein. Dabei können präventive (indirekte) und kurative (direkte) Methoden angewandt werden (Abb. 3). Wenn ein hohes Schadpotential trotz vorbeugender Massnahmen erwartet wird, kann mit der Ausbringung von Biokontrollorganismen, biotechnischen Methoden (Verwirrungstechnik, Freilassen steriler Insekten), oder physikalischen Methoden reagiert werden. Chemische Pestizide sollen nur als letztes Mittel verwendet werden (Boller *et al.* 2004). Das von Bt-Mais produzierte insektizide Eiweiss kann einerseits als kurativer Einsatz gegen den Zielschädling betrachtet werden, oder aber als präventive Massnahme durch die Erhöhung der Pflanzenresistenz. Durch die fehlende Toxizität für Menschen, Bestäuber, Bodenorganismen und natürliche Gegenspieler könnte Bt-Mais gut im Rahmen der IP eingesetzt werden. Derzeit schliessen jedoch die Richtlinien der wichtigsten Labelorganisationen in der Schweiz (IP Suisse, BioSuisse) den Einsatz von GV-Pflanzen aus. ■

Riassunto

Mais Bt – Un possibile contributo per la produzione integrata in Europa?

Con l'ausilio del mais Bt determinati parassiti possono essere controllati in modo specifico ed efficiente. L'utilizzo di mais Bt comporta vantaggi ecologici in quanto vengono ad esempio risparmiati organismi utili contrariamente a quanto è il caso con insetticidi chimici ad ampio spettro d'azione. Inoltre il mais Bt permette agli agricoltori una produzione di alta qualità con basso dispendio di tempo e di risorse. Il rischio di un utilizzo sostenibile di mais Bt è rappresentato dallo sviluppo di resistenze e possibili insorgenze di parassiti secondari che richiedono provvedimenti adeguati (rifugi, sostegno dell'antagonista naturale) e un monitoraggio. Nonostante i costi della semenza e il dispendio amministrativo siano più elevati, i produttori di mais Bt possono ottenere redditi maggiori nelle regioni con forte presenza di organismi nocivi. Con il divieto di coltivazione in molti paesi europei non tutti i produttori possono, tuttavia, sfruttare questo potenziale economico. Nella produzione integrata il mais Bt potrebbe essere abbinato ad altre misure.

Literatur

- Albisser Vögeli G., Burose F., Wolf D. & Lips M., 2011. Wirtschaftlichkeit gentechnisch-veränderter Ackerkulturen in der Schweiz. Agroscope ART, Ettenhausen. Zugang: http://www.agroscope.admin.ch/data/publikationen/1305282734_Albisser_Voegeli_G_gentech-wirtschaftlichkeit.pdf [3.4.2012].
- Boller E. F., Avilla J., Joerg E., Malavolta C., Wijnands F.G. & Esbjerg P., 2004. Guidelines for integrated production – Principles and technical guidelines, 3rd edition. *IOBC/wprs Bulletin* 27 (2).
- Bonfadelli H. & Meier W. A., 2010. Grüne Gentechnik im öffentlichen Diskurs – Interessen, Konflikte und Argumente. UVK Verlagsgesellschaft mbH, Konstanz.
- Brookes G. & Barfoot P., 2010. Global impact of biotech crops: Environmental effects, 1996–2008. *AgBioForum* 13 (1), 76–94.
- Farinos G. P., Andreadis S. S., de la Poza M., Mironidis G. K., Ortego F., Savopoulou-Soultani M. & Castañera P., 2011. Comparative assessment of the field-susceptibility of *Sesamia nonagrioides* to the Cry1Ab toxin in areas with different adoption rates of Bt maize and in Bt-free areas. *Crop Protection* 30, 902–906.
- Gómez-Barbero M., Berbel J. & Rodríguez-Cerezo E., 2009. Bt corn in Spain—the performance of the EU's first GM crop. *Nat Biotechnol* 26, 384–386.
- Hutchison W. D., Burkness E. C., Mitchell P. D., Moon R. D., Leslie T. W., Fleischer S. J., Abrahamson M., Hamilton K. L., Steffey K. L., Gray M. E., Hellmich R. L., Kaster L. V., Hunt T. E., Wright R. J., Pecinovsky K., Rabaey T. L., Flood B. R. & Raun E. S., 2010. Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. *Science* 330, 222–225.

Summary

Bt maize – a potential contribution to integrated production?

Bt maize represents a targeted and efficient measure for controlling certain pests. Replacing broad-spectrum insecticides with Bt maize produces environmental benefits, for example because this approach does not harm beneficial organisms. Growers can produce high-quality products with low time and resource investment. Resistance evolution and potential secondary pest outbreaks are risks for the sustainable use of Bt maize that require appropriate management plans (refuges, encouragement of natural enemies) and monitoring. Despite higher seed prices and administrative requirements, Bt-maize growers in areas with high pest pressure have generally been able to increase their gross margin. With the non-authorisation of Bt maize in several European countries, however, not all producers can make use of this economic potential. In the context of integrated production, Bt maize could be used in combination with other measures.

Key words: genetically modified organisms; maize pests; integrated pest management; Bt-protein.

- Icoz I. & Stotzky G., 2008. Fate and effects of insect-resistant Bt crops in soil ecosystems. *Soil Biol Biochem* 40, 559–586.
- James C., 2011. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2011. ISAAA Brief No. 43, ISAAA, Ithaca, NY, USA.
- Meissle M., Romeis J. & Bigler F., 2011. Bt maize and integrated pest management – a European perspective. *Pest Management Sci* 67, 1049–1058.
- Meissle M., Bigler F., Mouron P., Kabiri F. & Pons X., 2009. Non-chemical control of corn borers using *Trichogramma* or Bt maize. From Science to Field, Maize Case Study – Guide Number 1. Zugang: http://www.endure-network.eu/endure_publications/endure_publications2 [3.4.2012]
- Meissle M., Mouron P., Musa T., Bigler F., Pons X., Vasileiadis V. P., Otto S., Antichi D., Kiss J., Palinkas Z., Dorner Z., van der Weide R., Groten J., Czembor E., Adamczyk J., Thibord J. B., Melander B., Cordsen Nielsen G., Poulsen R. T., Zimmermann O., Verschwele A. & Oldenburg E., 2010. Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *J Appl Entomol* 134, 357–375.
- Naranjo S. E., 2009. Impacts of Bt crops on non-target invertebrates and insecticide use patterns. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, *Nutrition and Natural Resources* 4, No. 011.
- Perry J. N., Devos Y., Arpaia S., Bartsch D., Gathmann A., Hails R. S., Kiss J., Lheureux K., Manachini B., Mestdagh S., Neemann G., Ortego F., Schiemann J. & Sweet J. B. (2010) A mathematical model of exposure of non-target Lepidoptera to Bt-maize pollen expressing Cry1Ab within Europe. *Proc R Soc B* 277, 1417–1425.
- Romeis J., Meissle M. & Bigler F., 2006. Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. *Nat Biotechnol* 24, 63–71.