

Evaluierung eines Hohenheimer Zuchtprogramms zur Verbesserung wichtiger agronomischer Eigenschaften sowie der Maiszünslerresistenz im frühreifen europäischen Dentmaterial

T. MAGG, A. E. MELCHINGER, D. KLEIN und M. BOHN

1. Einleitung

Der europäische Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis* Hb., ECB) ist einer der wichtigsten Schädlinge im europäischen Maisanbau. Durch die Ausbreitung des ECB sind neben den ursprünglichen Befallsgebieten in der Rheinebene und in Bayern inzwischen auch nördlichere Maisanbaugebiete wie die Köln-Bonner Bucht und das Oderbruch betroffen (LANGENBRUCH and SZEWCZYK 1995). Schäden verursacht der ECB durch Bohrfraß der Larven in Stengel und Kolben, welcher die Quantität und die Qualität des Kornertrages deutlich mindern kann. Zum einen können Ertragsseinbußen, wie in Baden-Württemberg (BOHN et al. 1998a, MAGG et al. 2001) und den USA (JARVIS et al. 1984) beobachtet, 30 dt/ha und mehr betragen. Zum anderen kann durch die mechanische Schädigung des Pflanzengewebes das Eindringen von Schwächepilzen, wie z.B. Kolben- und Stengelfäulen (*Fusarium* spp.) und Maisbeulenbrand (*Ustilago maydis*) begünstigt werden (JARVIS et al. 1984, LEW et al. 1991, MUNKVOLD et al. 1999, MAGG et al. 2002). Fusariosen sind zudem in der Lage für Mensch und Tier giftige Mykotoxine zu bilden (IARC 1993).

Der ECB kann mechanisch bekämpft werden durch Mulchen und Unterpflügen der Maisstengel, chemisch mit Pyrethroiden oder Organophosphaten sowie biologisch mit Hilfe von parasitären Schlupfwespen (*Trichogramma evanescens*) (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). Zudem kann die konventionelle Maiszüchtung durch Verbesserung der natürlich vorhandenen quantitativen ECB-Resistenz im Mais helfen, Ertragsverluste zu verringern. Auch die seit 1998 in Deutschland zugelassenen transgenen *Bt*-Maishybriden mit den

Transformationsereignissen „Event 176“ und „Mon810“ (EU-Richtlinie 90/220/EWG) stellen eine weitere Möglichkeit zur Bekämpfung des Schädling dar. Allerdings ist die öffentliche Akzeptanz gegenüber transgenen Pflanzen gering. Deswegen kann eine verbesserte natürliche Resistenz gegen den ECB eine ökonomische und ökologische Alternative zur *Bt*-Resistenz für die Landwirtschaft darstellen.

Im Gegensatz zur Situation in Nordamerika, wo der ECB mit mehreren Generationen vorkommen kann, tritt er in Mitteleuropa nur mit einer Generation pro Jahr auf. Der Zeitpunkt der Infestierung und das Schadbild der ECB-Generation in Mitteleuropa entsprechen weitestgehend dem der 2. ECB-Generation in Nordamerika. Genetische Studien ergaben, daß die Resistenz gegenüber der 2. Larvengeneration quantitativ vererbt wird (RUSSELL et al. 1974, SCHÖN et al. 1993). Als Resistenzursachen wird eine Verstärkung der Zellwand mit zusätzlichen Rohfasern, Zellulose, Lignin und biogenen Silikaten diskutiert (BERGVINSON et al. 1994). Zur Bewertung der ECB-Resistenz wurden Schadensbonituren des Stengels (HUDON und CHIANG 1991), des Blattscheidenfraßes, sowie die Fraßganglänge im Stengel eingeführt (GUTHRIE et al. 1960).

Im Vergleich zum nordamerikanischen Maisgenpool gibt es nur wenige Studien zur Zünslerresistenz im frühreifen europäischen Maiszuchtmaterial (HUDON und CHIANG 1991, SCHULZ et al. 1997, KREPS et al. 1998, MELCHINGER et al. 1998). Voraussetzungen für eine züchterische Verbesserung der Zünslerresistenz sind eine effiziente Methode zur Beurteilung der Resistenz und eine ausreichende genetische Varia-

tion für das Resistenzmerkmal. SCHULZ et al. (1997) und MELCHINGER et al. (1998) fanden bei der Evaluierung einer umfangreichen Stichprobe von 115 europäischen Flint- und Dent-Maisinzuchtlinien eine signifikante genetische Variation für die ECB-Resistenzmerkmale Schadensbonitur des Stengels und relative Fraßganglänge.

KREPS et al. (1998) hat im europäischen Maiszuchtmaterial nachgewiesen, daß eine enge, positive Beziehung zwischen der Linieneigenleistung und der Testkreuzungsleistung bei der ECB-Resistenz besteht. Ergänzend zeigten Diallelstudien welche in US amerikanischem Maiszuchtmaterial durchgeführt wurden, daß für die Zünslerresistenz der 1. und 2. ECB-Generation die allgemeine Kombinationsfähigkeit von größerer Bedeutung ist als die spezifische Kombinationsfähigkeit (THOME et al. 1992, JENNINGS et al. 1974, KIM et al. 1989).

In Hohenheim wurde ein Pedigreezuchtprogramm zur gleichzeitigen Verbesserung wichtiger agronomischer Eigenschaften und der ECB-Resistenz innerhalb des frühreifen europäischen Dentpools durchgeführt. Ziel dieser Studie ist die Beschreibung und eine kritische Bewertung der im Rahmen des Hohenheimer Zuchtprogramms durchgeführten Arbeiten.

2. Material und Methoden

Selektion der Elternlinien

Für eine Linienprüfung wurden 1993 115 frühreife (< FAO 300) europäische Maisinzuchtlinien in zweiortigen Feldprüfungen auf ihre Resistenz gegen den ECB hin untersucht (MELCHINGER et al. 1998). Davon ausgehend wurde 1994 eine zufällige Stichprobe von insgesamt 41 Linien (18 Flint, 23 Dent) wiederholt

Autoren: Dipl.-Ing. Thomas MAGG, A. E. MELCHINGER, D. KLEIN und M. BOHN, Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik, D-70593 STUTTGART



(SCHULZ et al. 1997). Weiterführende Informationen zu den verwendeten Inzuchtlinien geben SCHULZ et al. (1997) und MELCHINGER et al. (1998) (Tabelle 1).

Phase 1: Erstellung der Ausgangsvariation

Basierend auf den Ergebnissen des Elternscreenings (SCHULZ et al. 1997, MELCHINGER et al. 1998) wurden 1994 Dentlinien aufgrund ihrer guten ECB-Resistenz und ihrer agronomischen Eigenschaften selektiert und faktoriell gekreuzt, um Einfach- und Doppelhybriden zu erhalten. Die aus diesen Kreuzungen hervorgegangenen Hybriden wurden zur Erstellung der Ausgangsvariation geselbstet. Zur Erstellung von zwei Rückkreuzungen (BC₁-Kreuzungen) wurde eine ausgewählte Einfachhybride jeweils zu beiden Eltern rückgekreuzt (Tabelle 2).

Phase 2: Erstellung von potentiellen Sorteneltern

Linien: Die Linienentwicklung verlief ab 1994 von der S₀-Generation bis 1998 zur S₆-Generation kontinuierlich. Lediglich in der Wintergeneration von 1995 wurde das Saatgut überlagert (Abbildung 1). Als Zuchtmethode wurde die Pedigreemethode gewählt, wobei in der spaltenden S₁-Generation Einzelpflanzen selektiert und geselbstet wurden. Jede selektierte Einzelpflanze wurde in der folgenden Generation als Reihe im Zuchtgarten angebaut. Innerhalb der Reihen wurden wiederum die besten Einzelpflanzen selektiert und geselbstet.

Testkreuzungen: Um Linien identifizieren zu können welche eine hohe Kombinationsfähigkeit besitzen, wurden se-

Tabelle 1: Boniturnwerte ausgewählter Inzuchtlinien eines von SCHULZ et al. (1997) durchgeführten Screenings

| Linie | Herkunft | BON (1-9) |
|----------------------|-----------------------|-------------------|
| D06 | Universität Hohenheim | 2,7a [†] |
| D61 | Universität Hohenheim | 3,7b |
| D67 | Universität Hohenheim | 3,6c |
| RZ05 | FAP Zürich | 2,6a |
| KW5361 | KWS Saatzeit AG | 2,7a |
| Mittel [‡] | | 3,2 |
| Min-Max [‡] | | 2,3-5,1 |
| LSD 5% [‡] | | 0,71 |

[†] Signifikante ($P < 0,05$) Unterschiede innerhalb der Spalte werden durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

[‡] Werte beziehen sich auf die Grundgesamtheit aller 23 getesteten Linien (SCHULZ et al. 1997).

lektierte Linien jeweils ab der S₂- bis zur S₄-Generation mit Testern aus dem Flintpool angepaart (Abbildung 1). Als Tester wurden hierbei für die S₂-Linien die Flint-Einfachhybride D149×D171 und für die S₃- bzw. S₄-Linien die aktuellen Flintlinien D171 und F012 verwendet. Die entsprechenden Testkreuzungen (TC) wurden im Winterzuchtgarten (Südafrika, Bethlehem) durchgeführt.

Ermittlung von agronomischen Eigenschaften und der ECB-Resistenz in Feldversuchen

ECB-Infestierung: Zur Feststellung der ECB-Resistenz wurden die Pflanzen manuell mit frisch geschlüpften ECB-Larven infestiert, um ein möglichst gleichmäßigen Befall zu simulieren und ein einheitliches Befallsniveau zu schaffen (BOHN et al. 1998b) (Abbildung 1). Die manuelle ECB-Infestierung wurde zur Simulation des natürlichen Befalls mit dem ECB-Flug Ende Juni synchronisiert. Die Gelege für die manuelle ECB-Infestierung wurden von Dr. P. AUPI-NEL, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Le Magneraud, Frankreich geliefert und anschließend in Hohenheim bebrütet. Die frisch geschlüpften Larven wurden mit Maisspindelschrot gemischt und mit Hilfe eines Volumendosierers in die Blattröhre der noch nicht vollständig ausdifferenzierten Pflanzen (MIHM 1983) gegeben, bzw. in späteren Wachstumsstadien auf das 2. oder 3. vollständig differenzierte Blatt appliziert. An drei Terminen wurden in wöchentlichem Abstand je ca. 20 ECB-Larven ausgebracht. Das natürliche Befallsniveau in Trebur war hoch und ausreichend homogen, um zwischen den Genotypen eine ausreichende Differenzierung auch ohne manuelle Infestierung zu erzielen. Die insektizidgeschützten Parzellen wurden mit einer dreimaligen Applikation von Fastac SCÓ gegen ECB geschützt, welche Ende Juni durchgeführt und alle 10 bis 14 Tage wiederholt wurde.

Linienleistung:

Während der Linienentwicklung im Zuchtgarten wurden die Pflanzen in Kurzreihen mit 15 Pflanzen pro Reihe in zwei Wiederholungen angebaut, um agronomische Merkmale zu erheben. Die ECB-Resistenz wurde nur im Sommerzuchtgarten erhoben. Dazu wurden zur Feststellung der Resistenz jeweils

sechs Kernpflanzen einer jeden Reihe manuell mit ECB-Larven infestiert.

Testkreuzungen der S₂- und S₃-Linien:

Die Evaluierung der S₂-TC und der S₃-TC fand zusammen mit TC der beteiligten Elternlinien sowie kommerziellen Hybriden, die für den Anbau in Baden-Württemberg empfohlen wurden, in mehrortigen Feldversuchen statt (Abbildung 1). Die TC-Leistung der S₂-Linien wurde 1996 in zwei Umwelten (Eckartsweiler und Krotzingen), die der S₃-Linien 1997 in drei Umwelten (Eckartsweiler, Krotzingen und Ladenburg) geprüft. Alle Versuchsstandorte befinden sich im oberen Rheingraben, in Südwestdeutschland. Aufgrund des großen Materialumfangs wurden die S₂-TC in zwei getrennten jedoch benachbarten Teilprüfungen evaluiert. Die Parzellen der TC bestanden aus einreihigen Parzellen mit je 4 m Länge und einem Reihenabstand von 0,75 m. Die Pflanzen wurden maschinell ausgesät und von Hand auf 26 Pflanzen pro Reihe (8,7 Pflanzen/m²) vereinzelt.

Testkreuzungen der S₄-Linien:

Die Evaluierung der TC-Leistung von S₄-TC erfolgte 1998 zusammen mit TC der Elternlinien in zwei Umwelten (Auggen und Trebur) (Abbildung 1). Der Versuch wurde als Split-plot mit zwei Großteilstücken angelegt: Eine manuell mit ECB-Larven infestizierte Variante und eine insektizidgeschützte Variante. Die Kleinteilstücke beinhalteten die randomisierten Genotypen in zweireihigen Parzellen mit je zwei Wiederholungen.

Merkmalsbestimmung

Agronomische Merkmale:

Es wurden folgende agronomische Merkmale erhoben: (1) Korntrockensubstanz (KTS) in Prozent, (2) der Kornertrag (KE) in dt/ha, bezogen auf 15,5% Kornfeuchtigkeit in der mit Insektizid geschützten Parzelle (KEG) und in der mit ECB infestierten Parzelle (KEZ).

Die Kornertragsreduktion (KER) wurde für jeden Genotyp wie folgt berechnet: $KER (\%) = -1 \times [100 - (KEG/KEZ \times 100)]$. Als Selektionskriterium wurde 1996 und 1997 der folgende Index zugrunde gelegt:

$$\text{Index} = \left(2 \times \frac{KTS \text{ des Prüflinges} \times 100}{KTS \text{ - Mittel der kom. Hybriden}} + \frac{KE \text{ des Prüflinges} \times 100}{KE \text{ - Mittel der kom. Hybriden}} \right) - 300$$

ECB-Resistenzmerkmale:

Als ECB-Resistenzmerkmal wurde die Schadensbonitur des Stengels mit einer Boniturskala von 1 bis 9 [1 für Befalls-

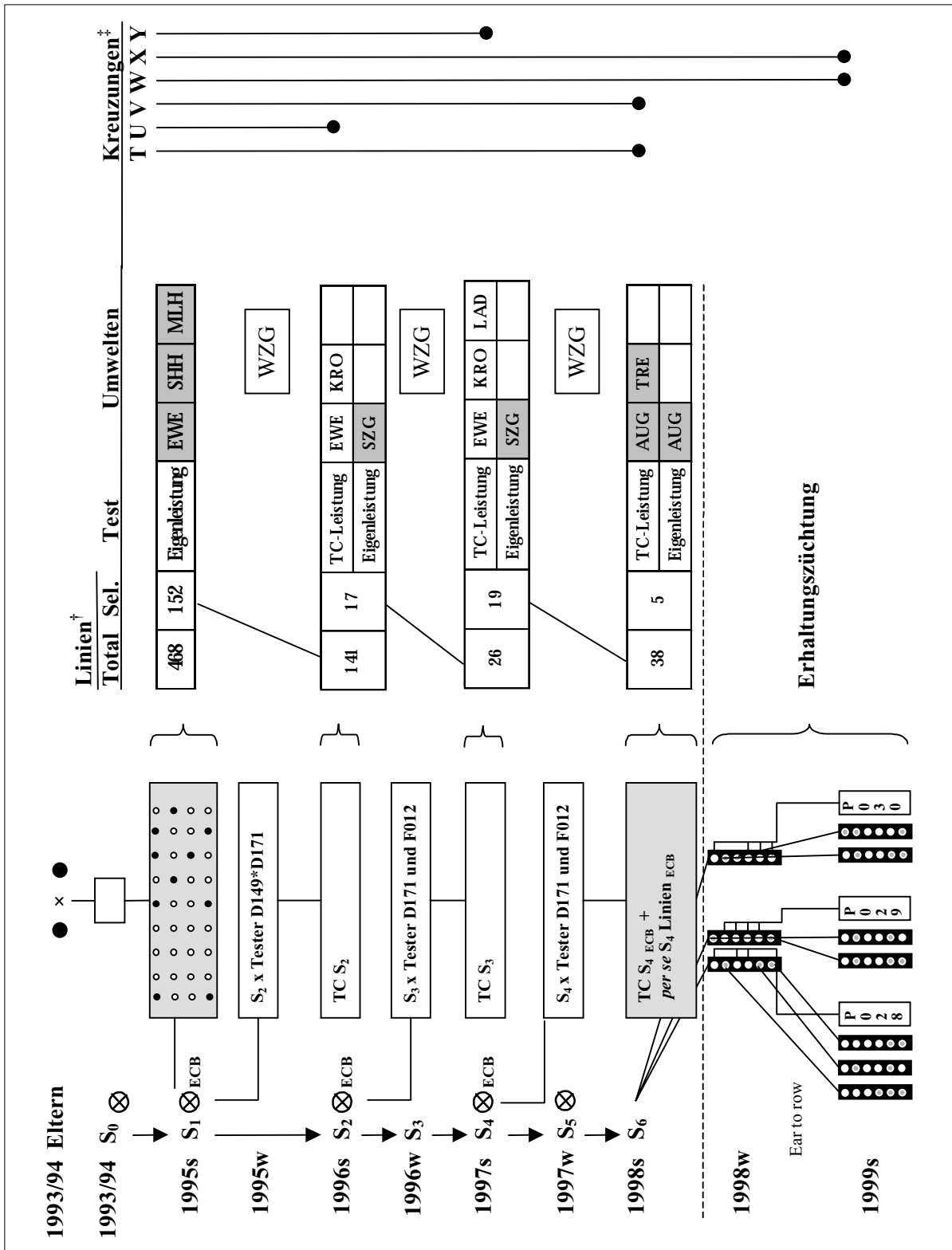


Abbildung 1: Schematische Darstellung des durchgeführten Zuchtprogramms. Die Versuche mit ECB-Infestierungen wurden grau hinterlegt oder durch „ECB“ gekennzeichnet. († Darstellung der Dimensionierung sowie Benennung der Umwelten; AUG = Auggen; EWE = Eckartsweier; KRO = Bad Krotzingen; LAD = Ladenburg; MLH = Mülheim; SHH = Scherzheim; TRE = Trebur und SZG = Sommerzuchtgarten und WZG = Winterzuchtgarten. † Das Ausscheiden von Kreuzungen wird durch einen Punkt gekennzeichnet.)

freiheit, 2-3 für gebrochene Fahnen, 4 bis 8 für Stengelbruch oberhalb des Kolbens und 9 für Stengelbruch unterhalb des Kolbens bzw. Kolbenverlust, siehe HUDON und CHIANG (1991)] erhoben, sowie die Fraßganglänge (FGL) in cm ermittelt, indem die Pflanzen der Länge nach aufgeschlitzt wurden.

Erhobene Merkmale auf Linien-niveau und TC-Niveau:

In jeder Selbstungsgeneration wurde die Bonitur, sowie zusätzlich bei der S₁-Generation die Fraßganglänge als ECB-Resistenzmerkmale erhoben. Auf S₄-niveau wurden die agronomischen Merkmale KTS, KEZ, KEG (nicht gezeigt)

und KER bestimmt. Auf TC-Niveau wurde bei den S₂- und den S₃-TC die KTS, der KE und der Index ermittelt. Bei den S₄-TC wurde die KTS, der KEZ, der KEG (nicht gezeigt), die KER, sowie als ECB-Resistenzmerkmal die Bonitur ermittelt. Zusätzlich wurden sowohl in jeder Selbstungsgeneration als auch auf

TC-Ebene die Einzelpflanzen anhand wichtiger züchterischer Merkmale wie Lager und Feldeindruck, Fertilität und Kolbenansatz, Wüchsigkeit, Fusariosenbefall sowie *Ustilago maydis* bewertet und selektiert (Abbildung 1).

Statistik

Die Verrechnung der in der S_1 -Generation und in den S_2 - und S_3 -TC-Tests ermittelten Merkmalswerte erfolgte als vollständig randomisierte Blockanlage (RCBD). Der TC-Test der S_4 -Linien wurde als Split-plot Versuch ausgewertet. Zunächst wurden die Parzellenmittel für jeden Genotyp bestimmt und getrennt nach Umwelten verrechnet. Anschließend wurde in einer zusammenfassenden Analyse über Umwelten hinweg unter der Annahme eines Modells mit zufälligen Effekten die Heritabilitäten (h^2) nach HALLAUER und MIRANDA (1981) geschätzt. Die Bestimmung der Grenzdifferenz (LSD 5%) und der Standardabweichung (SD) erfolgte nach SNEDECOR und COCHRAN (1980). Alle nötigen Berechnungen wurden mit dem Programmpaket PLABSTAT (UTZ, 1998) durchgeführt. Zusätzlich wurde für alle Generationen und Kreuzungen die Selektionsintensität (i) als standardisiertes Maß für den Prozentanteil an Pflanzen, die aus der Ausgangspopulation selektiert wurden bestimmt FALCONER (1996).

3. Ergebnisse

Phase 1: Erstellung der Ausgangsvariation

Es wurde eine signifikante genetische Variation für agronomische Merkmale und die ECB-Resistenz in frühreifen europäischen Elitemaisinzuchtlinien gefunden (SCHULZ et al. 1997, MELCHINGER et al. 1998). In diesen Studien zeigten die Dentlinien einen Boniturmittelwert von 3,2 (SCHULZ et al. 1997) bzw. von 3,7 (MELCHINGER et al. 1998). Mögliche Elternlinien wurden aufgrund ihrer agronomischen Leistung und ihrer ECB-Resistenz ausgewählt und faktoriell gekreuzt um 45 Einfachhybriden und 120 Doppelhybriden zu erhalten. Zusätzlich wurden zwei spaltende BC_1 -Kreuzungen hergestellt. Die Elternlinien D06, D61, D67, RZ05 und KW5361 der später relevanten Kreuzungen variierten für das Merkmal Bonitur von 2,7 bis 3,7 (Tabelle 1).

S_1 -Generation:

Aufgrund ihrer agronomischen Leistungsfähigkeit und ihrer ECB-Resistenz wurden nur die Einfachkreuzungen RZ05 x D61 (Kreuzung Y), RZ05 x D67 (Kreuzung X) und KW5361 x D06 (Kreuzung W) weitergeführt. Von den Doppelhybriden wurde lediglich die Kreuzung [RZ05 x D67]*[KW5361 x D06] (Kreuzung V) zur weiteren züchterischen Bearbeitung selektiert und die beiden erzeugten BC_1 -Kreuzungen (RZ05 x D61)*D61 (Kreuzung T) und (RZ05 x D61)*RZ05 (Kreuzung U) zur Erstellung einer spaltenden S_1 -Generation genutzt (Tabelle 2).

Die aus diesen Kreuzungen hervorgegangenen 468 Einzelpflanzen der spaltenden S_1 -Generation variierten in ihren Resistenzmerkmalen erheblich (Tabelle 2). Der Mittelwert der Bonitur lag über alle Kreuzungen hinweg bei 2,62 mit einer Standardabweichung von 1,48. Die mittlere Fraßganglänge variierte zwischen 4,96 cm (Kreuzung V) und 9,76 cm (Kreuzung T) bei einer Standardabweichung von 6,38.

In der S_1 -Generation wurden 152 Einzelpflanzen aufgrund ihrer verbesserten ECB-Resistenz weitergeführt. Der Boniturmittelwert für die selektierten Pflanzen über die Kreuzungen hinweg lag bei 2,30 und variierte für die einzelnen Kreuzungen von 1,64 bis 3,20. Der Mittelwert für das Merkmal Fraßganglänge lag bei 1,24 cm und variierte zwischen den einzelnen Kreuzungen von 0,13 cm bis 4,68 cm. Die mittlere Selektionsintensität (i) über alle Kreuzungen hinweg betrug 1,15, wobei von den Kreuzungen T, U, V und W zwischen 30 und 55% bzw. von den Kreuzungen X und Y weniger als 30% weitergeführt worden sind.

Phase 2: Erstellung von potentiellen Sorteneltern

S_2 -Testkreuzungen:

Für die S_2 -TC wurden hoch signifikante ($P < 0,01$) Unterschiede zwischen und innerhalb der Kreuzungen für alle Merkmale gefunden (Tabelle 3). Die getesteten S_2 -TC erzielten einen mittleren Kornertrag von 91,9 dt/ha in Experiment 1 bzw. 92,8 dt/ha in Experiment 2, welcher zwischen 96,3 dt/ha (Kreuzung V) und 85,4 dt/ha (Kreuzung Y) über die Experimente hinweg variierte. Die kommerziellen Hybriden erzielten einen mittleren Kornertrag von 100,9 dt/ha. Die

Kornrockensubstanz schwankte für die S_2 -TC zwischen 63,8 (Kreuzung T) bzw. 65,6% (Kreuzung W), wobei die mittlere Kornrockensubstanz über beide Experimente bei 64,5 lag. Der Index rangierte von -2,6 (Kreuzung V) bis -18,2 (Kreuzung Y) mit einer mittleren Heritabilität von 0,54. Zwischen der mittleren TC-Leistung der Eltern und der von S_2 -TC wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. Als Selektionshilfe und zur weiteren Entscheidungsfindung wurde die *per se* Bonitur von S_2 -Linien aus dem Zuchtgarten mit herangezogen, welche zwischen 1,9 (RZ05) und 3,6 (D67) für die Elternlinien rangierte und zwischen 2,4 (Kreuzung U) und 2,7 (Kreuzung T, W und X) für die Kreuzungen rangierte. Der Boniturmittelwert lag für die kommerziellen Hybriden bei 3,6.

Insgesamt wurden auf Basis der TC-Leistung sowie der Resistenz der 141 getesteten S_2 -Linien 17 S_2 -Linien weitergeführt. Der mittlere Kornertrag der selektierten S_2 -Linien betrug 99,3 dt/ha und die mittlere Kornrockensubstanz betrug 65%. Die Selektionsintensität i rangierte zwischen 1,0 für Kreuzung V und 2,2 für Kreuzung X. Die Kreuzung U wurde aufgrund unzureichender agronomischer Leistung verworfen (Tabelle 4).

S_3 -Testkreuzungen

Bei den S_3 -TC wurden hoch signifikante ($P < 0,01$) Unterschiede zwischen und innerhalb der Kreuzungen für den Kornertrag und die Kornrockensubstanz ermittelt (Tabelle 5). Der Kornertrag der 19 S_3 -TC variierte von 65,7 dt/ha (Kreuzung V) bis 84,9 dt/ha (Kreuzung W) und die Kornrockensubstanz von 69,4% (Kreuzung Y) bis 73,7% (Kreuzung V). Für den Index wurden nur bei TC mit Tester F012 signifikante ($P < 0,05$) Unterschiede zwischen den S_3 -Linien gefunden. Der Index schwankte von 1,1 für Kreuzung W (Tester F012) bis -9,1 für Kreuzung X (Tester D171). Die Schätzwerte der Heritabilität waren für das Merkmal Kornrockensubstanz mit 0,94 (Tester D171) bzw. 0,91 (Tester F012) höher als für den Kornertag mit 0,69 (Tester D171) bzw. 0,70 (Tester F012). Der Selektionsindex i betrug für die Kreuzung T 1,4 und W 0,9. Nur eine Linie der Kreuzung X wurde weitergeführt. Die Linie der Kreuzung Y wurde aufgrund von Fertilitätsstörungen bei der Selektion im Zuchtgarten verworfen.

Tabelle 2: Mittelwerte von ECB-Resistenzmerkmalen der getesteten und selektierten Fraktion aus der S₄-Generation. Der Versuch wurde 1995 in drei Umwelten durchgeführt.

| Pedigree | Kreuzung | Prüfglieder | Getestete Fraktion | | Selektierte Fraktion | | |
|-----------------------------|----------|-------------|------------------------|------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| | | | BON (1-9) | FGL cm | Prüfglieder | BON (1-9) | FGL cm |
| (RZ05 x D61)*D61 | T | 45 | 3,30±1,92 [†] | 9,76±7,20 [†] | 25 | 3,20±2,11 | 4,68±3,11 |
| (RZ05 x D61)*RZ05 | U | 78 | 2,38±1,39 | 6,85±6,65 | 25 | 1,64±0,95 | 0,92±0,91 |
| (RZ05 x D67)*(KW5361 x D06) | V | 26 | 2,54±1,27 | 4,96±4,69 | 12 | 2,67±1,23 | 1,08±1,00 |
| (KW5361 x D06) | W | 76 | 2,50±1,52 | 6,57±7,09 | 30 | 2,63±1,56 | 0,43±0,68 |
| (RZ05 x D67) | X | 130 | 2,48±1,30 | 5,52±5,89 | 30 | 1,97±1,00 | 0,13±0,35 |
| (RZ05 x D61) | Y | 113 | 2,86±1,55 | 6,69±5,87 | 30 | 2,23±1,17 | 0,63±0,77 |
| Mittel | | 468 | 2,62±1,48 | 6,57±6,38 | 152 | 2,30±1,39 | 1,24±2,09 |

[†] Standardabweichung wurde dem Mittelwert der getesteten Fraktion angehängt.

S₄-Testkreuzungen

Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen S₄-TC und TC der Elternlinien für alle Merkmale gefunden (Tabelle 6). Zudem wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Testern (F012, D171) ermittelt. Die Korn-erträge rangierten zwischen 67,3 und 83,5 dt/ha und die Kornertragreduktion schwankte zwischen 11,2 und 34,1%, wobei die Kornertragsreduktion für die TC der S₄-Linien im Mittel bei 21,1% und für die TC der Elternlinien bei 24,1% lag. Die Korntrockensubstanz variierte von 67,4 bis 72,6% und war für die S₄-TC im Mittel um 0,55 höher als für die TC der Elternlinien. Für das Merkmal Kornertrag lagen die berechneten

Schätzwerte der Heritabilität mit 0,09 im unteren Bereich, die Schätzer für die Kornertragsreduktion lagen bei 0,77 und für die Korntrockensubstanz bei 0,97. Die Boniturwerte der TC der Elternlinien schwankten zwischen 3,6 und 6,4 und die der S₄-TC zwischen 4,7 und 5,5, wobei der Schätzer der Heritabilität bei 0,65 lag.

4. Diskussion

Voraussetzungen zur erfolgreichen Integration einer ECB-Selektionsstrategie in ein Pedigreezuchtverfahren

Die wichtigsten Zuchtziele in konventionellen Zuchtprogrammen ist die Erhö-

hung des Kornertrags und die Verbesserung der Frühreife, um den Maisgenpool an kühlere Klimabedingungen zu adaptieren. Monogene Resistenzen können durch Selektionsprogramme relativ leicht verbessert werden. Demgegenüber stellt die Verbesserung der quantitativ vererbten ECB-Resistenz in konventionellen Zuchtprogrammen ein wesentlich komplexer zu handhabendes Merkmal dar.

Zur erfolgreichen Integration der ECB-Resistenz als Selektionskriterium bei gleichzeitiger Verbesserung des Kornertrags und der Frühreife im Rahmen eines Pedigreezuchtprogrammes, sollten daher folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

Tabelle 3: Testkreuzungen von S₂-Linien mit Tester (D149×D171) und der Linieneigenleistung für das Resistenzmerkmal Bonitur. Der Versuch wurde 1996 in zwei Umwelten durchgeführt.

| Bezeichnung/Kreuzung | Prüfglieder | KE | | KTS | | Index [†] | | Eigenleistung BON [‡] (1-9) |
|---------------------------------|-------------|-------|----------------|------|----------------|--------------------|----------------|--------------------------------------|
| | | dt/ha | h ² | % | h ² | h ² | h ² | |
| kom. Hybriden (gepoolt) | 10 | 100,9 | - | 64,6 | - | 0 | - | 3,6 |
| Eltern (gepoolt) | 9 | 91,8 | - | 65,0 | - | -7,6 | - | 2,7 |
| Experiment 1[†] | | | | | | | | |
| RZ05 | 1 | 87,5 | - | 64,8 | - | -13,6 | - | 1,9 |
| D61 | 1 | 96,9 | - | 64,0 | - | -6,6 | - | 2,9 |
| T 36 | 95,4 | 0,38 | 63,8 | 0,84 | -8,5 | 0,42 | 2,7 | |
| U 25 | 88,1 | 0,14 | 64,4 | 0,68 | -13,9 | 0,04 | 2,4 | |
| Y 12 | 85,4 | 0,83 | 63,9 | 0,85 | -18,2 | 0,78 | 2,7 | |
| Mittel | | 91,9 | 59,7 | 64,1 | 86,0 | -11,1 | 55,0 | - |
| LSD 5% | | 18,0 | - | 0,81 | - | 19,0 | - | - |
| Experiment 2[‡] | | | | | | | | |
| RZ05 | 2 | 91,4 | - | 64,4 | - | -10,1 | - | 1,9 |
| D67 | 1 | 99,2 | - | 63,9 | - | -3,1 | - | 3,6 |
| D06 | 2 | 86,3 | - | 66,7 | - | -7,9 | - | 3,1 |
| KW5361 | 2 | 93,4 | - | 65,3 | - | -4,9 | - | 2,8 |
| V | 12 | 96,3 | 0,86 | 65,2 | 0,93 | -2,6 | 0,74 | 2,5 |
| W | 21 | 92,0 | 0,65 | 65,6 | 0,80 | -5,4 | 0,53 | 2,7 |
| X | 35 | 91,1 | 0,48 | 64,1 | 0,83 | -10,9 | 0,18 | 2,7 |
| Mittel | | 92,8 | 0,68 | 64,8 | 0,92 | -7,2 | 0,54 | - |
| LSD 5% | | 13,1 | - | 0,92 | - | 14,6 | - | - |
| Total | 160 | 92,3 | - | 64,5 | - | -9,8 | - | 2,7 |

[†] Indexverhältnis 2:1; Korntrockensubstanz zu Kornertrag, relativ ermittelt zu den kommerziellen Hybriden

[‡] Ermittlung eines einfachen Boniturmittelwertes für die Linieneigenleistung im Zuchtgarten.

Tabelle 4: Testkreuzungsleistung von selektierten S₂-Linien für agronomische Merkmale. Für die Bonitur wurde die Linieneigenleistung angegeben. Der Versuch wurde 1996 in zwei Umwelten durchgeführt.

| Selektierte S ₂ Kreuzungen | Prüfglieder | Selektionsintensität (i) | KE dt/ha | KTS % | Index† | BON‡ (1-9) |
|---------------------------------------|-------------|--------------------------|----------|-------|--------|------------|
| Experiment 1 | | | | | | |
| T | 6 | 1,6 | 99,7 | 64,0 | -3,8 | 2,2 |
| Y | 1 | 1,6 | 106,6 | 64,4 | 4,7 | 2,5 |
| Experiment 2 | | | | | | |
| V | 4 | 1,0 | 92,9 | 66,7 | -1,1 | 2,0 |
| W | 5 | 1,3 | 94,2 | 66,2 | -1,7 | 2,6 |
| X | 1 | 2,2 | 103,0 | 63,8 | 0,2 | 1,4 |
| Mittel | 17 | - | 99,3 | 65,0 | -0,3 | 2,1 |

† Indexverhältnis 2:1; Korntrockensubstanz zu Kornertrag, relativ ermittelt zu den kommerziellen Hybriden.

‡ Ermittlung eines einfachen Boniturmittelwertes für die Linieneigenleistung im Zuchtgarten.

☉ Um in konventionellen Zuchtprogrammen zusätzlich auf Resistenz selektieren zu können, sollte das Ausgangsmaterial eine hohe genetische Variation für die Resistenz besitzen. Da noch keine Informationen zur ECB-Resistenz im frühreifen Dent- und Flintmaterial verfügbar waren wurde von SCHULZ et al. (1997) und MELCHINGER et al. (1998) ein umfangreiches Screening durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen dieses Screenings wurden die Elternlinien des Hohenheimer Zuchtprogramms zur Verbesserung der ECB-Resistenz anhand ihrer ECB-Resistenzmerkmale sowie ihrer agronomischen Eigenschaften ausgewählt und rekombiniert.

- Die ECB-Resistenzmerkmale sollten phänotypisch einfach zu erheben sein, um eine Integration in bestehende Zuchtprogramme ohne zusätzlichen Arbeits-

aufwand zu ermöglichen. Die Schadensbonitur zeigte eine enge positive Korrelation mit dem wesentlich aufwendiger zu bestimmenden Resistenzmerkmal Fraßganglänge (KREPS et al. 1998). Darüber hinaus besteht für die Schadensbonitur eine enge Korrelation zwischen der Linieneigenleistung und der TC-Leistung (KREPS et al. 1998).

Die ECB-Resistenz beruht auf den Resistenzkomponenten der Antibiosis, der Toleranz und der Präferenz (PAINTER 1968). Während die Bonitur ein indirektes Merkmal zur Feststellung der Antibiosis ist, kann die Antibiosis nur direkt und aufwendig über das Fraßverhalten des Schadinsekts ermittelt werden. Mit Hilfe eines Split-plot Designs und den Behandlungsstufen „ECB-Infestierung“ und „insektizidgeschützter Kontrolle“ kann die Kornertragsdifferenz ermittelt

Tabelle 5: Testkreuzungsleistung von S₃-Linien für agronomische Merkmale. Der Versuch wurde 1997 in drei Umwelten durchgeführt.

| Bezeichnung/Kreuzung | Prüfglieder | Tester | KE dt/ha | KTS % | Index§ |
|-------------------------|-------------|--------|----------|-------|--------|
| kom. Hybriden (gepoolt) | 10 | - | 83,3 | 70,9 | 0 |
| Eltern (gepoolt) | 9 | - | 80,8 | 71,2 | -0,5 |
| T | 6 | D171† | 76,8 | 70,3 | -2,5 |
| | | F012‡ | 84,3 | 69,4 | -7,1 |
| Y | 1 | D171 | 72,8 | 70,8 | -7,4 |
| | | F012 | 83,1 | 69,0 | -9,0 |
| V | 6 | D171 | 65,7 | 73,7 | -7,5 |
| | | F012 | 75,5 | 72,4 | -8,4 |
| W | 5 | D171 | 72,6 | 73,0 | -0,6 |
| | | F012 | 84,9 | 72,4 | 1,1 |
| X | 1 | D171 | 72,0 | 70,3 | -9,1 |
| | | F012 | 84,1 | 69,3 | -7,6 |
| LSD 5% | | D171 | 10,6 | 1,3 | 13,5 |
| | | F012 | 11,0 | 1,6 | 12,7 |
| h ² | | D171 | 0,69 | 0,94 | 0,39 |
| | | F012 | 0,70 | 0,91 | 0,48 |
| Mittel | | D171 | 74,4 | 71,7 | -2,1 |
| | | F012 | 84,5 | 71,0 | -3,2 |

† Experiment 1 ‡ Experiment 2

§ Indexverhältnis 2:1; Korntrockensubstanz zu Kornertrag, relativ ermittelt zu den kommerziellen Hybriden

werden, die eine Funktion aller drei Resistenzkomponenten ist. Allerdings besitzt die Kornertragsdifferenz einen größeren Versuchsfehler als der Kornertrag unter geschützten Bedingungen bzw. unter infestierten Bedingungen.

- Zur gleichzeitige Verbesserung von drei Merkmalen (Kornertrag, Frühreife und ECB-Resistenz) wäre es ideal wenn entweder die Zielmerkmale nicht miteinander korreliert vorliegen oder in die vom Züchter gewünschte Richtung zeigen. In zahlreichen Studien wurde jedoch eine negative Beziehung zwischen den Merkmalen Kornertrag und Bonitur sowie zwischen Kornertrag und Frühreife gefunden. Auch wurden hoch signifikante und positive genotypische Korrelationen für das Merkmal Bonitur und Frühreife nachgewiesen (SCHULZ et al. 1997, KREPS et al. 1998, MELCHINGER et al. 1998, MAGG et al. 2001).

Daher wurde in einem ersten Selektionsschritt das Material bezüglich der Frühreife und des Ertrages mit Hilfe eines Index, der Frühreife und Ertrag miteinander kombiniert, eingengt. Mit dieser Vorgehensweise sollte verhindert werden, daß bei der Selektion auf ECB-Resistenz spätreifes Material bevorzugt wird. In einem zweiten Schritt wurden die Linien mit einer verbesserten ECB-Resistenz selektiert. Eine weitere Möglichkeit mit der die Selektion spätreiferen Materials verhindert werden könnte bietet eine Reifekorrektur (UTZ et al. 1978) oder die Erweiterung des Selektionsindex, wie der von WILLIAM (1962) vorgeschlagene „base-index“, der sowohl Reife und Ertrag als auch die Resistenz erfaßt. Das das in dieser Studie gewählte Vorgehen vielversprechend ist, zeigt die Linie P030, die aus der Kreuzung W entwickelt wurde (Tabelle 2). Im Vergleich zu ihren Elternlinien D06 und KW5361 zeigte diese Linie eine verbesserte ECB-Resistenz bei gleichzeitiger Steigerung der Frühreife (Tabelle 6).

Zur Genwirkungsweise der in den verschiedenen QTL-Studien nachgewiesenen Resistenz-Loci existieren widersprüchliche Aussagen. Hierbei wurden für tropische Zünlarten als auch für den ECB sowohl eine additive als auch eine dominante Genwirkungsweise diskutiert (SCOTT et al. 1966, JENNINGS et al. 1974, ONUKOGU et al. 1978, SCHÖN et al. 1993, BOHN et al. 2000).

Tabelle 6: Testkreuzungen zur Ermittlung von agronomischen Eigenschaften und der ECB-Resistenz verbliebener S₄-Linien und deren Eltern. Der Versuch wurde 1998 in zwei Umwelten durchgeführt.

| Pedigree | Kreuzung | Tester | KE dt/ha | | KER % | | KTS % | | BON (1-9) | |
|-----------------------------|----------|--------|----------|------|-------|------|-------|------|-----------|------|
| | | | F012 | D171 | F012 | D171 | F012 | D171 | F012 | D171 |
| Eltern | | | | | | | | | | |
| RZ05 | | | 83,0 | 67,3 | 11,2 | 12,5 | 68,6 | 67,4 | 4,2 | 3,6 |
| D67 | | | 79,5 | 81,6 | 20,1 | 21,1 | 70,5 | 68,4 | 5,2 | 5,6 |
| D06 | | | 70,3 | 70,6 | 24,1 | 25,2 | 72,9 | 71,6 | 6,4 | 5,3 |
| KW5361 | | | 80,6 | 83,2 | 28,0 | 27,4 | 70,0 | 68,7 | 5,7 | 5,0 |
| D61 | | | 82,7 | 82,1 | 32,7 | 34,1 | 69,3 | 67,4 | 5,3 | 5,1 |
| Mittel | | | 79,2 | 77,0 | 23,2 | 24,1 | 70,3 | 68,7 | 5,4 | 4,9 |
| S₄-Linien | | | | | | | | | | |
| P028 | X | | 83,5 | 74,8 | 24,0 | 17,3 | 69,2 | 67,5 | 5,2 | 4,5 |
| P029 | W | | 73,9 | 78,5 | 25,6 | 19,3 | 71,8 | 69,8 | 5,5 | 5,0 |
| P030 | W | | 77,5 | 77,2 | 27,1 | 22,5 | 72,6 | 71,1 | 5,0 | 4,7 |
| P031 | V | | 79,4 | 73,3 | 26,3 | 27,6 | 71,4 | 69,6 | 5,5 | 4,8 |
| P032 | T | | 74,6 | 75,4 | 27,7 | 18,7 | 69,2 | 68,3 | 4,9 | 4,8 |
| Mittel | | | 77,8 | 75,8 | 26,1 | 21,1 | 70,8 | 69,3 | 5,2 | 4,8 |
| Gesamtmittel | | | 78,5 | 76,4 | 24,7 | 22,6 | 70,5 | 69,0 | 5,3 | 4,8 |
| LSD 5% | | | | 11,1 | | 8,6 | | 0,8 | | 1,0 |
| h² | | | | 0,09 | | 0,77 | | 0,65 | | |

In unserer Studie waren die Linien in der Regel resistenter gegen ECB-Larvenfraß als ihre Testkreuzungen. Dieses Ergebnis legt den Schluß nahe, daß die an der Vererbung der ECB-Resistenz beteiligten Gene eine vorwiegend additive Genwirkungsweise besitzen.

Handelt es sich bei der ECB-Resistenz um ein hauptsächlich additiv vererbtes Merkmal, müssen zur Erstellung von resistenten Hybriden beide Elternlinien hochgradig resistent sein. Das bedeutet, daß nicht nur im Dent- sondern auch im Flintpool ein Programm zur Verbesserung der ECB-Resistenz initiiert werden muß. Allerdings sind die Voraussetzungen zur Verbesserung der ECB-Resistenz im Flintpool ungünstig, da im Vergleich zum Dentpool die genetische Variation für dieses Merkmal gering ist (SCHULZ et al. 1997, KREPS et al. 1998, MELCHINGER et al. 1998).

Züchterische Konsequenz und Beurteilung der Erfolgsaussichten

Bei jeder Selektion sind immer zwei Größen zu berücksichtigen, der Populationsmittelwert und die genetische Varianz, die den Selektionserfolg in den Kreuzungen bestimmen (BECKER 1993). Die mittlere Leistung aller aus einer Kreuzung entwickelten Linien entspricht bei vereinfachten Annahmen dem Mittel der beiden Eltern. Als züchterische Konsequenz ergibt sich daraus, daß die Leistungsfähigkeit der Eltern möglichst hoch sein muß um einen guten Selektionserfolg zu garantieren. Die Elternwahl ist dabei der erste entscheidende

Selektionsschritt. Allerdings zeigten die von SCHULZ et al. (1997) und MELCHINGER et al. (1998) untersuchten Linien keine ausreichend hohe ECB-Resistenz, bzw. Linien mit höherer ECB-Resistenz wurden in dieser Studie aufgrund ihrer unzureichenden agronomischen Leistung verworfen. Das wiederum bedeutet das dadurch die nutzbare genetische Variation der ECB-Resistenz stärker eingeschränkt wurde und es um so schwieriger war einen Zuchtforschritt zu erzielen.

Wie bereits diskutiert wurden genetische Korrelationen zwischen agronomischen Merkmalen und Resistenzmerkmalen gefunden. Diese Merkmalskorrelationen können durch Gene, die in Repulsion gekoppelt vorliegen, erklärt werden (GOTTLIEB und De VIENNE 1988, ALLARD 1992, FALCONER 1996). Die vorhandenen Kopplungen müssen anhand intensiver Rekombination gebrochen werden.

Sollte keine ausreichende ECB-Resistenz im Ausgangsmaterial identifiziert werden muß auf exotisches Material zurückgegriffen werden, um die genetische Variation der ECB-Resistenz zu erhöhen. Eine direkte Integration der exotischen Resistenzquellen in das adaptierte Elitematerial ist jedoch schwierig und sehr zeitaufwendig. Da die ECB-Resistenz durch eine Vielzahl von Genen gesteuert wird, ist die Initiierung eines rekurrenten Selektionsprogrammes sinnvoll. Wie zahlreiche Studien belegen, konnte mit Hilfe der rekurrenten Selektion die

ECB-Resistenz mittelfristig deutlich verbessert werden (PENNY et al. 1967, CHIANG und HUDON 1973, KLENKE et al. 1986, ANGLADE et al. 1996). Betrachtet man die rekurrente Selektion als längerfristiges und offenes System, indem ständig Elitezuchtmaterial und resistentes Zuchtmaterial ein- und ausfließen, können mit der Methode der reziproken rekurrenten Selektion gleichzeitig der Flint- und der Denpool für die ECB-Resistenz verbessert werden. Jedoch gibt es bisher kaum Informationen über die agronomische Leistungsfähigkeit der im Rahmen der rekurrenten Selektion entwickelten Linien (PENNY et al. 1967).

Allerdings stehen der Landwirtschaft derzeit auch *Bt*-Maishybriden zur Verfügung, welche eine sehr leistungsfähige monogene ECB-Resistenz besitzen (KOZIEL et al. 1993, ESTRUCH et al. 1997, MAGG et al. 2001, 2002). Allerdings kann diese monogene Resistenz vom Schadinsekt relativ schnell überwunden werden (METZ et al. 1995). Daher bietet es sich an in Zukunft die *Bt*-Hybriden mit Hybriden zu kombinieren, welche eine verbesserte quantitative Resistenz gegen den ECB besitzen. Dadurch kann die konventionelle Maiszüchtung einen wichtigen Beitrag zum Aufbau einer dauerhaften horizontalen Resistenz gegen den ECB leisten.

Literaturverzeichnis

ALLARD, R. W., 1992: Predictive methods for germplasm identification. In: Plant breeding in

- the 1990s, H. T. Stalker and J. P. Murphy. Oxon UK: C.A.B. International.
- ANGLADE, P., B. GOUESNARD, A. BOYAT and A. PANOUILLE, 1996: Effects of multitrait recurrent selection for European corn borer tolerance and for agronomic traits in FS12 maize synthetic. *Maydica* **41**, 97-104.
- BECKER, H., 1993: Pflanzenzüchtung. UTB Taschenbuch, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- BERGVINSON, D. J., J. T. ARNASON, R. I. HAMILTON, J. A. MIHM and D. C. JEWELL, 1994: Determining leaf toughness and its role in maize resistance to the European Corn Borer (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Econ. Entomol.* **87**, 1743-1748.
- BOHN, M., R. C. KREPS, D. KLEIN and A. E. MELCHINGER, 1998a: Wann lohnt die Zünslerbekämpfung? *Mais* **26**, 150-152.
- BOHN, M., 1998b: QTL Mapping of Insect Resistance Against *Diatraea* spp. in two Populations of F₃ Lines in Tropical Maize (*Zea mays* L.). Shaker Verlag Aachen, Ph. D. Thesis, Univ. of Hohenheim, Stuttgart.
- BOHN, M., B. SCHULZ, R. KREPS, D. KLEIN and A. E. MELCHINGER, 2000: QTL mapping for resistance against the European corn borer (*Ostrinia nubilalis* H.) in early-maturing European dent germplasm. *Theor. Appl. Genet.* **101**, 907-917.
- CHIANG, M. S. and M. HUDON, 1973: Inheritance of resistance to European corn borer in grain corn. *Canadian J. of Plant Science.* **53**, 779-782.
- ESTRUCH, J. J., N. B. CAROZZI, N. DESAI, G. W. WARREN, N. B. DUCK, and M. G. KOZIEL, 1997: The expression of a synthetic *CryIA(b)* gene in transgenic maize confers resistance to European corn borer. In: J. Mihm (ed.), *Insect Resistant Maize, Recent Advances and Utilization*. Proc. Int. Symp. on Methodologies for Developing Host Plant Resistance to Maize Insects, CIMMYT, Mexico, 27 Nov.-3 Dec. 1994, 172-174. CYMMIT, Mexico DF.
- FALCONER, D. S. and T. F. MACKAY, 1996: Introduction to Quantitative Genetics, Longman Group Limited, Harlow.
- GOTTLIEB, L. D. and D. De VIENNE, 1988: Assessment of pleiotropic effects of a gene substitution in pea by two-dimensional polyacrylamide gel electrophoresis. *Genetics.* **119**, 705-710.
- GUTHRIE, W. D., F. F. DICKE, and C. R. NEISWANDER, 1960: Leaf and sheath feeding resistance to the European corn borer in eight inbred lines of dent corn. *Ohio Agr. Exp. Station Research Bulletin*, **860**.
- HALLAUER, A. R. and J. B. MIRANDA, 1981: Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State Univ. Press, Ames, USA.
- HOFFMANN, G. M. and H. SCHMUTTERER, 1999: Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- HUDON, M. and M. S. CHIANG, 1991: Evaluation of resistance of maize germplasm to the univoltine European corn borer *Ostrinia nubilalis* (Hübner) and relationship with maize maturity in Quebec. *Maydica* **36**, 69-74.
- IARC, 1993: Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol 56. Some naturally occurring substances: Food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.
- JARVIS, J. L., R. L. CLARK, W. D. GUTHRIE, E. C. BERRY and W. A. RUSSELL, 1984: The relationship between second-generation European corn borers and stalk rot fungi in maize hybrids. *Maydica* **24**, 247-263.
- JENNINGS, C. W., W. A. RUSSELL, and W. D. GUTHRIE, 1974: Genetics of resistance in maize to first- and second-brood European corn borer. *Crop Sci.* **14**, 394-398.
- KIM, S. K., W. D. GUTHRIE, A. R. HALLAUER, W. A. RUSSELL, J. L. BREWBAKER, and C. S. HONG, 1989: Genetic resistance of tropical corn inbreds to second-generation European corn borer. *J. Econ. Entomol.* **82**, 1207-1211.
- KLENKE, J. R., W. A. RUSSELL and W. D. GUTHRIE, 1986: Recurrent selection for resistance to European corn borer in a corn synthetic and correlated effects on agronomic traits. *Crop Sci.* **26**, 864-868.
- KOZIEL, M. G., G. L. BELAND, C. BOWMAN, N. B. CAROZZI, R. CRENSHAW, L. CROSSLAND, J. DAWSON, N. DESAI, M. HILL, S. KADWELL, K. LAUNIS, K. LEWIS, D. MADDOX, K. Mc PHERSON, M. R. MEGHJI, E. MERLIN, R. RHODES, G. W. WARREN, M. WRIGHT and S. V. EVOLA, 1993: Field performance of elite transgenic maize plants expressing an insecticidal protein derived from *Bacillus thuringiensis*. *Biotech.* **11**, 194-200.
- KREPS, R. C., R. K. GUMBER, B. SCHULZ, D. KLEIN and A. E. MELCHINGER, 1998: Genetic variation in testcrosses of European maize inbreds for resistance to the European corn borer and relations to line *per se* performance. *Plant Breed.* **117**, 319-327.
- LANGENBRUCH, G. A. and D. SZEWCZYK, 1995: Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) an Mais im Süden Nordrhein-Westfalens. *Nachrichtenblatt Deutsch. Pflanzenschutzd.* **47**, 326.
- LEW, H., A. ADLER and E. EDINGER, 1991: Moniliformin and the European corn borer (*Ostrinia nubilalis*). *Mycotax.* **7**, 71-76.
- MAGG, T., A. E. MELCHINGER, D. KLEIN and M. BOHN, 2001: Comparison of *Bt* maize hybrids with their non-transgenic counterparts and commercial varieties for resistance to European corn borer and for agronomic traits. *Plant Breed.* **120**, 397-403.
- MAGG, T., A. E. MELCHINGER, D. KLEIN and M. BOHN, 2002: Relationship between European corn borer resistance and concentration of mycotoxins produced by *Fusarium* spp. in grains of transgenic *Bt* maize hybrids, their isogenic counterparts, and commercial varieties. *Plant Breed.*, in press.
- Melchinger, A. E., R. C. KREPS, R. SPÄTH, D. KLEIN and B. SCHULZ, 1998: Evaluation of early-maturing European maize inbreds for resistance to the European corn borer. *Euphytica* **99**, 115-125.
- METZ, T. D.; R. T. ROUSH, J. D. TUNG, A. M. SHELTON and E. D. EARLE, 1995: Transgenic broccoli expressing a *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal proteins implications for pest resistance management strategies. *Mol. Breed.* **1**, 309-317.
- MIHM, J. A., 1983: Efficient mass rearing and infestation techniques to screen for host plant resistance to maize stem borers, *Diatraea* spp. CIMMYT, Mexico.
- MUNKVOLD, G. P., R. L. HELLMICH and L. G. RICE, 1999: Comparison of fumonisin concentration in kernels of transgenic *Bt* maize hybrids and nontransgenic hybrids. *Plant Dis.* **83**, 130-138.
- ONUKOGU, F. A., W. D. GUTHRIE, W. A. RUSSELL, G. L. REED and J. C. ROBBINS, 1978: Location of genes that condition resistance in maize to sheath-collar feeding by second-generation European corn borer. *J. Econ. Entomol.* **71**, 1-4.
- PAINTER, R. H., 1968: Insect resistance in crop plants. University Press of Kansas.
- PENNY, L. H., G. E. SCOTT and W. D. GUTHRIE, 1967: Recurrent selection for European corn borer resistance in maize. *Crop Sci.* **7**, 407-409.
- RUSSELL, W. A., W. D. GUTHRIE, and R. L. GRINDELAND, 1974: Breeding for resistance in maize to first and second generation broods of the European corn borer. *Crop Sci.* **14**, 725-727.
- SCHÖN, C. C., M. LEE, A. E. MELCHINGER, W. D. GUTHRIE and W. WOODMAN, 1993: Mapping and characterization of quantitative trait loci affecting resistance against second-generation European corn borer in maize with the aid of RFLPs. *Heredity* **70**, 648-659.
- SCHULZ, B., R. C. KREPS, D. KLEIN, R. K. GUMBER and A. E. MELCHINGER, 1997: Genetic variation among European maize inbreds for resistance to the European corn borer and relation to agronomic traits. *Plant Breed.* **116**, 415-422.
- SCOTT, G. E., F. F. DICKE and G. R. PESHO, 1966: Location of genes conditioning resistance in corn to leaf feeding of the European corn borer. *Crop. Sci.* **6**, 444-446.
- SNEDECOR, G. W. and W. G. COCHRAN, 1980: Statistical methods, 7th edn. Iowa State University Press, Ames.
- THOME, C. R., M. E. SMITH and J. A. MIHM, 1992: Leaf feeding resistance to multiple insect species in a maize diallel. *Crop Sci.* **32**, 1460-1463.
- UTZ, H. F., 1998: PLABSTAT. Ein Computerprogramm zur statistischen Analyse von pflanzenzüchterischen Experimenten. Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik, Universität Hohenheim, Deutschland.
- UTZ, H. F., F. W. SCHNELL and I. S. SINGH, 1978: Maturity corrected yield (MCY) as a way to reduce genotype-environment interactions in maize trials. *Cereal Res. Comm.* **6**, 399-404.
- WILLIAM, J. S., 1962: The evaluation of a selection index. *Biometrics* **18**, 375-393.

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Versuchsstation der Universität Hohenheim in Eckartsweier. Mein besonderer Dank gilt A. KARG, S. PLUSKAT und D. WIEBE für die qualifizierte technische Durchführung der Feldversuche. Die vorliegende Studie wurde finanziell gefördert durch das Ministerium für den Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg (Projekt-Nr. 0128 E) und der Südwestdeutschen Saatzucht, Dr. H. R. SPÄTH (Deutschland, Rastatt).