

## Ergebnisse der Hybridzüchtung und andere Züchtungsergebnisse

Dr. Martin FRAUEN (1), Dr. Werner PAULMANN (2)

- (1) Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG, Hohenlieth, 2331 Holtsee, Deutschland  
 (2) Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Von Siebold-Strasse 8, 3400 Göttingen, Deutschland

In der Züchtung von 00-Winterrapsorten wird in den letzten Jahren zunehmend "Feinarbeit" geleistet; es gilt zum einen, direkt oder indirekt weiterhin die Korn- und Ölerträge zu steigern, und zum anderen, eine weitere Qualitätsverbesserung zu erreichen. Schließlich sind die ertragssichernden Faktoren wie Krankheitsresistenzen, Standfestigkeit, Platzfestigkeit und Winterfestigkeit weiter zu verbessern. Nicht zuletzt gibt es erste Ansätze, die Umsetzung der aufgenommenen Nährstoffe in pflanzliche Masse noch effizienter zu gestalten. Die modernen biotechnologischen und auch gentechnologischen Verfahren sind zunehmend auch für die praktische Rapszüchtung interessante Hilfsmittel. Der Aufbau einer Hybridzüchtung bei 00-Winterraps soll nach einigen allgemeineren Aussagen den Schwerpunkt dieses Beitrages bilden.

### A. Qualitätszüchtung

#### Nahrungsmittelqualität

Mit der Eliminierung der Erucasäure ist der entscheidende Schritt zum vollwertigen Nahrungsmittel erfolgt, jedoch gehen die züchterischen Bemühungen zur Verbesserung des ernährungsphysiologischen Wertes (Veränderung Linol-/Linolensäureanteile) in enger Zusammenarbeit mit den Ernährungswissenschaftlern weiter.

#### Rapsschrotqualität

Die weitere Reduzierung des Merkmals Glucosinolatgehalt bedeutet eine langwierige und aufwendige Züchtungsarbeit einerseits und eine leistungsfähige Laboranalytik andererseits. 5.000 Untersuchungen am Gaschromatographen und 25.000 Palladium-Tests pro Saison verdeutlichen dies. Heute steht bereits Zuchtmaterial mit unter 5 µmol/g Saat zur Verfügung. Ferner soll das Rapsschrot durch Erhöhung des Eiweißgehaltes und durch Verringerung von wertmindernden Substanzen Tannin-, Phytin- und Sinapingehalte verbessert werden.

#### Rapsölqualität für die Verwendung als nachwachsender Rohstoff

Hierfür wird ein möglichst hoher Gesamtölgehalt mit möglichst homogener Zusammensetzung der Fettsäuren angestrebt. Etwa 20 Prozent unserer Zuchtgartenparzellen gelten bereits diesen Anforderungen. Ein erster Erfolg ist die Zulassung der hoch erucasäurehaltigen Sorte ASKARI durch das Bundessortenamt im Dezember 1991. Zur Aussaat 1992 war Saatgut dieser Sorte ausverkauft! Im Merkmal Ölertrag kommt diese Sorte an das Spitzenfeld der 00-Sorten heran! Das Qualitätsmerkmal "Erucasäure" kann mit einem Spitzenwert von über 50 (bis 55) Prozent angegeben werden.

Für bestimmte Möglichkeiten der technischen Verwendung von Rapsöl werden sehr hohe Ölsäuregehalte gewünscht, angestrebt werden Ölsäuregehalte von über 80 Prozent. Im heute verfügbaren Zuchtmaterial sind bis zu 60 Prozent vorhanden.

Um auch gentechnische Möglichkeiten zu prüfen und eventuell nutzen zu können, beteiligt sich NPZ an verschiedenen gentechnologischen Projekten.

## B. Resistenzzüchtung

Die große Anbaubedeutung des Winterrapses, damit verbunden enge Fruchtfolgen und die Neuordnung der EG-Agrarmarktpolitik bei Ölsaaten rücken die Resistenzzüchtung bei Raps noch stärker in den Vordergrund. Schlagworte wie "low input" machen die Runde. Von den Züchtern wird verstärkt erwartet, hoch wirksame Resistenzen gegenüber vielen Krankheiten dauerhaft in die Sorten einzulagern.

Erfahrungen aus anderen Kulturarten lehren uns, daß in der Resistenzzüchtung mit dem Pathogen zu leben ist; völlige Befallsfreiheit ist nicht das Zuchtziel. Laufend werden neue Krankheiten isoliert, und umgehend gilt es, Resistenzen zu selektieren. Der Wettlauf zwischen Pathogen und Resistenzzüchtung ist auch bei Raps ein spannender und kontinuierlicher Prozeß. Doch unsere Erfolge und Fortschritte in der Resistenzzüchtung können sich durchaus sehen lassen.

Die Selektion im Feld unter natürlichen - und damit jährlich schwankenden - Infektionsbedingungen war die bis vor einigen Jahren einzige Möglichkeit, Sortenunterschiede festzustellen. Darüber hinaus ermöglichen heute biotechnische Verfahren für einzelne Krankheiten Massentests an jungen Rapspflanzen. Einen weiteren Fortschritt bietet die Möglichkeit, biochemische Meßmethoden einzusetzen, um den Grad des Krankheitsbefalls zu bestimmen. Dadurch ist es möglich, Resistenzunterschiede aufzuspüren, bevor sie optisch in Erscheinung treten (zum Beispiel bei *Verticillium*). Resistenzzüchtung heute findet also nur zu einem Teil im Freiland statt. Biotechnische Verfahren, Gewächshäuser und Laboranalytik werden zunehmend wichtigere Bestandteile der "Werkstatt des Züchters".

### Fortschritte bei der Resistenzzüchtung von Raps

Vorweg ist anzumerken, daß bislang alle amtlichen Prüfungen des Bundessortenamtes für die Sortenzulassung einfaktoriell durchgeführt wurden, das heißt ohne Einsatz von Fungiziden. So haben ausschließlich Rapsorten mit ausreichend breiter "Basisresistenz" eine amtliche Sortenzulassung erhalten. Diese Tatsache ist im Hinblick auf die neue Marktordnung bedeutungsvoll, denn jetzt wird jahrzehntelange Resistenzzüchtung stärker honoriert als zuvor. Unsere vor mehr als zehn Jahren begonnenen intensiven Resistenzselektionen und -züchtungen sind somit maßgeschneidert für die neue Marktordnung.

Im einzelnen müssen eine Vielzahl von Pilzkrankheiten in der Rapszüchtung berücksichtigt werden. Die größten Anstrengungen in der Resistenzzüchtung gelten beim Raps nach wie vor der Krankheit *Phoma lingam*. Bemerkenswerte Selektionserfolge konnten erzielt werden. In Darstellung 1 ist das heutige 00-Sortenspektrum dargestellt, eine Vielzahl von Sorten hat inzwischen mit der Note 2 im Merkmal "Anfälligkeit gegenüber *Phoma lingam*" das legendäre JET NEUF-Niveau erreicht.

Allerdings ist zu beachten, daß es bislang nicht gelungen ist, mittelfrühe Sorten mit höchster *Phoma*-Resistenz-Einstufung zu schaffen. In diesem Zusammenhang wird zunehmend die Methodik zur *Phoma*-Resistenzbeurteilung kritisch gesehen. Frühreife Sorten zeigen bereits natürliche Seneszenzerscheinungen, wenn zum bislang üblichen Termin der Schwadreife eine Stoppelbonitur vorgenommen wird. Nach neuesten Erkenntnissen sollte daher die *Phoma*-Resistenzbeurteilung vorgezogen werden, etwa auf den Termin "Beginn der Schotenfüllung" (Entwicklungsstadium 79/81). Zu diesem Termin kann gleichzeitig für alle Sorten eine Beurteilung vorgenommen werden, da Seneszenzvorgänge noch nicht eingesetzt haben. Ermutigend sind die Ergebnisse der vorgezogenen Phomabonitur besonders für die frühreifen Sorten (zum Beispiel NPZ 04), weil sie fairer eingestuft werden als bisher. FALCON als aktuelles Beispiel ist aus Züchtersicht ein Opfer dieser späten Phomabonitur nach der Ernte, gerade das *Phoma*-Jahr 1991 hat in Praxis und Versuchen eine deutlich höhere Feldresistenz dieser Sorte gezeigt, als es die offizielle Bundessortenamt-Einstufung erwarten ließ.

Darstellung 1 Vergleich der wichtigsten 00-Winterrapsorten laut Bundessortenamt-Einstufung - gruppiert nach Reifezeit

Sorte	Korn- Öl- ertrag ertrag		Reife- zeit	Anfälligkeit für				Pflanzen- länge	Neigung zum Lagern
				Phoma	Alternaria	Sclerotinia	Cylindro.		
ZEUS*	7	8	4	4	5	5	5	3	2
FALCON	7	6	4	4	5	6	6	4	3
CERES	6	6	4	5	6	6	6	4	3
MADORA	6	6	4	5	6	5	6	5	3
IDOL	7	8	4	4	5	5	5	3	4
OLYMP	6	6	5	2	4	4	5	5	2
ACCORD	6	7	5	2	4	4	5	5	2
WOTAN*	7	7	5	2	4	5	5	5	3
LIBERATOR	7	7	5	3	4	5	5	5	4
LIRAJET	7	7	5	3	5	4	5	5	3
VIVOL*	7	8	5	2	4	5	4	5	4

\* Neuzulassung Dezember 1991

Quelle: Beschreibende Sortenliste 1992

In intensiven Rapsanbaugebieten mit engen Fruchtfolgen bereitet zunehmend Verticillium dahliae Sorgen. Die NPZ unternimmt zur Zeit erhebliche Anstrengungen, auch gegenüber Verticillium Resistenzen oder zumindest Teilresistenzen zu schaffen. Erste ermutigende Ansätze sind vorhanden.

Eine weitere bodenbürtige Krankheit mit zunehmender Verbreitung in den intensiven Rapsanbaugebieten ist die Kohlhernie (Plasmodiophora). Resistenzen beim Körneraps sind bislang nicht vorhanden. Gewisse Teilresistenzen existieren bei Futterapsformen, höher wirksame Resistenzen liegen in den Grundarten des Rapses, dem Kohl (*Brassica oleracea*) und dem Rüb- sen (*Brassica campestris*), vor. Durch gezielte Resyntheseformen wird die Resistenz in den Raps hineingebracht, so daß mittelfristig mit hoch wirksamen Kohlhernie-Resistenzen im Raps gerechnet werden kann.

Insbesondere in Norddeutschland ist während der vergangenen milden Winterperioden Cylindrosporium stark aufgetreten, und bemerkenswerte Sortendifferenzierungen konnten registriert werden. Zu unterscheiden bei dieser Krankheit ist zum einen der Cylindrosporium-Befall auf dem Blatt, zum anderen die Weiterentwicklung auf Stengel und gar Schoten. Von größter Bedeutung ist, daß die Krankheit nicht von den Blättern auf weitere Pflanzenteile überspringt. Bislang gilt die Cylindrosporium-Resistenz als polygen vererbt, und eine weitere Akkumulation der Resistenz kann erwartet werden. Eine offene Frage ist zur Zeit noch die Bildung von Pilzrassen, welche die geschaffenen Resistenzen gefährden könnten.

Eine systematische Resistenzzüchtung gegenüber Alternaria steht erst am Anfang, doch Befallsunterschiede zwischen Sorten ermutigen, wenn auch Reifeterminunterschiede zu berücksichtigen sind. Langfristig erwartet die Rapsforschung aus interspezifischen Kreuzungen mit *Sinapis alba* (Weißer Senf) die Nutzung hoch wirksamer, spezifischer Resistenzgene aus dieser verwandten Kreuziferenart. Erste ermutigende Kreuzungsexperimente werden bereits durchgeführt.

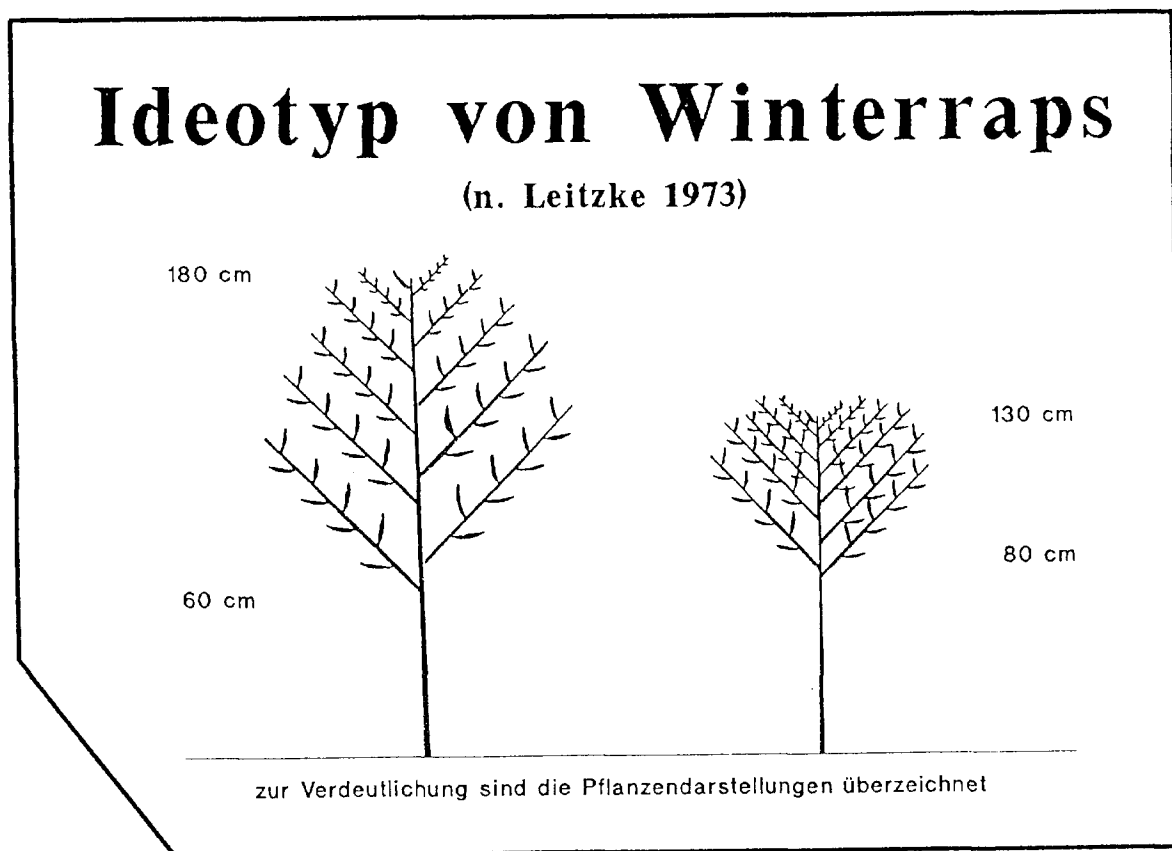
Eine Vielzahl weiterer Pilzkrankheiten wie *Botrytis*, *Peronospora*, *Mycosphaerella* usw. befallen und schädigen den Raps. Auch diese weniger bedeutenden Pilzkrankheiten werden sorgfältig registriert, um festzustellen, inwieweit sie in ihrer Bedeutung ansteigen und inwieweit Befallsunterschiede im Zuchtmaterial existieren. Durch die Anlage mehrortiger Versuchsserien und die sorgfältige Beurteilung von Krankheiten wird gewährleistet, daß ausreichende Basisresistenzen gegenüber diesen Krankheiten vorhanden sind. Gleiches gilt auch für sekundären Pilzbefall, welcher zum Beispiel nach einer Insektenschädigung auftritt. Von guten Sorten muß eine allgemein hohe Widerstandsfähigkeit verlangt werden.

## C. Züchtung auf hohe Korn- und Ölerträge

Die Erhöhung der Korn- und Ölerträge ist nach wie vor das wichtigste Ziel der züchterischen Arbeit; hieran werden letztlich auch Erfolge in der Resistenz- und Qualitätszüchtung oder zur Verbesserung der ertragssichernden Eigenschaften gemessen.

### Der neue Pflanzentyp

Der Züchtungsfortschritt im Kornertrag läßt sich über verschiedene Wege erreichen. Zunächst können einzelne Ertragskomponenten wie Anzahl Schoten je Pflanze, Anzahl Samen je Schote und Tausendkorngewicht einzeln oder insgesamt verbessert werden. Da die einzelnen Ertragskomponenten jeweils negativ miteinander korrelieren, sind Einzelmerkmale immer leichter zu beeinflussen als die gleichzeitige Verbesserung aller. In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, daß die heutigen leistungsfähigen 00-Winterrapsorten in der Regel ein etwas niedrigeres Tausendkorngewicht - bei gleichem oder gar höherem Ertragspotential - aufweisen. Auf Grund unserer Beobachtungen ist dies in erster Linie auf eine höhere Anzahl Samen je Schote oder besser ausgedrückt Fertilität je Schote zurückzuführen, was sich besonders bei widrigen Witterungsverhältnissen während der Blüte günstig auswirkt.



Darstellung 2 Ideotyp von Winterraps (nach Leitzke, 1973)  
(zur Verdeutlichung sind die Pflanzendarstellungen überzeichnet)

Zur züchterischen Beeinflussung der Ertragsstruktur gehört auch die Verbesserung des Harvest-Indexes von heute etwa 30 bis 38 Prozent auf gut 40 Prozent. Dies scheint auf Grund der vorhandenen genetischen Variation in diesem Merkmal durchaus realistisch.

Die Assimilation kann optimiert werden durch eine verbesserte Standfestigkeit und durch Vermeidung von zu üppigen Blattflächen-Indices (Assimilationsverluste). Bedeutende Assimilationsleistungen werden von den grünen Schotenwänden erbracht. Eine kritische Phase für die Assimilation wird von den Ertragsphysiologen während der Blüte gesehen, da die gelben Blütenblätter nicht Unerhebliches an Sonnenlicht reflektieren.

## Hybridsorten

Die Züchtung von Hybridsorten beim Raps wird seit fast zwei Jahrzehnten diskutiert; mit den ersten Berichten über erhebliche Ertragszuwächse bei F1-Hybriden und der Entdeckung von CMS (Cytoplasmatische Männliche Sterilität) wird zur Zeit die Entwicklung von Hybridraps intensiv vorangetrieben. Erste Experimentalhybriden innerhalb der 00-Qualität haben Mehrerträge von 15 bis 20 Prozent gegenüber besten Sorten gezeigt.

Der Aufbau der Hybridzüchtung bei Winterraps stellt ein sehr aufwendiges züchterisches Unterfangen dar. Neben den umfangreichen Testkreuzungen zur Erstellung von Experimentalhybriden muß das gesamte Zuchtmaterial in pollensterile Mutterlinien und fertile Vaterlinien eingelagert werden. Hybridsaatgut wird daher deutlich teurer werden als das heute vermarktete Saatgut offen abblühender Sorten. Der Mehrertrag muß diese Kosten decken.

Nachdem erste F1-Hybridsorten bei Sommerraps in Kanada bereits in den Markt eingeführt wurden, steht die Sortenentwicklung bei Winterraps in den Startlöchern. Die Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG hat im Oktober 1990 weltweit die erste 00-Winterrapshybride beim Bundessortenamt zum Schutz angemeldet, im Prüfungsjahr 1992/93 steht die erste 00-Winterrapshybride in der deutschen Wertprüfung, ab 1996 kann also mit kommerziellem Hybridsaatgut bei Raps gerechnet werden.

## Hybridsysteme

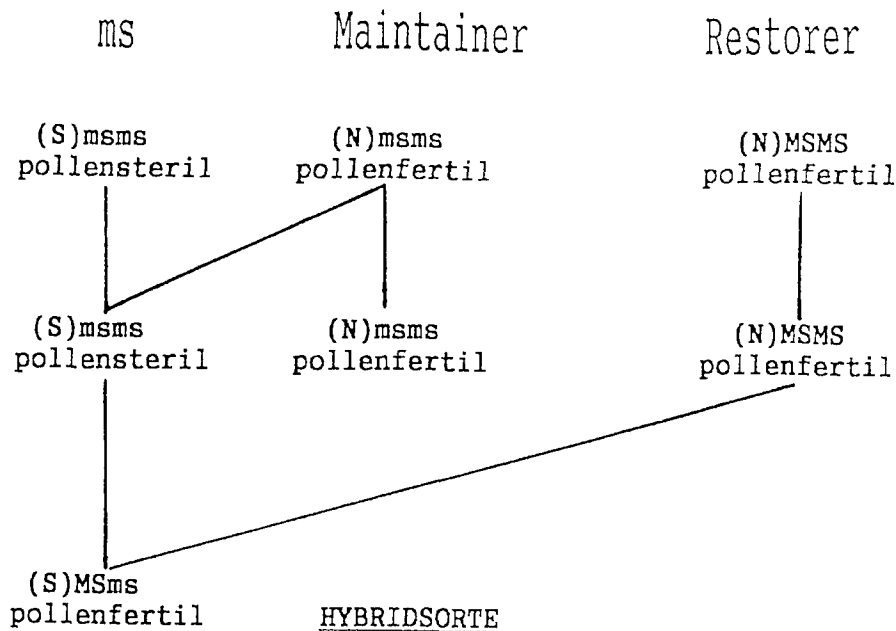
Aufgrund der Blütenmorphologie des Rapses ist zur Produktion von Hybridsorten ein Fremdbefruchtungssystem wie männliche Sterilität oder Selbstinkompatibilität unumgänglich. Hier sind in letzter Zeit mehrere funktionsfähige Systeme entwickelt worden.

Systeme mit Selbstinkompatibilität (SI) haben vollständig ausgebildete Blüten; selbstinkompatible Pflanzen können jedoch nicht von ihrem eigenen Pollen befruchtet werden, weil spezifische Glycoproteine auf dem Narbengewebe eine Selbstbefruchtung verhindern. Um mit Hilfe der Selbstinkompatibilität Hybridsorten zu züchten, benötigt man verschiedene reinerbig selbstinkompatible Inzuchtlinien, bei denen durch Knospenseibstung, CO<sub>2</sub>-Begasung oder andere Techniken das SI-System zeitweise umgangen wird. Zur Hybridsaatgutproduktion werden Elternlinien mit verschiedenen "SI-Allelen" verwendet.

Weitere Fremdbefruchtungssysteme basieren auf männlicher Sterilität beziehungsweise Pollensterilität. Man unterscheidet kerngenisch bedingte und cytoplasmatische männliche Sterilität (CMS). Letztere wird heute von den meisten Rapszüchtern angewendet. Verschiedene CMS-Systeme sind nach Kreuzung von Raps mit verwandten Arten entstanden, auch konnte durch Protoplastenfusion ein vollständiges System entwickelt werden. Neben dem Polima-System wird insbesondere das Ogura-System aus Raphanus (Ölrettich) im großen Umfange genutzt. In Darstellung 3 ist die Hybridzüchtung mit Nutzung von CMS schematisch dargestellt.

Grundsätzlich sind drei Komponenten erforderlich:

1. Eine plasmatische Komponente (S-Plasma), die im Gegensatz zum normalen Plasma (N-Plasma) männliche Sterilität bewirkt, wenn die entsprechenden Kerngene (ms ms) ebenfalls die Ausbildung von Pollen verhindern.
2. Die sogenannte Maintainerlinie, die selbst Pollen produzieren kann, da sie ein normales Plasma (N-) Plasma besitzt. Durch Bestäubung der sterilen Linie mit der Maintainerlinie wird in den Nachkommen männliche Sterilität vollständig erhalten.
3. Die Hybride selbst muß ein normales fertiles Blühverhalten zeigen, um einen sicheren Samenansatz zu ermöglichen. Deshalb besitzt die Bestäuberlinie des Saatelers Restorerogene, die die Pollenentwicklung in der Hybridsorte wiederherstellen.



Darstellung 3 Allgemeines Schema der Hybridzüchtung mit CMS

### Leistungsfähigkeit von Hybridsorten

Sowohl für die direkte Hybridsortenentwicklung als auch für den Aufbau von Ausgangspopulationen benötigt der Züchter Kenntnisse über allgemeine oder spezifische Kombinationseignung, die mit Hilfe von Testkreuzungen erzielt werden. Ein besonderes Problem bei der Herstellung von Experimentalhybriden ist die Saatguterzeugung für Leistungsprüfungen, da die erforderlichen Handkreuzungen bei umfangreichen Kombinationen arbeitstechnisch nicht zu bewältigen sind. Nach Erzeugung erster steriler Mutterlinien durch Rückkreuzungen ist man heute in der Lage, auch in größerem Maßstab Experimentalhybriden zu erzeugen, dabei wird teilweise zunächst auf die Restoration verzichtet oder mit kerngenischer Sterilität gearbeitet.

Viele in den letzten Jahren durchgeführte Untersuchungen mit F1-Rapshybriden ergaben Mehrerträge von bis zu 50 Prozent über den Ausgangslinien. Derartige Angaben haben allerdings keine große praktische Aussagekraft, denn der Heterosiszuwachs ist naturgemäß relativ umso höher, je geringer die Leistung der elterlichen Inzuchtlinien ist. Allein ausschlaggebend für den wirtschaftlichen Wert einer Hybride ist der direkte Vergleich zu den ertragsfähigsten Sorten. Anhand mehrjähriger Ergebnisse innerhalb des 00-Zuchtmaterials liegen die Erträge der Hybriden durchschnittlich um sieben Prozent über dem Mittel der Vergleichssorten (FALCON, LIRAJET, ZEUS); die besten F1-Kombinationen erreichen allerdings Mehrerträge von 25 Prozent über den genannten Vergleichssorten.

Im Hinblick auf die neue Marktordnung werden die heterotischen Mehrerträge möglicherweise nicht voll genutzt werden, sondern Hybridsorten könnten auch eingesetzt werden, um bei reduziertem Einsatz von Produktionsmitteln gleich hohe Erträge zu erzielen wie von intensiv geführten konventionellen Sorten. Allgemein gesprochen sind Hybridsorten effizienter in der Ausnutzung der Produktionsfaktoren.

Doch der Vorteil von Hybridsorten gegenüber Liniensorten liegt nicht allein in der Ertragssteigerung, sondern auch in einer erhöhten Ertragsstabilität, bedingt durch die Heterozygotie der Hybriden. Sowohl Winterfestigkeit als auch allgemeine Widerstandsfähigkeit gegenüber Pilzkrankheiten sind als heterotische Merkmale anzusehen; daher sind besonders unter ungünstigen Umweltbedingungen die Hybriden den Liniensorten überlegen. Abbildung 4 zeigt,

## **C. Ausblick**

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Rapszüchter bei Lembke die technisch-methodischen Voraussetzungen für eine Intensivierung und Differenzierung der Rapszüchtung geschaffen haben. Die jetzt geforderte "Feinarbeit" in der Rapszüchtung stellt in der Summe aller Anforderungen und Zuchtziele ein sehr umfangreiches züchterisches Vorhaben dar. Die Investitionen in heute laufende Rapsprogramme haben im Vergleich zu den Vorjahren enorme Größenordnungen erreicht. Jedoch: die Kulturpflanze Raps gehört inzwischen weltweit zu den interessantesten Ölpflanzen - ein Ergebnis praktischer Zuchtarbeit, ergänzt und unterstützt durch vielfache wissenschaftliche Vorlauftforschung. Weitere Zuchtfortschritte bei Raps sind zu erwarten, damit bleibt diese Kulturpflanze auch künftig eine interessante Frucht für die europäische Landwirtschaft.