

Hybridmaiszüchtung bei der KWS SAAT AG*

W. SCHMIDT

Im vorliegenden Vortrag soll zunächst das allgemeine Prinzip der Hybridzüchtung dargelegt werden, bevor dann einige spezifische Aspekte der KWS-Hybridmaiszüchtung beleuchtet werden. Hierbei sollen dann besonders neue Entwicklungen dargestellt werden, die die Hybridmaiszüchtung zum Teil grundlegend verändern werden. Dazu gehören beispielsweise die Entwicklung der Inzuchtlinien über die Technik der Haploideninduktion, die Einführung der markergestützten Selektion oder das Aufgreifen der neuen Zuchtichtung Energiemais. In den vorliegenden Ausführungen sind besonders die Aspekte der frühen KWS-Maiszuchtprogramme berücksichtigt worden, in denen die Hybriden für den hiesigen Klimaraum entwickelt werden.

1. Das Prinzip der Hybridmaiszüchtung

In *Abbildung 1* sind die Phasen der Hybridmaiszüchtung dargestellt.

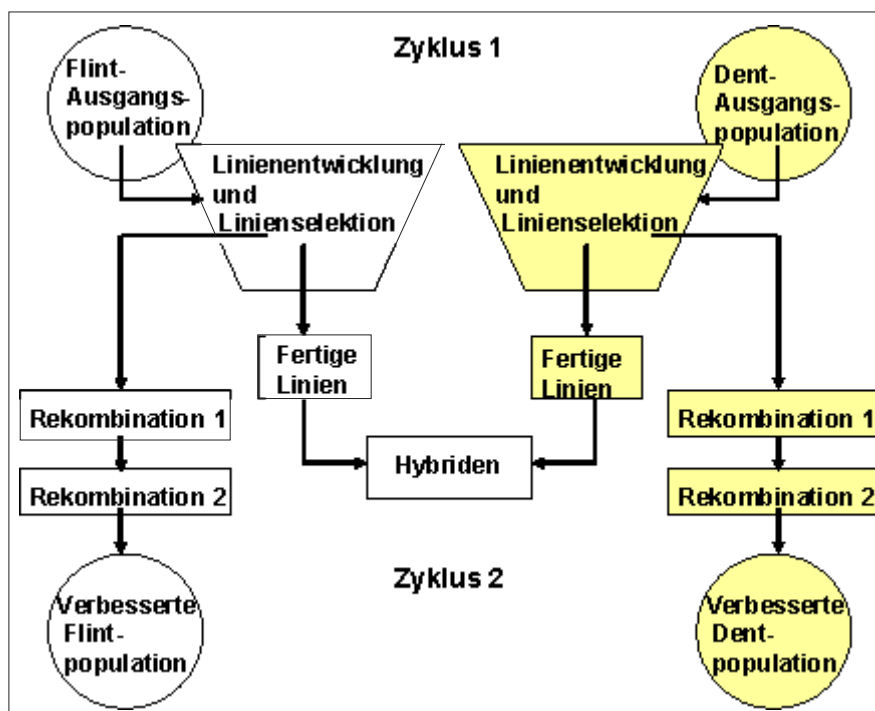


Abbildung 1: Schema der Hybridzüchtung

Aus (mindestens) 2 Ausgangspopulationen, die auch als Genpools bezeichnet werden, entwickelt der Hybridzüchter homozygote Inzuchtlinien. Dies kann er über einen mehrjährigen Selbstungsprozess tun oder über die Anwendung einer DH-Technik. Die Inzuchtlinien werden stufenweise scharf selektiert, zunächst auf ihre Eigenleistung, später auf ihre allgemeine (gca) und spezifische (sca) Kombinationsfähigkeit. Am Ende dieses Selektionsprozesses bleiben nur wenige Linien übrig.

Die besten Kombinationen aus diesen werden dann als Hybridsorten angemeldet und vermarktet.

Im Allgemeinen werden die Inzuchtlinien noch bevor sie als Erbkomponenten in Hybriden fungieren wieder innerhalb des jeweiligen Genpools ein- oder mehrfach rekombiniert, um so neue verbesserte Ausgangspopulationen zu schaffen, aus denen dann von neuem Inzuchtlinien entwickelt werden können, die wiederum den 2 Zwecken dienen sollen:

- 1 neue Hybriden zu gewinnen und
- 2 weiter verbesserte Ausgangspopulationen zu erhalten

Diese zyklische (= rekurrente) Verbesserung von 2 Ausgangspopulationen in der Kombinationsfähigkeit zueinander (= reziprok) bezeichnet man als Reziproke Rekurrente Selektion (RRS).

2. Spezifische Aspekte der KWS-Hybridmaiszüchtung

2.1 Organisation des Genpools

In *Abbildung 2* sind die 7 Regionen dargestellt, in denen die KWS SAAT AG Maiszuchtprogramme etabliert hat. Die Zuchtprogramme decken ein Reifespektrum von FAO 170 bis FAO 700 ab. Die klimatischen Gegebenheiten in diesen Regionen sind extrem verschieden, sodass diese Regionen nicht mit einem einheitlichen Genpool-System (Heterosis pattern) optimal abgedeckt werden können.

Um für die jeweiligen Regionen das optimal adaptierte Zuchtmaterial einsetzen zu können, werden in den KWS-Zuchtprogrammen in den frühen und späten Regionen 2 unterschiedliche Genpool-Systeme verwendet.

Die folgende *Abbildung 3* zeigt das Genpool-System der 3 frühen Zuchtprogramme Nordwest-Europa, Deutschland und Nordfrankreich:

Die Basis bilden die 3 Kernpools Europäischer Flint (Flint), Iowa-Stiff-Stalk-Synthetic (= BSSS) und der Lancaster-Pool (LC). Diese 3 Pools sind unverwandt. Linien, die eindeutig diesen 3 Kernpools zuzuordnen sind, können mit jeweils beiden anderen sogenannten opposite-Pools kombiniert werden.

* gewidmet Herrn Professor Dr. H. H. GEIGER, Universität Hohenheim, zu seinem 65. Geburtstag. Er hat die DH-Technik in der Maiszüchtung zur Praxisreife entwickelt und damit das Verfahren der Hybridmaiszüchtung weltweit revolutioniert.

Autor: Dr. Walter SCHMIDT, KWS Saat AG, Grimsehlstraße 31, D-37555 EINBECK



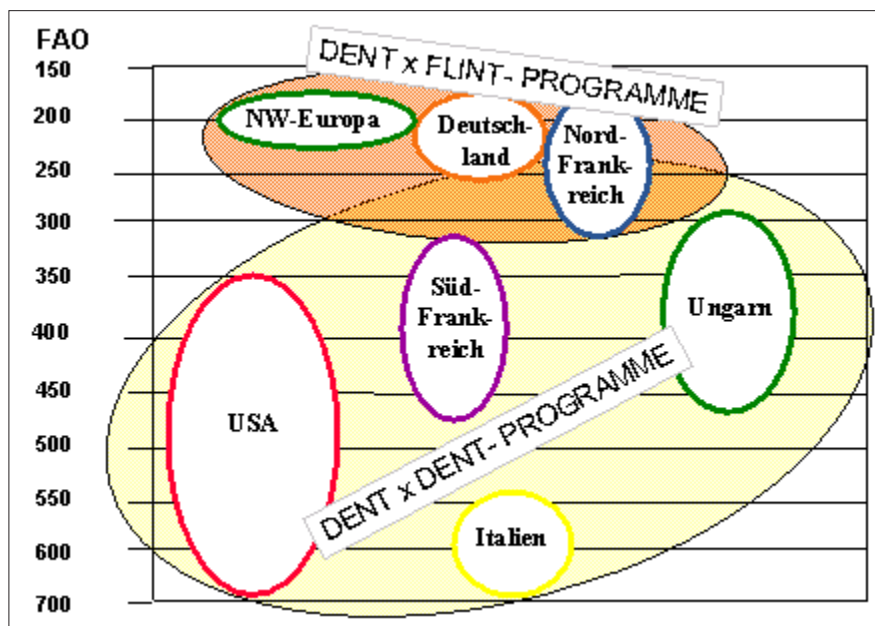


Abbildung 2: Die KWS-Maiszuchtprogramme

In *Abbildung 3* ist zwischen die Kernpools jeweils ein Mischpool eingeordnet. Im Mischpool Flint x BSSS ist das Zuchtmaterial zusammengefasst, das sowohl Flint- wie auch Stiff-Stalk-Anteile enthält. Inzuchtlinien, die diesem Mischpool angehören, kombinieren gut mit dem Lancasterpool, können aber wegen ihrer

Verwandtschaft zu den anderen 5 Pools mit diesen nicht kombiniert werden. Entsprechendes gilt für den Flint x Lancaster- und für den BSSS x LC-Mischpool. Mischpool-Linien können immer nur mit einem opposite-Kernpool kombiniert werden, Kernpool-Linien dagegen können immer mit 2 opposite-Kernpools und

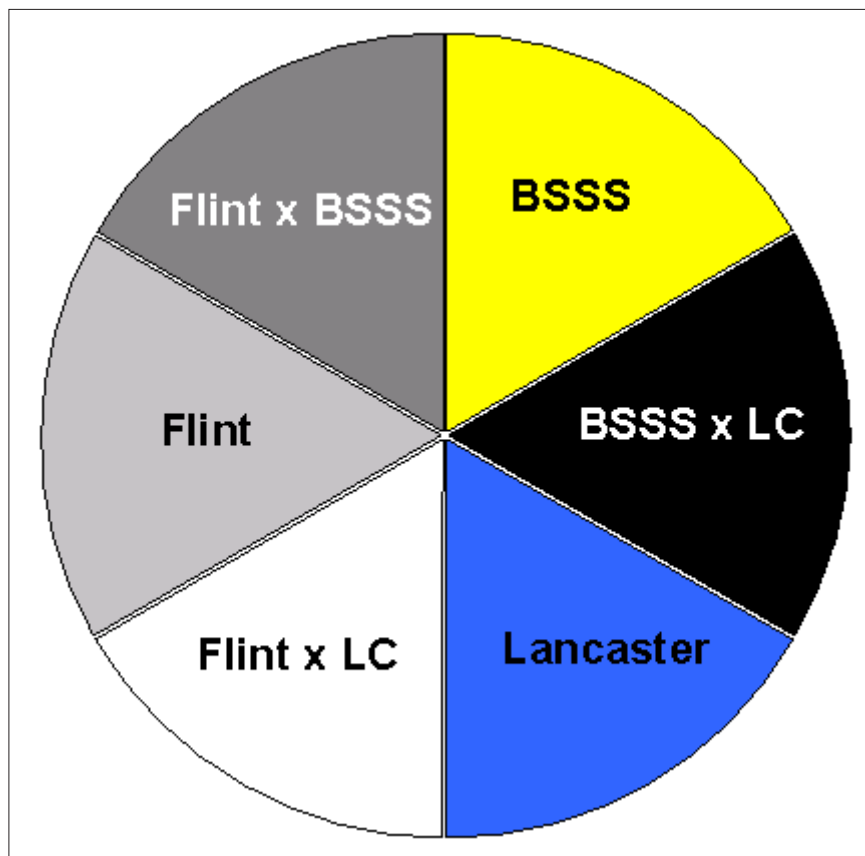


Abbildung 3: Die Kern- und Mischpools der frühen Zuchtprogramme

1 opposite-Mischpool erfolgreich gekreuzt werden. Letzteres scheint für das Kernpool-System zu sprechen. Aber auch Mischpools haben Vorteile: Da sie Genmaterial aus zwei unverwandten Pools enthalten, verfügen sie über extrem große Aufspaltungsvarianzen, die große Selektionsgewinne erlauben.

Dies spricht dafür, 2 der 3 Kernpools zu einem Mischpool zusammenzufassen.

In den frühen KWS-Zuchtprogrammen ist im Wesentlichen genau diese Strategie verfolgt worden:

Da KWS über einen extrem breiten Flintpool verfügte, hat man bei KWS es vorgezogen, diesen in sich geschlossen der Reziproken Rekurrenten Selektion zu unterziehen. Die beiden Flint x Dent-Mischpools (Flint x BSSS und Flint x Lancaster) haben in den frühen KWS-Zuchtprogrammen so gut wie keine Bedeutung.

Auf der Dentsseite dagegen hat der BSSS x Lancaster-Mischpool ein großes Gewicht. Er ist mindestens so groß wie die beiden Kernpools BSSS und Lancaster zusammen. In diesen Mischpool sind auch zahlreiche südfranzösische und italienische Dent x Dent-Hybriden (auch der Mitwettbewerber) eingeflossen. Das bedeutet, dieser Mischpool ist genetisch extrem breit und kann damit viel nutzbare Aufspaltungsvarianz freisetzen.

Wenn man die Markerergebnisse in *Abbildung 4* ansieht, dann überrascht, dass der reine Flintpool im deutschen Zuchtprogramm genetisch noch breiter ist als alle 3 Dentpools zusammen genommen. Die durchschnittliche genetische Distanz liegt im Flintpool bei 0,605, beim Dentpool bei 0,538, festgestellt an 418 Flint- und 560 Dentlinien des deutschen Zuchtprogrammes. Eine der Stärken der frühen KWS-Zuchtprogramme ist sicher dieser breit angelegte Flintpool und die klare Abgrenzung dieses Pools vom Dentpool wie der hohe Grad der genetischen Distanz von 0,811 zeigt.

2.2 Linienentwicklung

Wie eingangs dargestellt, ist ein wichtiger Schritt in der Hybridzüchtung die Linienentwicklung. Während früher Inzuchtlinien über einen Selbstungsprozess entwickelt werden mussten, der mehrere Jahre in Anspruch nahm, können heute Inzuchtlinien über die sogenannte in-

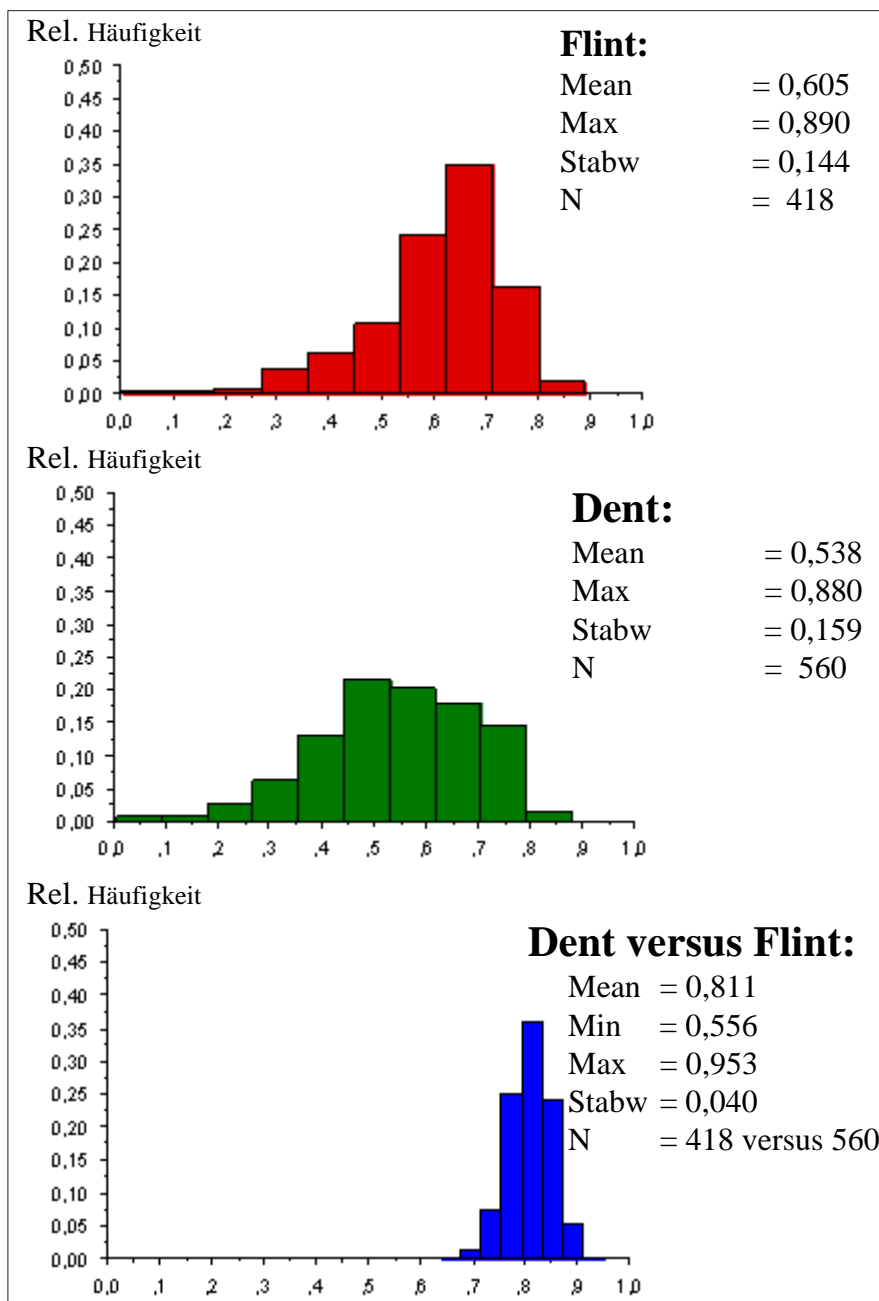


Abbildung 4: Genetische Distanz im deutschen Flint und Dent-Pool

vivo-Haploideninduktionsmethode in einem Schritt entwickelt werden. (Siehe dazu auch den Vortrag von EDER und ROTARENCO im Rahmen dieser Vortragsveranstaltung). In den letzten Jahren ist es in Hohenheim am Lehrstuhl von Herrn Prof. GEIGER gelungen, die Induktor-Linie RWS zu entwickeln, die eine für die praktische Maiszüchtung völlig ausreichende Induktionsleistung von 10 % und mehr aufweist. Gleichzeitig ist es dort auch gelungen, die Raten bei der Hochregulierung vom haploiden auf das diploide Niveau drastisch zu verbessern. Auch hier wurde ein Wert von über 10 % erreicht.

Inzwischen wurde bei KWS die in Hohenheim entwickelte Induktionstechnik so weiterentwickelt, dass heute in allen KWS-Zuchtprogrammen diese Technik zur Standardtechnik bei der Linienentwicklung geworden ist.

In der folgenden *Abbildung 5* ist das Schema der Hybridzüchtung unter Verwendung dieser Technik für einen Selektionszyklus dargestellt.

Etwa 7-10 000 DH-Linien werden jährlich beispielsweise für das deutsche Zuchtprogramm sowohl auf der Dent- wie auch auf der Flintseite entwickelt und per-se getestet. Etwa 10-20 % davon

überleben die Linien-per-se-Selektion. Die positiv selektierte Fraktion wird dem Topcross-Test unterzogen. Hier werden wiederum die besten 10-20 % der getesteten Linien selektiert. Die verbleibende Fraktion geht (je nach Leistung) entweder direkt in das Factorial oder durchläuft noch einmal einen Topcross-Test mit 1 oder 2 Testern.

Aus dem Factorial heraus, in dem die besten Hybridkombinationen ermittelt werden, erfolgt dann die Auswahl der Hybriden für die Sortenanmeldung.

Die nun mehrjährige Erfahrung mit dieser Technik zeigt, dass die Entwicklung von Inzuchtlinien mittels der Haploideninduktion erhebliche Vorteile gegenüber der Entwicklung von Linien über die konventionelle Selbstungstechnik hat.

Die wesentlichen Vorteile der DH-Technik sind:

- DH-Linien besitzen eine deutlich höhere Eigenleistung, da sie in der haploiden Phase und/oder während der DO-Entwicklung einem hohen Selektionsdruck ausgesetzt sind.
- DH-Linien setzen von Anfang an die volle genetische Varianz frei
- Aufgrund der größeren Varianz besitzen die Linien-per-se-Tests und die Topcross-Tests höhere Heritabilitäten
- Es gibt den maskierenden Effekt nicht mehr, der bei der bisherigen Linienselektion durch unterschiedliche Heterozygotiegrade hervorgerufen wird
- Es sind keine aufwändigen Leistungsprüfungen mehr notwendig, um relativ geringe Leistungsunterschiede von Sublinien zu ermitteln
- Die dadurch frei werdende Kapazität kann schon früh für das Testen mit mehreren Testern genutzt werden
- Es gibt keine lästige Restaufspaltung in den Registermerkmalen mehr
- Deshalb sind Sortenanmeldungen früher möglich
- Nach der ersten Selektionsphase sinkt der Zuchtgartenaufwand bei DHs auf etwa 10 % des bislang benötigten Aufwandes ab
- DHs erlauben einen viel effektiveren Zuchtmaterialaustausch zwischen verschiedenen Zuchtprogrammen

Aus diesen Gründen haben wir bei KWS die Linienentwicklung bis auf wenige

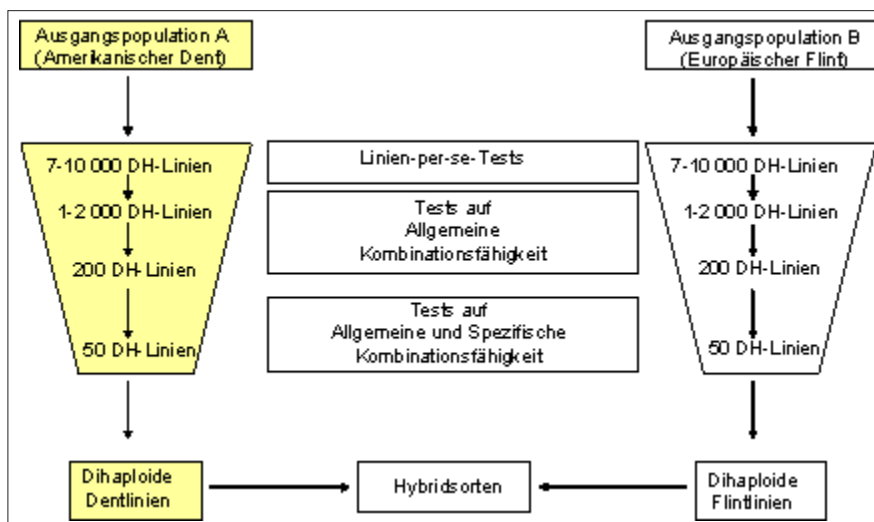


Abbildung 5: Das Schema der Hybridzüchtung in den frühen KWS-Maiszuchtprogrammen unter Anwendung der DH-Technik

JAHR	F2	BC	4W	
02/03	P1 x P2	P1 x P2	P1 x P2	P3 x P4
2003	F1 x RWS	F1 x P1	F1 x F1'	
03/04	D0 x s	BC1 x RWS	S0 x RWS	
2004		D0 x s	D0 x s	
Var. innerhalb	100	75	150	
Var. zwischen	100	125	50	

Abbildung 6: Varianz von DH- Linien aus verschiedenen Ausgangspopulationen

• Selektion an den Linien per se	• Selektion an den Hybriden
<ul style="list-style-type: none"> • Kältetoleranz • Herbizidtoleranz • Bestockung • Frühreife • Pollenspendereignung • Verdaulichkeit der Restpflanze • Blattkrankheiten • Standfestigkeit <ul style="list-style-type: none"> • Wurzellagerresistenz • Green-Snapping-Res. • Stängelfäuleresistenz • Saatergebnung <ul style="list-style-type: none"> • Saatgutertrag • Saatgutqualität 	<ul style="list-style-type: none"> • Kältetoleranz • Herbizidtoleranz • Blattkrankheiten • Standfestigkeit <ul style="list-style-type: none"> • Wurzellagerresistenz • Green-Snapping • Stängelfäuleresistenz • Kornertrag bei KM • Korn-TS% bei KM • Energieertrag bei SM <ul style="list-style-type: none"> • GTM-Ertrag • Energiedichte • Gesamtpflanzen-TS% bei SM • Ertragsstabilität bei KM und SM

Abbildung 7: Wichtige Merkmale in den frühen Maiszuchtprogrammen

Ausnahmen auf die DH-Technik umgesetzt, wohl wissend, dass der Selektionsgewinn pro Jahr nicht unbedingt wesentlich höher ausfallen muss, als bei einer optimierten Mehrstufenselektion im kon-

ventionellen Verfahren. Aber die logistischen Vorteile sind so überwältigend groß, dass sich diese Methode unseres Erachtens in allen Hybridmaiszüchtungsprogrammen der Welt schnell

durchsetzen wird.

2.3. Aufbau neuer Ausgangspopulationen (Rekombination)

Wie eingangs in *Abbildung 1* dargestellt, werden neue verbesserte Ausgangspopulationen gewonnen, indem neue Inzuchtlinien, nachdem sie ein- oder mehrfach auf Kombinationsfähigkeit getestet worden sind, mit anderen Linien aus demselben Pool rekombiniert werden.

Umfragen in den USA haben ergeben, dass dort die Züchter die neuen Linien restriktiv rekombinieren. Man schätzt, dass dort 90 % der neuen Linien bisher aus F₂-Populationen und 8 % aus Backcross-Populationen gezogen worden sind. Nur 2 % der Linien sollen aus Intrapool-Threeways oder Intrapool-Doubles entwickelt worden sein.

In der folgenden *Abbildung 6* sind die Varianzverhältnisse für DH-Linien dargestellt, wenn diese aus F₂-Populationen (F₂), aus Backcross-Populationen (BC) oder aus Intrapool-Doppelhybriden (4W) entwickelt werden.

Um eine Bezugsbasis zu haben, wurde die Varianz, die eine zufällige F₂-Population freisetzt, gleich 100 gesetzt. Man sieht, DH-Linien aus einer BC-Population zeigen eine geringere Aufspaltungsvarianz als DHs aus einer F₂-Population. DHs aus Doubles dagegen setzen 50 % mehr Varianz frei als DHs aus einer F₂-Population. Das scheint eindeutig dafür zu sprechen, neue DH-Linien vorwiegend aus Doubles zu entwickeln.

In *Abbildung 6* sind aber auch die Varianzen zwischen den F₂-Populationen, zwischen den BC-Populationen und zwischen den Doubles aufgeführt. Man sieht, die größere Aufspaltungsvarianz bei den DHs aus Doubles wird bei den DHs aus F₂- oder BC-Populationen durch größere Varianzen zwischen den Populationen kompensiert. In der Summe wird bei allen 3 Populationsformen die gleiche Varianz freigesetzt (GEIGER, mündl. Mitteilung, 2003).

Da Doubles also eine ebenso große Brauchbarkeit (Usefulness) aufweisen wie F₂-Populationen, aber gleichzeitig mehr Rekombinationsereignisse ermöglichen, werden bei KWS Doubles weit mehr als Ausgangspopulationen für die

- Wir wechseln in spätere Reifegruppen
- Wir machen spätes Zuchtmaterial kältetolerant
- Wir integrieren Kurztaggene aus exotischen Populationen
- Wir integrieren markergestützt Gene für Low-Input-Eignung
- Wir optimieren den Energiemais für eine C3/C4-Pflanzen Fruchtfolge

- Durch die Kombination dieser Maßnahmen soll der GTM-Ertrag bei Mais von gegenwärtig 17-20 t/ha auf 30 t/ha gesteigert werden
- In der Kombination von Mais und einer C3-Pflanze als Vorfrucht sollen 40 t/ha realisiert werden

Abbildung 8: Züchterische Ansätze zur Steigerung der Energieleistung bei Mais



Abbildung 9: Peruanischer Mais, angebaut im Zuchtgarten Einbeck



Abbildung 10: Stängel einer deutschen, italienischen und peruan. Sorte

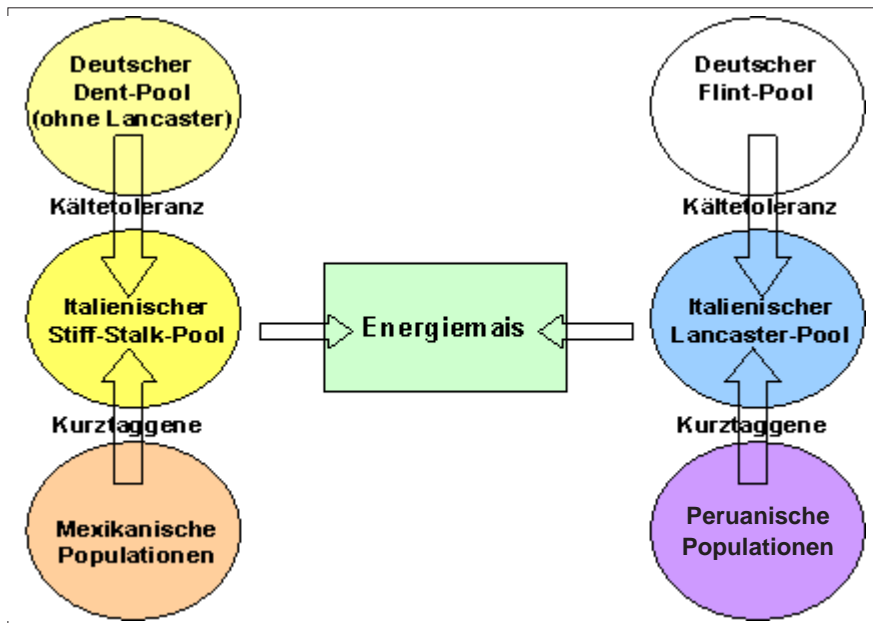


Abbildung 11: Genetische Basis der Energiemais-Hybriden

Linienentwicklung verwendet als in den USA üblich.

2.4. Marker gestützte Selektion (MAS)

Bis vor kurzem war die Selektion am Phänotyp auf dem Feld die vorherrschende Selektionsmethode. Heute steht dem

Maiszüchter in vielen Merkmalen das „Werkzeug“ der Marker gestützten Selektion zur Verfügung. In der *Abbildung 7* sind die wichtigsten Merkmale aufgeführt, die der Maiszüchter in den früheren Maiszuchtprogrammen an den Linien und/oder an den Hybriden zu selektieren hat. Bei den in der *Abbildung 7* unterstrichenen

Merkmale stehen bereits heute Marker für die Selektion zur Verfügung oder sie befinden sich bereits in der Entwicklung.

2.5. Neue Nutzungsrichtung: Energiemais

Die Produktion von Energie könnte zukünftig ein wichtiger Betriebszweig in der Landwirtschaft werden. (Siehe dazu auch die 3 Vorträge von KESTEN, JÄGER und AMON im Rahmen dieser Vortragsveranstaltung).

Seit einigen Jahren ist man bei KWS dabei, Maissorten für diesen Betriebszweig, die Energieproduktion, zu entwickeln. Das Ziel sind dabei höchste Energieerträge je Hektar, was im Moment noch mit höchsten Methanerträgen je Hektar gleichzusetzen ist.

Hierbei werden bei KWS folgende in *Abbildung 8* dargestellten Ansätze verfolgt.

Eine wichtige Rolle spielt hierbei die Integration von Kurztaggenen aus mexikanischen und peruanischen Populationen, die unter dem deutschen Langtageinfluss ein enormes vegetatives Wachstum aufweisen, wie auf den folgenden *Abbildungen 9* und *10* deutlich zu erkennen ist. Um das Maximum an Energieleistung zu erzielen, werden bei der Entwicklung von Energiemais-Hybriden 3 Genpool-Systeme kombiniert eingesetzt.

Es sollen hierbei die Vorteile der verschiedenen Zuchtmaterialgruppen zusammengeführt werden:

Das italienische Zuchtmaterial besitzt das höchste Kornertragspotential der Welt, ist aber nicht kältetolerant. Diese Eigenschaft kann das deutsche Zuchtmaterial beisteuern, da es weltweit die beste Kältetoleranz besitzt. Die exotischen Materialgruppen steuern die Kurztaggene bei, die das vegetative Wachstum unter dem Langtageinfluss in Deutschland enorm stimulieren.

3. Zusammenfassung

Im Vortrag wird zunächst das Prinzip der Hybridzüchtung dargelegt. Diese Zuchtmethodik hat 2 Ziele: Die Entwicklung von Hybriden und die zyklische Verbesserung zweier komplementärer Aus-

gangspopulationen in der Kombinationsfähigkeit zueinander.

Danach werden spezifische Aspekte der frühen KWS-Maiszuchtprogramme beleuchtet: Die Genpooleinteilung, die Linienentwicklung, die Rekombination, die Markeranwendung und die neue Zuchtichtung Energiemais.

❶ In den frühen Zuchtprogrammen gibt man bei KWS dem Dent x Flint-Genpoolsystem den Vorrang.

❷ Inzuchtlinien werden in allen Zuchtprogrammen der KWS fast ausnahmslos über die in Hohenheim entwickelte Methode der Haploideninduktion entwickelt. Die Vorzüge dieser Methode werden eingehend beleuchtet.

❸ In den KWS-Zuchtprogrammen unterstützen Marker bei einigen Merkmalen bereits heute die Selektion. Bei vie-

len Merkmalen sind sie noch in der Entwicklung.

❹ In der Energiemaiszüchtung verfolgt KWS 5 sich ergänzende Ansätze: Der Wechsel in spätere Reifegruppen, die Verbesserung der Kältetoleranz, die Integration von Kurztaggenen, die Integration von Genen für Low-Input-Eignung und die Optimierung des Maises für eine C3/C4-Pflanzen-Fruchtfolge.