

Bt-Mais: Eine Pflanze schützt sich selbst

Fakten und Erfahrungen

Patrica Ahl Goy

Etwa 7% der weltweiten Maisproduktion werden jedes Jahr durch Zünslerlarven vernichtet. Die traditionelle Züchtung sowie herkömmliche Bekämpfungsmittel (chemische Insektizide, biologische Präparate) sind unzureichend, um die Schäden dieses Insekts zu beheben. Die Gentechnologie bietet jetzt den Landwirten eine neuartige Bekämpfungsmöglichkeit: eine Pflanze anzubauen, die sich selbst schützt. Die Bt-Maispflanze wurde gentechnisch derart verändert, daß sie das Bt-Eiweiß des Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis* produziert. Dieses Eiweiß wirkt toxisch auf die Zünslerlarven.

1992 wurden die ersten Bt-Maispflanzen im Feld geprüft und 1996 erstmals in den USA kommerziell angebaut. Die Kommerzialisierung erfolgte nach einer ausführlichen Sicherheitsevaluierung, deren Schlußfolgerung lautete: „*Bt-Mais ist so sicher wie herkömmlicher Mais*“. Heute wird Bt-Mais (verschiedene „transformation events“) vor allem in den USA, in Kanada und in Argentinien angebaut. In der Europäischen Union herrscht seit 1998 ein *de facto* Moratorium für die Bewilligung von GVO-Pflanzen. Dadurch sind wenig Bt-Maissorten als Saatgut im Verkauf erhältlich. Die kumulativ angebaute Fläche seit 1996 beträgt weltweit ca. 36,3 Mio. ha, was der Gesamtfläche Deutschlands entspricht. In Europa wurden seit 1998 jährlich ca. 20.000 ha Bt-Mais vor allem in Spanien angebaut. Welche praktische Erfahrung wurde mit dem kommerziellen Anbau gewonnen? Wie betrachtet der Landwirt Bt-Mais? Ist die Schlußfolgerung der Sicherheitsbewertung durch den weitflächigen Anbau bestätigt worden? Vorhandene Daten und deren Bedeutung werden hier kurz diskutiert.

Bt-Mais und der Landwirt

Der in den USA seit sechs Jahren praktizierte Anbau ist aus unserer Sicht der beste Beweis für den Wert des Bt-Mais. Warum würde sonst der amerikanische Landwirt Jahr für Jahr wieder Bt-Mais kaufen? Ein Vergleich zwischen Bt-Mais und konventionellem Mais in den USA zeigt eine Mehrproduktion von Bt-Mais zwischen 1,37 und 1,66 Mio. Tonnen pro Jahr, je nach Schädlingsdruck (Abb. 1). Der finanzielle Vorteil für den Landwirt hängt auch vom Schädlingsdruck ab: die Mehrkosten für den Ankauf von Bt-Maissaatgut werden durch den Mehrertrag in den Jahren mit starkem Maiszünslerbefall weitgehend kompensiert, in den Jahren mit geringem Befall dage-



gen nicht. Der amerikanische Landwirt betrachtet den Kauf von Bt-Mais Saatgut als eine „Versicherung“ gegen eine mögliche Ertragsminderung durch Maiszünslerlarven[8]. In Spanien gibt es noch keine statistisch relevanten Daten vom kommerziellen Anbau. Daten von Studien zeigen einen durchschnittlichen Mehrertrag von 0,9 bis 2,5 t/ha in Spanien (Syngenta Seeds Daten) und von 1,1 bis 1,5 t/ha in Deutschland [29], je nach Jahr.

Bt-Mais und die Umwelt

Mögliche Auswirkungen auf Nicht-Zielinsekten sowie Resistenzentwicklung bei den Zielinsekten gehören zu den Hauptfragen, die während der für die Zulassung notwendigen Sicherheitsbewertung von Bt-Mais untersucht werden. Seit der Zulassung wurden weitere Studien zum Thema „Nicht-Zielinsekten“ durchgeführt, und ein Insekt-Resistenz Management Programm begleitet den Anbau vom Bt-Mais.

Nicht-Zielinsekten (außer Lepidopteren)

Das im Bt-Mais zugefügte Bt-Eiweiß wirkt spezifisch auf Lepidopteren¹. Labor- und Feldstudien für die Zulassung haben alle keine negative

Abb. 1
Maisfeld

Land	Untersuchte Insekten	Bemerkung	Referenz
Frankreich	Thrips, Blumenwanze, Florfliege Marienkäfer, Schmarotzerfliege	1998, 1999, 2000	Französisches Comité de Biovigilance [21]
	Insektpopulationen im Mais	15 ha, 1998	Candolfi <i>et al.</i> , 2000 [7]
Spanien	Blumenwanze, Spinnen, Laufkäfer	5 ha, 2000-2002	Farinos <i>et al.</i> , 2001 [14]
Italien	Insektenpopulationen im Mais	10 ha, 1996-1997	Lozzia <i>et al.</i> , 1998 [27]
	Insektenpopulationen im Mais, insbesondere Laufkäfer	10 ha, 1997-1998	Lozzia, 1999 ²⁸
US	Prädatoren		Head, 2000 ²³
	Blumenwanze, Florfliege, Marienkäfer, Parasiten	2.4 ha, 1994	Orr & Landis, 1997 [33]
	Blumenwanze, Florfliege, Marienkäfer	Kleinparzelle, 1994	Pilcher <i>et al.</i> , 1997 [35]
Deutschland	Honigbiene	Zeltversuch, 1999	Schur <i>et al.</i> , 2000 [42]

Tab. 1
Feldstudien mit
Bt-Mais (ohne Studien für die Registrierung)

Auswirkungen auf die Populationen von Nicht-Zielinsekten unter natürlichen Feldbedingungen gezeigt. Nach der Zulassung verschiedener Bt-Maissorten sind zahlreiche großflächige Studien durchgeführt worden, die dies bestätigt haben. Neben Bestimmungen der ganzen Insektenpopulation im Bt-Mais wurden spezifisch Prädatoren, Parasiten, Herbivoren, Spinnen, Laufkäfer und Bienen untersucht. Tabelle 1 enthält veröffentlichte Feldstudien. Weitere Untersuchungen laufen noch in mehreren Ländern, unter anderem in Spanien, Frankreich, Deutschland und in den USA.

Nicht-Zielinsekten: Lepidopteren

1999 wurde weltweit über einen Laborversuch berichtet, der eine toxische Wirkung des Bt-Maispollens auf Monarchfalter gezeigt hatte [26]. Monarchfalter gehören wie der Maiszünsler zu den Lepidopteren. Demzufolge verlangte die EPA (Zulassungsbehörde für „pestizide Pflanzen“ in den USA) zusätzliche Daten. Da aber kein Akutrisiko für den Monarchfalter identifiziert wurde, konnte Bt-Mais in der Zwischenzeit weiter angebaut werden. Die Ergebnisse des ausgiebigen Monarchfalter-Forschungsprogramms sind kürzlich veröffentlicht worden. Daten über die Verbreitung des Maispollens, das Habitat und das Verhalten des Monarchfalters wurden gesammelt [24, 32, 36, 44, 49]. Die Falteraussetzung zum Bt-Maispollen wurde simuliert. Die allgemeine Schlußfolgerung lautet: „Die zweijährige Studie deutet darauf hin, daß der Pollen der heute angebauten Bt-Mais Sorten einen vernachlässigbaren Einfluß auf Monarchfalter hat“ [43]. Weitere Laborstudien mit Bt-Maispollen und Lepidopteren sind veröffentlicht worden [17,

48], die aber wie die Losey-Studie den schlimmsten Fall, d.h. von realen Feldbedingungen entfernte Szenarien darstellen.

Insekt-Resistenz Management

Die Möglichkeit, daß der Maiszünsler Resistenz gegen das Bt-Eiweiß entwickeln könnte, wurde bereits in der Risikobeurteilung gesehen. Resistente Insekten würden kein „Umweltrisiko“ darstellen, würden aber die Anwendung des Bt-Mais in den betroffenen Gebieten momentan verhindern. Um dem Auftreten von resistenten Insekten entgegenzuwirken, wird der kommerzielle Anbau von Bt-Mais von einem Insekten-Resistenz Management Programm (IRM) begleitet. Dieses Programm beinhaltet den Anbau von konventionellem Mais auf einer Fläche von mindestens 20%², damit Refugien für den Erhalt einer nicht unter Selektionsdruck stehenden Insektenpopulation zur Verfügung stehen. Ein regelmäßiges Monitoring der Insektenempfindlichkeit zum Bt-Eiweiß ist auch im IRM inbegriffen. Bis jetzt sind weder in den USA noch in Frankreich und Spanien Bt-resistente Insekten im Feld nachgewiesen worden [12, 21, 45].

Verminderung des Insektizideinsatzes

Je nach Gebiet werden Insektizide zur Bekämpfung des Maiszünslers angewendet. Diese Kontrollmethode hat aber ihre Grenzen, da die Raupen sich sehr schnell einen Weg in die Pflanzenstengel bohren und dadurch durch äußere Mittel nicht mehr zu erreichen sind. Der Anbau von Bt-Mais in den Gebieten, in denen traditionell gespritzt wird, führt zu einer Verminderung des Insektizideinsatzes. In den USA wird geschätzt,

Tiere	Referenz
Milchkühe	Faust & Miller, 1997 [15]; Rutzmoser <i>et al.</i> , 1999 [41]; Faust, 2000 [16]; Barrière <i>et al.</i> , 2001 [3]; Folmer <i>et al.</i> , 2000a [19]
Mastrind/Mastkühe	Daenicke <i>et al.</i> , 1999a [10]; Folmer <i>et al.</i> , 2000b [20]; Hendrix <i>et al.</i> , 2000 [25]; Russell <i>et al.</i> , 2000a [38], 2000b [39] & 2001 [40]
Hammel	Daenicke <i>et al.</i> , 1999b [11]; Barrière <i>et al.</i> , 2001 [3]
Schweine	Weber <i>et al.</i> , 2000 [47]; Aulrich <i>et al.</i> , 2001 [2]; Reuter <i>et al.</i> , 2001 [37]
Legehühner	Aulrich <i>et al.</i> , 1999 [1]
Broiler	Brake & Vlachos, 1998 [5]; Halle <i>et al.</i> , 1999 [22]; Mireles <i>et al.</i> , 2000 [30]

Tab. 2
Fütterungsstudien
mit Bt-Mais

daß ca. 400.000 ha durch die Einführung des Bt-Maises nicht mehr gespritzt werden müssen, was zu einer reduzierten Umweltbelastung führt [8]. Mehrere der in der Tab. 1 aufgelisteten Studien zeigen auch den Vorteil des Bt-Maisanbaus für Nicht-Zielinsekten und zwar durch die hohe Spezifität des Bt-Eiweißes, verglichen mit der Anwendung weniger spezifischer chemischer Insektizide.

Bt-Mais und der Einsatz als Futtermittel

Rund 80% der Maisernte werden als Futtermittel verwendet. Toxikologische Untersuchungen haben die Unbedenklichkeit des Bt-Eiweißes für Wirbeltiere untermauert [4]. Keine der verschiedenen auf dem Markt erhältlichen Bt-Mais-Sorten zeigte unerwartete Auswirkungen, welche auf die Integration des fremden Gens im Pflanzen genom zurückzuführen wären. Dennoch wurden zahlreiche Fütterungsstudien durchgeführt. Verschiedene Parameter wurden gemessen, wie zum Beispiel die Milchproduktion und Milchqualität bei Kühen, die Verdaulichkeit und Mastleistung bei Rindern, die Eierproduktion bei Hühnern, und allgemein die Tiergesundheit. Tiere, die mit Bt-Mais oder mit konventionellem Mais gefüttert wurden, entwickelten sich ähnlich und erbrachten die gleiche Leistung und die gleiche Produktqualität. Tab. 2 enthält veröffentlich-

te Studien, weitere Informationen sind in den Übersichtsartikeln von Flachowsky & Aulrich, 2001 [18] und Clark & Ipharraguerre, 2001 [9] zu finden.

Die von Maiszünslern befallenen Kolben sind oft vermehrt mit Pilzen infiziert, insbesondere mit *Fusarium*. Dieser Pilz produziert verschiedene, gesundheitsschädliche Mykotoxine. Mehrere Studien sind durchgeführt worden, um den Grad der Mykotoxinkontamination in Bt-Maiskolben zu bestimmen. Insgesamt zeigen diese Studien eine verminderte Mykotoxinkontamination im Bt-Mais, verglichen mit konventionellem Mais (Abb. 2, Tab. 3). Je stärker der Pilzbefall ist, umso mehr kommt die Wirkung von Bt-Mais zum Ausdruck. Bt-Mais trägt also mit dazu bei, die Qualität und Sicherheit des Erntegutes zu bewahren.

Schlußfolgerung

Die Erfahrung und die Daten, die man durch den großflächigen Anbau von Bt-Mais gewinnen konnte, haben sämtlich die Schlußfolgerungen der ursprünglichen Sicherheitsbewertung bestätigt. Beobachtungen und Daten deuten sogar darauf hin, daß der Anbau von Bt-Mais für den Landwirt, für die Umwelt und für die Tiere Nutzen mit sich bringt. Die öffentliche Debatte über GVOs findet aber weiter fast ausschließlich über die „potentiellen Risiken“ statt. Die Zeit ist reif,

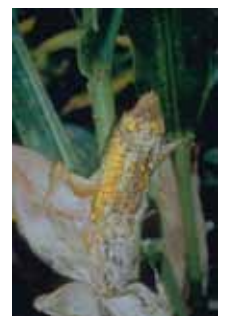


Abb. 2
Maiskolben, unten
mit Maiszünsler- und
Pilzbefall, oben
durch die Bt-Technologie geschützt

	Mykotoxingehalt in Maiskörnern*:				Referenz
	Fumonisin B	Deoxynivalenol	Nivalenol	Zearalenone	
USA	Bt < K	nn	nn	nn	Munkvold <i>et al.</i> , 1999 [31]; Dowd, 2000 [13]
Deutschland	nn	Bt < K	nn	Bt < K	Valenta <i>et al.</i> , 2001 [46]
Italien	Bt < K	Bt = K	nn	Bt = K	Pietri & Piva, 2000 [34]
Frankreich	Bt < K	Bt = K	Bt = K	Bt < K	Cahagnier & Melcion 2000 [6]
Spanien	Bt < K	Bt < K	Bt < K	Bt < K	Cahagnier & Melcion 2000 [6]

*Bt<K bedeutet weniger Mykotoxin in Bt-Mais als im konventionellen Mais; Bt=K: ähnlicher Mykotoxingehalt in beiden Maistypen; nn = nicht nachgewiesen

Tab. 3
Mykotoxingehalt in
Bt-Mais, verglichen
mit konventionellem
Mais

weniger emotional über Risikoszzenarien zu sprechen und die Ergebnisse der praktischen Erfahrung stärker in Betracht zu ziehen.

Anschrift der Verfasserin:

Dr. Patricia Ahl Goy
Manager Seeds Regulatory Affairs
Syngenta Seeds AG
Schwarzwaldallee 215
4002 Basel
Schweiz

Anmerkungen

- ¹ Verschiedene Lepidopteren weisen eine sehr unterschiedliche Empfindlichkeit gegen Bt-Eiweiß auf, das im Bt-Mais eingeführt worden ist (CryIAb-Protein).
- ² Die genaue Fläche hängt von der Anwesenheit anderer Bt-Pflanzen, z.B. Bt-Baumwolle, im selben Gebiet ab.

Literatur

- (1) Aulrich K., Halle I. & Flachowsky G. 1999. *VDLUFA – Schriftenreihe*, 49: 465-468.
- (2) Aulrich K., Böhme H., Daenicke R., Halle I. & Flachowsky G. 2001. *Arch. Anim. Nutr.* 54 (in press).
- (3) Barrière Y., Verité R., Brunshwig P., Surault F. & Emile J.C. 2001. *J. Dairy Science* 84: 1863-1971.
- (4) Betz F.S., Hammond B.G. & Fuchs R. 2000. *Regulatory Toxicol. Pharmacol.* 32:156-173.
- (5) Brake J. & Vlachos D. 1998. *Poultry Science* 77: 648-653.
- (6) Cahagnier B. & Melcion D. 2000. *Proc. 6th Int. Feed Production Conf.*, Piacenza (IT), Nov. 27-28, 2000. pp. 237-249.
- (7) Candolfi M., Ahl Goy P., Reber B. & Brown K. 2000. ESF/AIGM workshop, Bern (CH), Sept. 29-30, 2000.
- (8) Carpenter J.E. & Gianessi L.P. 2001. <http://www.ncfap.org/pup/biotech/updatedbenefits.pdf>
- (9) Clark J.H. & Ipharraguerre I.R. 2001. *J. Dairy Science* 84 (E. Suppl.): E9-E18.
- (10) Daenicke R., Gädeken D. & Aulrich K. 1999a. *Proc. 12. Maiskolloquium*, 27/28 March 1999, Wittenberg, pp. 40-42.
- (11) Daenicke R., Aulrich K. & Flachowsky G. 1999b. *Mais* 27, 135-137.
- (12) De la Poza M., Farinos G.P., Hernandez-Crespo P., Ortego F. & Castanera P. 2001. XXI IWGO Konferenz, Legnaro (IT), Oct. 27-Nov. 3, 2001.
- (13) Dowd P. 2000. *J. Econ. Entomol.* 93: 1669-1679.
- (14) Farinos G.P., De la Poza M., Hernandez-Crespo P., Ortego F. & Castanera P. 2001. XXI IWGO Konferenz, Legnaro (IT), Oct. 27-Nov. 3, 2001.
- (15) Faust M. & Miller L. 1997. *Integrated Crop Management* IC-478, pp. 6-7.
- (16) Faust M.A., 2000. *Proc. Symp. Agri. Biotech. Market.* ADAS-ASAS. Baltimore, (USA) July 2000.
- (17) Felke M. & Langenbruch G.A. 2001. *Gesunde Pflanzen* 53(1): 24-28
- (18) Flachowsky G. & Aulrich K. 2001. *J. Anim. Feed. Sci.* 10 (Suppl.): 181-184.
- (19) Folmer J.D., Grant R.J., Milton C.T. & Beck J. 2000a. *J. Dairy Science* 83: 1182.
- (20) Folmer J.D., Erickson C.E., Milton C.T., Klopfenstein T.J. & Beck J. 2000b. *J. Anim. Sci.* 78 (Suppl) 2): 85 .
- (21) Französisches *Comité de biovigilance*, <http://www.agriculture.gouv.fr/alim/ogm/disp/bil01-somm.html>
- (22) Halle I., Aulrich K. & Flachowsky G. 1999. *Proceedings of the 5. Tagung Schweine und Geflügelernährung*, Wittenberg, 1-3 Dec. 1998, pp. 265 -271.
- (23) Head G. 2000. ESF/AIGM workshop, Bern (CH), Sept. 29-30, 2000.
- (24) Hellmich R.L., Siegfried B.D., Sears M.K., Stanley-Horn D.E., Daniels M., Mattila H.R., Spencer T., Bidne K.G. & Lewis L.C. 2001. *PNAS* 98 (21) 11925 - 11930.
- (25) Hendrix K.S., Petty A.T. & Lotgreen D.L. 2000. *J. Anim. Sci.* 78, Suppl. 1, 273.
- (26) Losey J.E., Raynor L.S. & Carter M.E. 1999. *Nature* 399: 214.
- (27) Lozzia C., Rigamonti I. & Agosti M. 1998. *ATTI Giorn. Fitopat.* 1998: 223-228.
- (28) Lozzia C. 1999. *Boll. Zool. Agr. Bachic. Ser II*, 31: 37-58.
- (29) Maag T., Melchinger A.E., Klein D. & Bohn M. 2001. *Plant Breeding* 120: 397-403.
- (30) Mireles A.Jr., Kim S., Thompson R. & Amudsen B. 2000. *Poultry Science* 79, Suppl. 1, 65.
- (31) Munkvold G.P., Hellmich R.L. & Rice L.G. 1999. *Plant Dis.* 83: 130-138.
- (32) Oberhauser K.S., Prysby M.D., Mattila H.R., Stanley-Horn D.E., Sears M.K., Dively G.P., Olsen E., Pleasants J.M., Lam W.F. & Hellmich R.L. 2001. *PNAS* 98 (21): 11913-11918.
- (33) Orr D.B. & Landis D.A. 1997. *J. Econ. Entomol.* 90: 905-909.
- (34) Pietri A. & Piva G. 2000. *Proceedings of the 6th International Feed Production Conference*, Piacenza (IT), Nov. 27-28, 2000. pp. 226-235.
- (35) Pilcher C.D., Obrycki J.J., Rice M.E. & Lewis L.C. 1997. *Environ. Entomol.* 26: 446-454.
- (36) Pleasants J.M., Hellmich R.L., Dively G.P., Sears M.K., Stanley-Horn D.E., Mattila H.R., Foster J.E., Clark P. & Jones G.D. 2001. *PNAS* 98 (21): 11919-11924.
- (37) Reuter T., Aulrich K., Berk A. & Flachowsky G. 2001. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 10: 111.
- (38) Russell J.R., Hersom M.J., Pugh A., Barrett P.K. & Farnham D. 2000a. *J. Animal Science* 78 (Supl. 2): 79-80 (Abstract No 244).
- (39) Russell J.R., Farnham D., Berryman R.K., Hersom M.J., Pugh A. & Barrett P.K. 2000b. *Beef Research Report - Iowa State University*, A.S. Leaflet R1723: 56-61.
- (40) Russell J.R., Hersom M.J., Haan M.M., Kruse M.L. & Morrill D.G. 2001. Midwest Section ASAS and Midwest Branch ADSA Meeting, Des Moines, IA, USA. (Abstract No 300).
- (41) Rutzmoser K., Mayer J. & Obermayer A. 1999. *Schriftenreihe des Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau* (ISSN 1433-3155) No 4/99: 25 - 34.
- (42) Schur A., Tornier I. & Neumann C. 2000. 47. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft der Institute für Bienenforschung, Balubeuren bei Ulm, April 3-5, 2000.
- (43) Sears M.K., Hellmich R.L., Stanley-Horn D.E., Oberhauser K.S., Pleasants J.M., Mattila H.R., Siegfried B.D. & Dively G.P. 2001. *PNAS* 98: 11937-11942.
- (44) Stanley-Horn D.E., Dively G.P., Hellmich R.L., Mattila H.R., Sears M.K., Rose R., Jesse L.C.H., Losey J.E., Obrycki J.J. & Lewis L. 2001. *PNAS* 98 (21) 11931-11936.
- (45) US EPA, 2001. http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/otherdocs/bt_reassess/1-Overview.pdf
- (46) Valenta H., Dänicke S., Flachowsky G. & Böhme T. 2001. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 10: 182.
- (47) Weber T.E., Richert B.T., Kendall D.C., Bowers K.A. & Herr C.T. 2000. Purdue 2000 Swine Day Report.
- (48) Wraight C.L., Zangerl A.R., Carroll M.J. & Berenbaum M.R. 2000. *PNAS* 97: 7700-7703.
- (49) Zangerl A.R., McKenna D., Wraight C.L., Carroll M., Ficarello P., Warner R. & Berenbaum M.R. 2001. *PNAS* 98 (21): 11908-11912.