

## MON810 – ist ein Verbot wirklich angebracht?

### Zum Stand der ökologischen Sicherheitsforschung zu Bt-Mais

Seit 1996 werden mit Genen des *Bacillus thuringiensis* veränderte Maispflanzen auf weltweit stetig wachsenden Flächen angebaut. In Spanien waren es zuletzt fast 100.000 Hektar, rund 15% der gesamten Anbaufläche von Mais. Dennoch läuft eine sehr hitzige Debatte über das Für und Wider der Nutzung von Bt-Mais als Futter- und Nahrungsmittel. Oft wird behauptet, es sei nur wenig über die möglichen Auswirkungen dieser Pflanzen auf die Umwelt, den Boden, Tier und Mensch bekannt. Dabei gibt es schon seit Jahren eine intensiv betriebene Sicherheitsforschung, die schon viele Antworten auf brennende Fragen gefunden hat. So zum Beispiel zur Wahrscheinlichkeit einer Beeinträchtigung von geschützten oder bedrohten Schmetterlingen.

Stefan Rauschen



Eine Schmetterlingsraupe frisst im Laborversuch an einer mit Bt-Maispolen behandelten Blattscheibe (Foto: Mechthild Schuppener, RWTH Aachen)

Eigentlich ist die Sache mit *Bacillus thuringiensis* ganz einfach. 1911 wurde dieses Bakterium von Ernst Berliner in Thüringen als Verursacher der „Schlaffsucht“ bei Raupen von Mehlmotten identifiziert und beschrieben. Man stellte fest, dass die Sporen von *B. thuringiensis* gegen Schmetterlingsraupen wirksam sind und verwendete bereits in den späten 20er Jahren des letzten Jahr-

hunderts dieses Wissen, um den Maiszünsler *Ostrinia nubilalis* zu bekämpfen. Doch erst mit der Entdeckung der Tatsache, dass die toxische Wirkung durch in den Sporen enthaltene Proteine verursacht wird, wurde Mitte der 50er Jahre der Grundstein für die Anwendung dieser biologischen Kontrollmaßnahme gegen eine Reihe von schädlichen Schmetterlingen gelegt. Seitdem werden Spritzmittel auf Basis von *B. thuringiensis* angewendet, um im Obst-, Gemüse- und Forstbau und in der Landwirtschaft Schädlinge zu bekämpfen. Auch die Mückenbekämpfung in sumpfigen Gebieten wurde so durchgeführt. Die Spezifität der Spritzmittel bei

gleichzeitiger Nützlingsschonung machten sie schnell beliebt. Ihr größter Nachteil ist die nur sehr kurzfristige Wirksamkeit.

In den folgenden Jahrzehnten wurde viel geforscht. Man fand viele verschiedene Stämme von *B. thuringiensis*, die viele unterschiedliche Proteine bilden. Diesen ist gemein, dass sie als Kristalle in den Sporen des Bakteriums zu finden sind. Daher werden sie Cry-Proteine genannt, und auf Grund ihrer strukturellen Eigenschaften und Gemeinsamkeiten werden sie in verschiedene Familien eingeteilt. Eine weitere Gemeinsamkeit der Proteine ist, dass sie zwar auf unterschiedliche Gruppen von Gliedertieren wirken, dies aber sehr spezifisch. So fand man Cry-Proteine, die gezielt gegen Zweiflügler (Fliegen und Mücken), solche, die gegen Käfer, und wiederum andere, die gegen Fadenwürmer (Nematoden) wirken.

Letztlich konnte man die Gene, die für die Bildung der jeweiligen Cry-Proteine verantwortlich sind, identifizieren und isolieren. Damit eröffnete sich nun die Möglichkeit, durch gentechnische Verfahren Pflanzen zu erzeugen, die selbst in der Lage sind, Cry-Proteine zur Abwehr von Schädlingen zu produzieren.

#### Wirkungsweise von Bt-Proteinen und ihre Spezifität

Die Kristalle aus Bt-Proteinen werden durch Fraß aufgenommen und im Darm der Insekten aufgelöst. Anschließend durchlaufen die freigesetzten Proteine eine Spaltung durch spezifische Enzyme.



Der Bt-Mais MON810 enthält ein Cry-Protein, das spezifisch auf bestimmte Schmetterlingsarten wirkt (Foto: Matthias Artl).

Der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) ist ein wichtiger Schädling. Auch in Deutschland breitet er sich zunehmend aus (Foto: © Entomart.be).

## Arbeitsmaterial

## Modul 3 Lebenssystem Pflanze



Schmetterlinge wie der Kleine Fuchs (*Aglais urticae*) sind so genannte "Nicht-Zielorganismus" des Bt-Mais. Inwiefern sich der Mais auf diese Schmetterlingsarten auswirkt steht im Fokus der Sicherheitsforschung (Fotos: Mechthild Schuppener, RWTH Aachen).

Diese Prozessierung liefert erst die eigentlich aktiven Cry-Toxine. In einem nächsten Schritt kommt es zu einer Anlagerung der aktiven Proteine an spezifische Rezeptoren in den Zellmembranen des Darmepithels. Diese Wechselwirkung führt zur Bildung von Oligomeren aus mehreren Proteinen, die dann einen Poren-förmigen Komplex bilden. Dieser wiederum interagiert mit anderen Rezeptoren und wird daraufhin in die Zellmembran eingelagert, was zur Störung der Funktion, zur Lyse der Zelle und letztlich zum septischen Tod des Insekts führt.

Noch sind nicht alle Schritte und Reaktionen dieser sehr komplexen Wechselwirkungen und Abläufe genau bekannt. Klar ist aber, dass es spezifischer Rezeptoren und der Erkennung der Cry-Proteine bedarf, damit die verschiedenen Stufen der Interaktion durchlaufen werden können. Nur dies führt zur toxischen Wirkung und begründet die außerordentliche Spezifität der verschiedenen Bt-Proteine. Von Kritikern der Bt-Technologie wird häufig angeführt, dass in den gentechnisch veränderten Pflanzen bereits die aktivierten Formen der Bt-Proteine gebildet werden. Und das somit, da die ersten Schritte der Wechselwirkungen zwischen Protein und Organismus übersprungen werden, die Wirkbreite der Proteine erhöht sei. Dabei wird übersehen, dass es letztlich nur auf die Reaktion der Proteine mit spezifischen Rezeptoren in der Darmwand ankommt. Sind diese Rezeptoren nicht vorhanden, kann es auch nicht zu einer Giftwirkung kommen.

### Kommerzialisierte Bt-Pflanzen und Spritzmitteleinsatz

Die ersten Kulturpflanzen, die mit Genen aus *B. thuringiensis* verändert wurden, waren Baumwolle und Mais. In beiden haben Landwirte mit Schmetterlingsraupen als gravierenden Schädlingen zu kämpfen. Das Spritzen von Insektiziden ist in beiden Kulturen technisch aufwändig. Ein besonderes Problem stellt zudem dar, dass die Larven der Schmetterlinge sich in die Pflanzen selbst einfressen, und damit durch von außen aufgebrachte Insektizide nicht bekämpft werden können.

Mittlerweile sind neben Baumwolle und Mais auch verschiedene Bt-Kartoffeln und eine Bt-Tomate hinzugekommen. In Europa dürfen allerdings nur Bt-Maissorten auf Basis von MON810 angebaut werden.

Die Bt-Pflanzen schützen sich also durch die Bildung eines Inhaltsstoffes, der auf bestimmte Fraßschädlinge giftig wirkt, selbst; im Idealfall ohne dass der Mensch zusätzliche Maßnahmen ergreifen muss. Dies trifft aber nicht bei allen angebauten Bt-Kul-

turpflanzen zu. Während Bt-Mais MON810 eine fast 100%ige Kontrolle des Maiszünslers gewährleistet, ist die Kontrolle der diversen schädlichen Schmetterlinge in Bt-Baumwolle bei weitem nicht so hoch. Dies liegt daran, dass nicht alle Schädlinge gleich sensibel auf die in den Pflanzen gebildeten Cry-Proteine reagieren. Häufig reicht die Konzentration, die man in den verschiedenen Pflanzengewebe vorfindet, dann nicht aus, um ein hohes Maß an Schädlingskontrolle zu gewährleisten. In diesen Fällen sind dann weitere Kontrollmaßnahmen, zum Beispiel weiterhin das Spritzen von Insektiziden, von Nöten. Dies ist natürlich auch dann der Fall, wenn auch gegen Schädlinge vorgegangen werden muss, gegen die die Bt-Pflanze gar nicht resistent ist. Ein Beispiel wäre ein schädlicher Käfer in einer Bt-Kultur mit Resistenz gegenüber Schmetterlingen. Dieser Umstand führt dann mitunter dazu, dass nicht in allen Bt-Kulturen und auch nicht in allen Anbaugebieten eine Reduktion des Spritzmitteleinsatzes stattgefunden hat. Auch dies wird häufig als Kritikpunkt angeführt, übersieht aber einfach, dass die Bt-Technologie Resistenzen gegen einzelne Schädlinge vermittelt, diese nicht gegenüber allen Schädlingen gleich gut funktioniert, und dass es darüber hinaus natürlich Schädlinge gibt, gegen die die jeweilige Bt-Pflanze gar nicht resistent ist.

### Wirkung auf geschützte oder bedrohte Schmetterlingsarten in Naturräumen

Durch Bescheid des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit wurde der Anbau von MON810 im April dieses Jahres vorübergehend verboten. Es wurde eine Reihe von Studien angeführt, die die Möglichkeit von Risiken für Nichtziel-Organismen, darunter Schmetterlinge, Marienkäfer und auch Wasserorganismen, belegen sollen. Im folgenden soll auf die mögliche Wirkung auf Nichtziel-Schmetterlinge eingegangen werden.

Das im MON810 gebildete Cry1Ab-Protein wirkt spezifisch auf Schmetterlinge. Daher ist es prinzipiell möglich, dass neben den eigentlich anvisierten Arten auch andere Schmetterlinge beeinträchtigt werden könnten. Ob es dazu kommt, hängt von einer ganzen Reihe von Faktoren ab.

Das Risiko für einen Organismen leitet sich im wesentlichen von zwei Parametern ab, der Exposition gegenüber einem Giftstoff und der Stärke der Auswirkung, die der Giftstoff auf den Organismus ausübt.

Die Exposition hängt für Nichtziel-Schmetterlinge wieder von einer Reihe von Faktoren ab. Nahezu alle Nichtziel-Schmetterlinge

## Arbeitsmaterial

## Modul 3 Lebenssystem Pflanze



Schadbilder des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*) in Maispflanzen. Die Larven fressen sich durch die Stängel der Pflanzen (links). Dadurch werden die Pflanzen instabil und brechen ab, wie auf diesem Feld in Thüringen (rechts). Die Verletzungen an den Kolben können zum Befall mit Schimmelpilzen führen und die Qualität des Ernteguts massiv beeinträchtigen (Mitte, Fotos: [www.transgen.de](http://www.transgen.de)).

können nur über den auf ihren Futterpflanzen abgelagerten Maispollen in Kontakt mit den Bt-Proteinen kommen, da sie nicht direkt an Mais fressen. Das heißt, es müssen empfindliche Larvenstadien genau dann auftreten, wenn der Mais Pollen schüttet. Der Pollen von Mais ist schwer und wird nur geringfügig über längere Distanzen verfrachtet. Damit auf den Futterpflanzen merkliche Pollenmengen deponiert werden, müssen diese zudem in unmittelbarer Nähe zu den Maisfeldern vorkommen. Es muss also zunächst einmal eine räumlich-zeitliche Koinzidenz zwischen Maisblüte, Futterpflanze und Larvenstadien der Schmetterlinge geben, damit überhaupt eine Exposition angenommen werden kann.

Die Stärke der Auswirkung des Giftstoffes auf den Nichtziel-Organismus ist der zweite Parameter, der entscheidend zur Größe des Risikos beiträgt. Hier ist zum einen von Bedeutung, wie eine bestimmte Giftmenge auf ein einzelnes Individuum wirkt. Es können dabei letale oder auch subletale Effekte auftreten. Zum anderen ist wichtig, wie stark sich der Effekt über einzelne betroffene Individuen auf die Population im Agrarraum oder den Gesamtbestand auswirkt. Hier stellt sich die Frage, wie groß der Anteil der möglicherweise gefährdeten Population ist, und inwieweit ein Effekt durch die Bt-Proteine eine neben den natürlichen Mortalitätsfaktoren bedeutende Quelle zusätzlicher Einflüsse ist.

Eine solch umfassende Risiko-Abschätzung wurde bereits im Jahr 2001 für den Monarchfalter in den Vereinigten Staaten von Amerika durchgeführt und publiziert (Sears *et al.*, 2001). Hierbei wurden zwei Bt-Maissorten betrachtet, nämlich Bt176, der nicht mehr auf dem Markt ist, und MON810. Es zeigte sich, dass die Auswirkungen von MON810 auf die gesamte Population des Monarchfalters verschwindend gering sind. Dies liegt vor allem daran, dass sich nur geringe Spuren des Cry1Ab-Proteins im Pollen von MON810 finden, und deswegen selbst Pollenmengen von 1.000 Körnern je Quadratmeter Oberfläche der Futterpflanze nicht ausreichen, um eine Beeinträchtigung der Larven oder gar eine Mortalität zu verursachen (Hellmich *et al.*, 2001). Solch hohe Pollendeckungen werden aber allenfalls direkt im oder am Maisfeld selbst erreicht, nicht aber in der weiteren Umgebung des Maisfeldes, und erst recht nicht in größeren Entfernungen. Dies wurde auch durch Messungen des Pollenflusses im FFH Gebiet „Ruhlsdorfer Bruch“ bestätigt, wo im Abstand von 5 Metern zu einem Maisfeld bis zu 175 und im Abstand von 120 Metern noch 10 Pollenkör-

ner je Quadratmeter gefunden werden konnten (LUA, 2008).

Über die Empfindlichkeit der vielen Schmetterlingsarten gegenüber Cry1Ab gibt es nur wenige Daten. Letztlich lassen sich natürlich nicht alle Arten testen. Das Bundesnaturschutzgesetz verbietet darüber hinaus die Testung mit besonders geschützten Arten. Für diese Fälle lässt sich nur von den besten vorhandenen Daten ausgehen, also von den bislang als empfindlichsten erkannten Arten. Das ist im Falle des Cry1Ab die Kohlmotte *Plutella xylostella*, für die Felke und Langenbruch (2005) zeigen konnten, dass einzelne bis wenige Pollenkörner der Maissorte Bt176 ausreichen, um deutliche Beeinträchtigungen hervorzurufen. Für Pollen von MON810 fanden sie dahingegen, dass (rechnerisch) 571 Pollenkörner pro Quadratmeter zu keinerlei Beeinträchtigungen führen. In einem Feldversuch zeigten zudem Gathmann *et al.* (2006), dass die Kohlmotte auch dann nicht beeinträchtigt ist, wenn sich ihre Larven auf Futterpflanzen direkt neben MON810-Beständen entwickeln. Hier wurden Pollendeckungen von mehr als 600 Körnern je Quadratmeter dokumentiert.

Zusammenfassend erscheint eine Beeinträchtigung von Schmetterlingspopulationen in der Agrarlandschaft durch MON810 als äusserst unwahrscheinlich.

### Ausblick

In Zukunft werden vermehrt gentechnisch veränderte Pflanzen auf den Markt kommen, die mehrere Resistenzmerkmale in sich vereinen. Derzeit werden beispielsweise in den Vereinigten Staaten Sorten auf den Markt gebracht, die resistent sind gegen den Maiszünslers *O. nubilalis* und gegen den Westlichen Maiswurzelbohrer *Diabrotica virgifera virgifera*. Letzterer ist ein aus Mittelamerika stammender Käfer, der ein bedeutender Schädling im Mais ist und sich seit den 90er Jahren stark in Europa ausbreitet.

In zunehmendem Maße werden nun auch in einzelnen Bt-Sorten mehrere verschiedene Bt-Proteine kombiniert, die sich gegen denselben Schädling richten. Oder es werden modifizierte Cry-Proteine genutzt, die stärker gegen bestimmte Schadorganismen wirken sollen.

Alle diese Sorten müssen auf ihre Umweltverträglichkeit im Vorfeld ihrer Zulassung geprüft werden. Die Erkenntnisse, die wir bislang an gentechnisch veränderten Pflanzen gewonnen haben, sind hierbei von großem Nutzen. Dies bedeutet aber keineswegs,

# Arbeitsmaterial

# Modul 3 Lebenssystem Pflanze

dass damit das Urteil „unbedenklich“ für diese zukünftigen Sorten schon gefällt wäre. Vielmehr wissen wir jetzt, worauf geachtet werden muss, wie man wissenschaftlich an die sich auftuenden Fragen herangeht, und wie man mit restlichen Unsicherheiten umgehen kann. Somit bleiben, trotz vieler grundlegender Erkenntnisse, noch Fragen offen, die auch in Zukunft durch unabhängige Biosicherheitsforschung beantwortet werden müssen.

### Referenzen

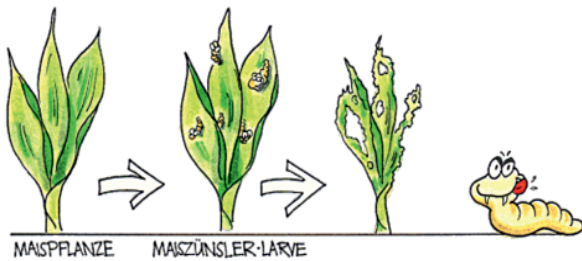
Gathmann A et al. (2006) Impact of Bt maize pollen (MON810) on lepidopteran larvae living on accompanying weeds Mol Ecol 15:2677-2685 • Felke, M. & Langenbruch, G.A. (2005) Auswirkungen des Pollens von transgenem Bt-Mais auf ausgewählte Schmetterlingslarven. BfN-Skripten 157 www.bfn.de/fileadmin/MDb/documents/skript157.pdf • Hellmich RL et al. (2001) Monarch larvae sensitivity to Bacillus thuringiensis purified proteins and pollen. PNAS 98: 11925-11930 • LUA (2008) Fachbeiträge des Landesumweltamtes, Titelreihe, Heft-Nr. 109, Durchführung eines Pollenmonitorings von Mais im Naturschutzgebiet Ruhlsdorfer Bruch 2007 – Umweltbeobachtung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen – www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2320/fb\_109.pdf • Sears MK et al. (2001) Impact of Bt corn pollen on monarch butterfly populations: A risk assessment. PNAS 98: 11937-11942

### Kontakt

Dr. Stefan Rauschen  
 Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen  
 E-Mail: rauschen@bio3.rwth-aachen.de

## Arbeitsaufträge

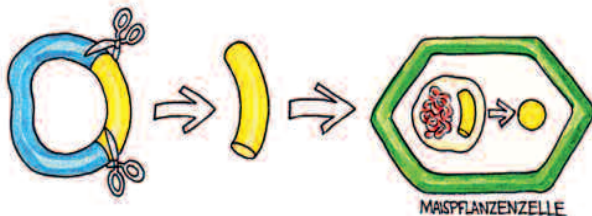
1. Welche Spezifität ermöglicht den Einsatz der Sporen von *Bacillus thuringiensis* in der Landwirtschaft? Erläutern Sie in diesem Zusammenhang warum Genaustausch im Allgemeinen überhaupt möglich ist.
2. Charakterisieren Sie das Cry- Protein.
3. Erläutern Sie die Wirkungsweise von Bt- Proteinen. Erstellen Sie ein Fließschema zur besseren Veranschaulichung der Abläufe.
4. Erklären Sie mit Hilfe ihrer angefertigten Stichpunkte die Bedeutung von Bt- Pflanzen.
5. Wiederholen Sie in diesem Zusammenhang die Metamorphose der Schmetterling.
6. Widerlegen Sie begründet die Bedenken der MON810 Gegner. Beziehen Sie in ihre Darlegungen auch das Experiment aus den USA mit ein.



1. Der Maiszünsler (*Ostrinia nubalis*) zerstört jährlich 7% des weltweiten Maisanbaus.



2. Das Bakterium *Bacillus thuringiensis* (Bt) bildet das Cry1Ab Protein, dass auf den Maiszünsler tödlich wirkt.



3. Das cry1Ab-Gen wurde aus dem Bakterium isoliert und in das Maisgenom eingebaut.



4. Die Maispflanze kann sich nun "selbst" gegen den Maiszünsler schützen.

Quelle: www.gensuisse.ch