

## Gegenwärtiger Stand und Perspektiven der Körnerrapszüchtung

REINHARD SEEHUBER

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

### 1 Einleitung

Nach der ersten Energiekrise von 1973 wurde mit steigendem Interesse der Anbau von Alternativfrüchten diskutiert. Dazu gehören auch die Ölfrüchte, die einmal wertvolle Inhaltsstoffe in den Samen speichern, die zu hochwertigen Produkten in der Oleochemie weiterverarbeitet werden, aber auch als Energieträger fungieren können. Der Brennwert eines Liters Pflanzenöl ist dem eines Rohölproduktes weitgehend gleichzusetzen.

Der Raps, d. h. eigentlich nur die Winterform, der Winterraps, gilt als „die leistungsfähigste, am besten an unsere Klimaverhältnisse angepasste, ölliefernde Kulturpflanze in Mitteleuropa“ (Schuster, 1987). Im engeren Sinne ist Winterraps schon lange keine Anbaualternative, da er in vielen Regionen Norddeutschlands seit Jahrzehnten ein fester Bestandteil etablierter Fruchtfolgen ist. Daher ist die Forschung in pflanzenbaulichen und phytosanitären Bereichen sehr intensiv und hat neben den Züchtungsarbeiten zu einer starken Ertragssteigerung bei gleichzeitiger Qualitätsverbesserung geführt. Ob und wie die Rapszüchtung zu einer alternativen Nutzung, d. h. nicht im Lebensmittelbereich, sondern im oleochemischen oder Energiesektor, des Rapsöls beitragen kann, soll im folgenden, auch anhand einer Darstellung der Entwicklung der Züchtung, aufgezeigt werden.

### 2 Abstammung, Befruchtungssystem

Die Art *Brassica napus* liefert drei Nutzungsrichtungen, die Kohlrübe (*B. napus* var. *napobrassica*), den Futterraps (*B. napus* var. *biennis*) und den Winter- oder Sommerraps (*B. napus* var. *oleifera*) als Ölfucht (IBPGR, 1981). *Brassica napus* ( $2n = 38$ , AACC) ist ein Amphidiploid von *B. oleracea* ( $2n = 18$ , CC; Kohl) und *B. campestris* ( $2n = 20$ , AA, Rüben). Die Verwandtschaftsverhältnisse innerhalb der Gattung von *Brassica* wurden 1935 von U experimentell nachvollzogen und in einem Dreieck dargestellt (Abb. 1).

Vermutlich ist *B. napus* aus einer spontanen Kreuzung von Kohl mit Rüben entstanden, daher kann Raps aus solchen Kreuzungen synthetisiert werden. Falls es so war, müssen sich solche Kreuzungen wahrscheinlich mit niedriger Frequenz im Mittelmeerraum ereignen haben, dem Gebiet, wo sich das Verbreitungsgebiet der europäischen Rübenformen und Kohl überlappt (McNaughton, 1976). Auch ist ungewiß, ob eine Wildform des Rapses existiert. In Aufzeichnungen aus dem Mittelalter wird Raps bereits als Ölfucht genannt; Raps und Rüben waren das wichtigste Leuchtöl, bis es durch Petroleum verdrängt wurde. Feldmäßiger Anbau wird zum erstenmal aus dem 17. Jahrhundert in Flandern berichtet (Schiemann, 1932).

Vom Befruchtungssystem her ist der amphidiploide Raps als 'Selbstbefruchter mit partieller Fremdbefruchtung' einzuordnen. Die Fremdbefruchtungsrate wird sehr unterschiedlich angegeben, von Hühn u. Rakow (1979) mit 5 - 15 %, dagegen von Rudloff u. Schweiger (1984) mit 15 - 55 % in Abhängigkeit von Sorte und Jahr.

Oft zeigt Raps bei Selbstung keine Inzuchtdepression, so daß es auch reine Liniensorten neben Populationsorten gibt.

### 3 Entwicklung des Anbaus

Der nachstehende historische Abriß aus Brauer (1978) bezeichnet die Entwicklung der Rapszüchtung in Deutschland und ab 1945 in der Bundesrepublik Deutschland:

- 1878 Mit 179 400 ha erreicht die deutsche Rapsproduktion infolge der Kontinentalsperre und der Schutzzollpolitik des Deutschen Reiches ihren ersten Höchststand.
- 1913 Mit 13 000 ha ist die Rapsanbaufläche sehr gering infolge der Freihandelspolitik der Reichsregierungen seit von Caprivi.
- 1919 Mit 200 000 ha erlangt die Rapszüchtung und die Eigenversorgung mit pflanzlichen Ölen, organisiert durch den „Kriegsausschuß für Öle und Fette“ einen erneuten Höchststand.
- 1933 Mit 5 000 ha ist die Rapsproduktion ab 1920 infolge der von den Siegermächten erzwungenen Liberalisierung der Einfuhr von hochwertigen pflanzlichen Ölen zusammengebrochen; gleichzeitig Aufbau eines negativen Images für „Raps-Kriegsmargarine“.
- 1940 120 000 ha werden aufgrund agrarpolitischer Maßnahmen im Hinblick auf die Versorgung im Kriege angebaut.
- 1948-1952 Der Anbau nach dem Kriege geht auf 54 000 ha zurück, da der Import qualitativ hochwertiger Ölsaaten liberalisiert ist.
- 1966 47 000 ha; die EG-Marktordnung für Fette zur Sicherung einer einheimischen Rapsproduktion in den Staaten der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft wird eingeführt. In-

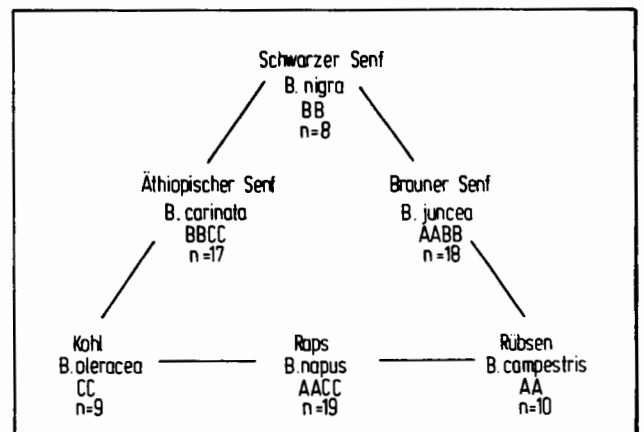


Abb. 1: Verwandtschaftsbeziehungen der Brassica-Arten: Das Dreieck von U

tensive Züchtungsarbeiten zur qualitativen Verbesserung des Rapses führen zu einer Umstellung des Rapsanbaues auf genetisch erucasäurefreie Sorten in der Umstellungsaison 1974/75.

- 1977 104 370 ha; weiter zunehmender Anbau von Raps.  
 1986 387 000 ha; Höchststand des Rapsanbaues.  
 1991/92 Die von der EG gewährte Rapsbeihilfe soll auf solche Qualitäten beschränkt werden, die erucasäurefrei und glucosinolatarm sind.

#### 4 Zuchtziele

##### 4.1 Qualität

Die – außer in Notzeiten – geringe Nachfrage nach Rapssaat beruhte auf spezifischen Qualitätsmängeln sowohl des extrahierten Öles (als Rüböl bezeichnet) als auch des nach der Verarbeitung anfallenden Rapsschrotes. Tabelle 1 vergleicht die Fettsäurezusammensetzung von Rüböl aus alten (vor 1974) und neuen Rapsorten im Vergleich zu einem idealen pflanzlichen Nahrungöl.

Tabelle 1: Vergleich der Fettsäurezusammensetzung von Rübölen (Röbbelen, 1985)

Fettsäure Name	Symbol	Alte Winter-rapssorte	Neue Winter-rapssorte	Ideales pflanzl. Nahrungöl
Palmitinsäure	16:0	3,8	9,2	10-15
Ölsäure	18:1	11,2	59,8	Rest
Linolsäure	18:2	13,7	19,4	>35
Linolensäure	18:3	8,1	10,2	0
Eicosensäure	20:1	9,6	0,2	0
Erucasäure	22:1	52,3	0,3	0

Bei den Brassica-Arten ist ein hoher Anteil an der langkettigen Erucasäure charakteristisch. Zahlreiche Fütterungsversuche ergaben, daß eine Verfütterung von erucasäurehaltigem Rüböl zu ernährungsphysiologischen Schäden führt. Daher kann als Ausgangspunkt der modernen Rapszüchtung das Auffinden einer erucasäurefreien Mutante in der deutschen Sommerrapssorte 'Lihø' von Stefansson, Hougén und Downey, 1961, bezeichnet werden. Durch Einkreuzung dieser Mutante ('zero-erucic') wurden weltweit sogenannte „O-Sorten“ entwickelt. Ihre Erucasäurefreiheit geht auf zwei Gene zurück, von denen inzwischen mehrere rezessive Allele mit additiver Wirkung für verschiedene niedrige Erucasäuregehalte bekannt sind (Röbbelen, 1985).

Für das Auffinden der Mutante wurde erstmals in der Pflanzenzüchtung der damals neu entwickelte Gaschromatograph genutzt. Das Verfahren konnte so optimiert werden, daß für die Analyse ein einzelnes Keimblatt ausreicht, der Restembryo kann gegebenenfalls im Gewächshaus ohne besonderen Aufwand zu einer normalen Pflanze herangezogen werden („Halbkornmethode“). Da das Fettsäuremuster der Samen aufgrund der Doppelbefruchtung auch vom Pollen bestimmt wird, ist es möglich, schon in den F<sub>2</sub>-Samen der F<sub>1</sub>-Pflanzen auf ein bestimmtes Fettsäuremuster auszulesen (Downey und Harvey, 1963, Stefansson und Hougén, 1964). Von Thies (1971) wurde eine papierchromatographische Methode zum schnellen und einfachen Nachweis von Erucasäure entwickelt, die von allen

deutschen Rapszüchtern angewendet wird. Da es sich bei der Züchtung von O-Raps um eine ja/nein-Entscheidung handelt, ist eine derartige Methode leicht anwendbar.

Nun werden neuerdings wieder verstärkt Öle mit hohen Anteilen an Erucasäure von der Oleochemie nachgefragt. Alte Rapssorten, im Ertragspotential von O- und OO-Sorten (zusätzlich Glucosinolatarmut) überholt, haben Erucasäuregehalte meist zwischen 40 % und 50 %. Für eine industrielle Nutzung der Erucasäure ist dieser Anteil zu niedrig, er mußte züchterisch gesteigert werden. Bislang wurden allerdings in keiner Brassica-Art oder anderen Cruciferen-Art (Crambe, Sinapis alba) Erucasäuregehalte von mehr als 66 % gefunden (Seehuber und Dambroth, 1982). Letztlich ist es noch nicht geklärt, ob dieser Wert eine natürliche Obergrenze darstellt, dadurch, daß sich maximal nur zwei Erucasäuremoleküle von drei möglichen Fettsäuren an ein Glycerinmolekül anlagern können oder daß es doch Mutanten geben könnte. Für eine Züchtung auf hohen Erucasäuregehalt müßten wieder aufwendige gaschromatographische Verfahren eingesetzt werden.

Als ein Nahrungsmittelöl sollte Rapsöl auch ein verbessertes Polyenfettsäureverhältnis besitzen (Tab. 1), d.h. Erhöhung des Linol- und Verminderung des Linolensäureanteils. In Mutationsversuchen, Behandlung der Samen mit EMS (Ethyl-methyl-sulfonat), wurden in Göttingen Formen mit 39 % Linol- und 4,3 % Linolen- oder 30 % Linol- und 3,2 % Linolensäure geschaffen (Rakow, 1973; Röbbelen und Nitsch, 1975). Mit diesen Mutanten als Kreuzungseltern wurden in Australien nahezu linolensäurefreie Linien mit nur 1,6-1,8 % Linolensäure bei einem Linolensäuregehalt von 30 % entwickelt (Roy und Tarr, 1986). Obwohl die Linolensäure als Bestandteil der Chloroplastenlipide unentbehrlich ist, schien die fast 85%ige Elimination von Linolensäure keinen ungünstigen Effekt auf die Samenentwicklung und den Ertrag gehabt zu haben. Die weitere Verbesserung der Ölqualität des Rapses ist absolut notwendig, da die Konkurrenzkraft der Sonnenblume, deren Öl fast frei von der unerwünschten, da sehr leicht oxidierbaren Linolensäure ist, in Europa auch innerhalb der EG zunimmt.

Tabelle 2: Gehalt der Rapsfuttermittel an Aminosäuren in g je 100 g Raps-Rohprotein (nach Kling/Wöhlbier aus Lennerts, 1984)

Aminosäuren	Rohprotein von	
	Rapskuchen/Expeller mit 4 bis 7,9 % Rohfett	Rapsextraktionsschrot
Alanin	4,1	4,4
Asparaginsäure	7,6	7,1
Arginin	5,5	5,8
Cystin	1,6	2,2
Glutaminsäure	18,0	17,3
Glycin	5,2	4,9
Histidin	2,7	2,5
Isoleucin	3,7	3,8
Leucin	6,8	6,8
Lysin	5,3	5,3
Methionin	1,9	1,9
Phenylalanin	3,9	3,9
Threonin	4,2	4,4
Serin	5,3	4,4
Tryptophan	1,3	1,3
Tyrosin	2,5	2,4
Prolin	6,9	6,2
Valin	4,9	4,8
Hydroxyprolin	-	0,9

Das dritte Zuchtziel der Qualitätszüchtung ist die Glucosinolatarmut. Nach der Extraktion des Öls in der Ölmühle fällt Rapsschrot an, das bei rund 40 % Protein in der Trockensubstanz eine ernährungsphysiologisch gut ausgewogene Aminosäurezusammensetzung aufweist (Tab. 2).

Begrenzend für die Verwendung von Rapsschrot als Kraftfutter ist der hohe Glucosinolatgehalt der Samen (bis zu 3 % in der Trockensubstanz bzw 250  $\mu\text{mol/g}$  entfettetes Samenmehl). Die Glucosinolate kommen sowohl in den Samen als auch in den Wurzeln und den grünen Pflanzenteilen vor. Durch die Einwirkung von Fermenten, in der Hauptsache Myrosinase, die gleichfalls im Samen vorhanden sind, bilden sich toxische Spaltprodukte, die vor allem infolge von Schilddrüsenstörungen zu schlechter Futterausnutzung und gesundheitlichen Schäden der Tiere führen können. Vielfältige Bemühungen um eine technische Entgiftung des Rapsschrotes erwiesen sich stets als zu teuer oder beeinträchtigen die Proteinmenge bzw. -qualität. Bei den Glucosinolaten handelt es sich um eine Stoffgruppe von mehreren verschiedenen SCN-Verbindungen, die aber sämtlich an ein Molekül Glucose gebunden sind, die wichtigsten sind Gluconapin, Glucobrassicinapin, Progoitrin und 2-OH-4-Pentenyl-Glucosinolat (Röbbelen, 1976). Das Progoitrin ist dabei das toxischste. Fast gleichzeitig wurde um 1969 in Instituten von vier Ländern die polnische Sommerrapssorte 'Bronowski' als einzige glucosinolatarme B. napus-Form (rund 12  $\mu\text{mol/g}$  entfettetes Mehl) beschrieben. Aus 'Bronowski', wie 'Liho' ein Sommerraps, mußte durch Rückkreuzungen die Eigenschaft Glucosinolatarmut in ertragreiche Winterrapsstämme eingelagert werden (Tab. 3).

Tabelle 3: Glucosinolatgehalt in Samen von konventionellen und erucasäurearmen Rapsorten (Angaben in  $\mu\text{mol/lg}$  lufttrockener Samen) (Röbbelen, 1975)

Sorte	Erucasäuregehalt	GN	GBN	PRO	2-4	Summe
Diamant	51	24,7	7,1	52,0	2,5	86,4
Lesira	2	16,1	6,2	56,6	4,2	83,0
Erglu	2	2,8	0,8	4,0	0,6	8,1

GN = Gluconapin	) Isothiocyanate
GBN = Glucobrassicinapin	
PRO = Progoitrin	
2-4 = 2-OH-4 Pentenyl-Glucosinolat	

Auch zum Erreichen dieses Zuchtzieles leisteten in Göttingen entwickelte Labormethoden wertvolle Hilfen. Aufgrund der EG-Förderung müssen klar definierte Obergrenzen eingehalten werden, über eine EG-weit einheitliche Meßmethode wird noch diskutiert, und Vergleichsuntersuchungen werden angestellt (Kallweit, 1988; Buchner, 1987).

Es hat sich in Kreuzungsversuchen herausgestellt, daß für den niedrigen Glucosinolatgehalt mindestens drei rezessive Gene verantwortlich sind. Bei Verfolgung der Glucosinolatarmut und der Erucasäurefreiheit wurde die Selektion im Zuchtbetrieb noch aufwendiger, vor allem dadurch, daß sich die Glucosinolatarmut nach der Kreuzung nicht schon in  $F_2$ -Samen wie der Erucasäuregehalt, sondern erst nach Anzucht der  $F_2$ -Pflanze in deren Samen, d.h. in der  $F_3$ , manifestiert. Somit ist das Merkmal mütterlich prädeterniert, d.h. der Glucosinolatgehalt der Samen entspricht dem Genotyp der Mutterpflanze. Dadurch verlängert sich ein Rückkreuzungszyklus um ein Jahr gegenüber der Rückkreuzung mit einem erucasäurefreien Elter.

Tabelle 4: Spaltung von Merkmal Glucosinolatgehalt in Samen von  $F_2$ -Pflanzen aus Kreuzung von "Erglu" mit konventionellem Raps (Hammerstet, Jan. 1974) - (Röbbelen, 1975)

Vorherige Auslese auf Erucasäurearmut	glucosinolat-haltig	frei	$\chi^2$	P%
nicht erfolgt	1513	86	0,734	40,0
	erwartet bei 15:1			
	1424	99		
erfolgt (erucasäurearme $F_2$ -Population)	657	250	3,179	7,5
	erwartet bei 3:1			
	680	227		

Nachdem in den  $F_2$ -Samen auf Erucasäurefreiheit ausgelesen wurde, zeigte es sich aufgrund der Spaltungsverhältnisse (Tab. 4) in der  $F_3$ -Generation, daß damit bereits eines der beiden dominanten Gene für Glucosinolatbildung eliminiert worden war. Bei einer Vorauslese auf Erucasäurefreiheit in der  $F_2$  erhöht sich die Spaltung von glucosinolatarmen Genotypen in  $F_3$  von 6,25 % auf nahezu 25,0 %. Aufgrund dieser Kopplung ist es schwieriger, hocherucasäurehaltige Rapsformen, die glucosinolatarm sind, zu entwickeln, Hindernisse werden vor allem auftreten, wenn eine pleiotrope Genwirkung besteht, d.h. eines oder beide Gene für Erucasäurefreiheit gleichzeitig eine Verringerung des Glucosinolatgehaltes bewirken.

Da bei einer Auslese auf Glucosinolatarmut in den Samen auch die Glucosinolatgehalte in den grünen Pflanzenteilen gesenkt wurden, kam es bei der bereits beginnenden Umstellung zu der Erscheinung, daß in manchen Anbauregionen Rapsflächen sehr stark beäst wurden. Da mit einem geringen Glucosinolatgehalt auch der bittere Geschmack der Blätter verringert ist, besteht im Herbst und Winter bei allgemeinem geringem Äsungsangebot keine Hemmschwelle bei der Aufnahme von Blattmaterial des Winterrapses. Diese ungehemmte Aufnahme soll bei Wildtieren (Hase und Reh) zu einem gehäuften Verenden (Wildsterben) geführt haben. Daher sind vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten einige Forschungsvorhaben initiiert worden, um die Ursachen des Wildsterbens aufzudecken.

Ein weiteres, weit weniger berücksichtigtes Zuchtziel auf dem Gebiet der Qualitätszüchtung ist die Verringerung des Schalenanteils, d. h. des Rohfasergehaltes durch Selektion auf Gelbsamigkeit. So besitzen bei Rübsen gelbsamige Formen aufgrund einer dünneren Samenschale rund 4,5 % weniger Rohfasern als entsprechende dunkelschalige Formen. Bei Raps wurden bislang keine gelbsamigen Formen gefunden, und man versucht durch Kreuzen von hellsamigem Kohl und gelbsamigen Rübsen gelbsamigen Raps zu synthetisieren (Shirzadegan, 1986; Johnson, 1977).

Ein Zuchtziel, das auch wichtig für den verwertbaren Ertrag ist, ist der Öl- und Eiweißgehalt der Samen. Mittels der Anwendung eines niedrig-auflösenden Kernresonanz-Spektrometers kann der Ölgehalt weniger Samen in Sekunden und zerstörungsfrei gemessen werden, neuerdings mittels der Nahinfrarot (NIR)-Spektroskopie gleichzeitig Öl- und Eiweißgehalt. Die Standardqualität lufttrockener Samen (9 % Feuchte) beträgt 40 % Öl. Normalerweise besteht eine signifikant negative Beziehung zwischen Öl- und Proteingehalt, wie Tabelle 5 veranschaulicht.

Tabelle 5: Korrelationen zwischen Öl- und Proteingehalt von je 200 erucasäurefreien Zuchtstämmen aus drei verschiedenen Populationen (Röbbelen, 1978)

Population	DIP	DSV	NPZ
r	-0,81	-0,58	-0,65

Dennoch kommen in Formen mit hohen Ölgehalten auch solche mit hohen Proteingehalten vor, die Korrelationsbrecher oder Ausreißer, die ein Züchter suchen muß. Im Sortenspektrum schwankt der Ölgehalt der Samen (ATM) von 40 - 44 %, der Eiweißgehalt von 20 - 25 % und die Summe beider Speicherstoffe von 66 - 70 % (Schuster, 1987). Vor allem durch gleichzeitige Selektion auf Öl- und Eiweiß wird ein weiterer Zuchtfortschritt erwartet (Grami u. a., 1977).

#### 4.2 Samenertrag

Das wichtigste Ziel der Rapszüchtung ist naturgemäß die Steigerung der Samenertragsleistung von Sorten bei vorgegebenen Qualitätskriterien, die absolut erfüllt sein müssen. Der maximal erreichbare Ertrag wird durch die drei primär den Ertrag bestimmenden Faktoren Tausendkorngewicht, Kornzahl je Schote und Schotenanzahl je m<sup>2</sup> bestimmt. Die Ausprägung dieser Merkmale ist aber von weiteren Merkmalen abhängig. Die ertragssichernden und ertragsfördernden Faktoren Winterfestigkeit, Krankheitsresistenz, Standfestigkeit u. a. entscheiden darüber, ob ein potentiell durch die primären Ertragsfaktoren bedingter möglicher Ertrag auch realisiert wird.

Die drei Ertragskomponenten hängen genetisch voneinander ab, die Abhängigkeit wird aber stark durch Umweltfaktoren beeinflusst. Für eine erfolgreiche züchterische Selektion ist daher in besonderem Maße Voraussetzung, daß die Bestandesdichte und Pflanzenverteilung auf der Fläche sowie alle weiteren pflanzenbautechnischen Maßnahmen im Rapszuchtgarten weitestgehend optimiert sind. Durch den Einsatz von Parzellensämaschinen mit exakter Einzelkornablage ist dies auch in neuerer Zeit technisch möglich. Bei gleichen Bedingungen besteht eine positive Korrelation zwischen dem Samenertrag und der Schotenanzahl. Züchterisch bedeutsam ist auch die relativ hohe Heritabilität der Kornzahl je Schote und des Tausendkorngewichts. Die Verzweigungsstärke und der Schotenbesatz an den Seitentrieben wird stärker durch die Bestandesdichte bestimmt; eine Auslese auf den Ertrag von Einzelpflanzen kann nur in sehr gleichmäßigen Beständen erfolgen (Röbbelen, 1985).

#### 4.3 Ertragssichernde Merkmale

Die Verbesserung der Winterfestigkeit wird dadurch erschwert, daß der Witterungsverlauf in einzelnen Jahren sehr unterschiedlich ist und daß die Zuchtstämme sich in einem verschiedenen Expositionsstadium befinden und dadurch unterschiedlich reagieren. Daher sind mehrortige und mehrjährige Prüfungen auf Winterfestigkeit unerlässlich. Wie bei der Selektion auf Spätfrostresistenz sind Labormethoden zu aufwendig. Da nur Rapsorten, die regelmäßig vor Winter kräftige Pflanzen hervorbringen, gute Überwinterungsergebnisse erwarten lassen, ist es wichtig, daß dies auch bei unterschiedlichen Aussaatterminen erfolgt, das bedeutet Spätsaatverträglichkeit.

Das zentrale Problem der Rapserte ist die teilweise unzureichende Platzfestigkeit der reifen Rapschoten. Dabei kommt es weniger auf die Dicke der Schotenwand als auf die Ausbildung des Verschlussmechanismus an, durch den die beiden Carpelle miteinander und mit der Mittellamelle verbunden sind. Neben einer gefühlsmäßigen Beurteilung, durch einfaches Drehen der Schote um ihre Längsachse mit den Fingern, wird auch eine standardisierte Labormethode vorgeschlagen (Kadkol u. a., 1984, Kadkol u. a., 1985).

#### 4.4 Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge

Pilzliche Krankheitserreger, die wirtschaftlich bedeutende Schäden hervorrufen, sind: Phoma lingam, Erreger der Wurzelhals- und Stengelfäule; Whetzelina (syn. Sclerotinia) sclerotiorum, Weißstengeligkeit, Rapskrebs; Plasmodiophora brassicae, Kohlhernie; Alternaria brassicae, Rapschwärze. Die Krankheitsbilder, Epidemiologie und etwaige Bekämpfungsmöglichkeiten wurden von Krüger (1983) ausgezeichnet beschrieben.

Eine Resistenzzüchtung hat vor allem gegen Phoma Erfolgsaussichten. Dieser Pilz verursacht seit kurzem weltweit zunehmend schwere Schädigungen bis zu Totalverlust der Bestände. Eine chemische Bekämpfung ist aufgrund des langen Infektionszeitraumes vom Herbst bis zum Vorsommer nicht rentabel und die Züchtung feldresistenter Sorten der einzige Ausweg. Brauner Senf (*B. juncea*) besitzt Resistenzgene, und es wird versucht, sie durch interspezifische Kreuzungen in den Raps einzubringen. Von Sacristan (1982) wird versucht, durch mutagene Behandlung von haploiden in vitro-Kulturen von *B. napus* und anschließende Resistenzauslese resistente Rapslinien zu schaffen.

Tierische Schädlinge, zu nennen sind die Insekten Rapsdflö, Rapsglanzkäfer, Kohlschotenrüssler und Kohlschotenmücke, würden bei einer chemischen Nichtbekämpfung deutlich größere Schäden hervorrufen als die nicht bekämpfbaren pilzlichen Erreger. Doch eine systematische Resistenzzüchtung dürfte kaum möglich sein.

Falls es gelingt, die in Raphanus vorliegende Resistenz gegen den Rübennemathoden durch interspezifische Kreuzung in Raps zu übernehmen, wäre die Fruchtfolge noch weiter verbessert.

### 5 Entwicklung des Samenertrages

Eine Zeitreihen-Trendrechnung der Jahre 1967 bis 1985 wurde von Schuster (1987) durchgeführt. Sie läßt erkennen, daß von den für diesen Zeitraum erzielten 87 dt/ha = 33,7 % Mehrerträgen 4,3 dt/ha = 14,4 % durch eine verbesserte Anbautechnik, wie Pflanzenschutzmaßnahmen, höhere Düngung, bessere Bodenbearbeitung, Unkrautbekämpfung und 4,4 dt/ha = 19,3 % durch neue Sorten, also Züchtungsfortschritt, bedingt waren. Dies entspricht einer jährlichen Ertragszunahme durch Züchtung von nur 0,23 dt/ha. Die relativ geringe Ertragszunahme wird durch die Berücksichtigung der zwei Hauptqualitätskriterien, Erucasäurefreiheit und Glucosinolatarmut, erklärt. Bei den Prüfungen der ersten erucasäurefreien Sorten lag etwa die Winterrapssorte "Lesira" bei 95 % des mittleren Kornertrages erucasäurehaltiger Sorten (Röbbelen, 1976), also deutlich unter den erucasäurehaltigen Spitzensorten.

In der Umstellungsaison 1974/75 herrschten sehr ungünstige Witterungsverhältnisse, und es wurde fast aus-

schließlich die Sorte "Lesira" angebaut, da sie als einzige zum allgemeinen Anbau in der Praxis zur Verfügung stand.

Daher wurde allgemein den erucasäurefreien Sorten ein niedriges Ertragspotential zugesprochen, da sie zusätzlich noch niedrigere Ölgehalte als die erucasäurehaltigen Sorten aufwiesen. Doch innerhalb der erucasäurefreien Sorten fand eine intensive Ertragsselektion statt, so daß sie jetzt im Ertrag höher liegen dürften als die alten Sorten.

Da nun vor wenigen Jahren die Umstellung in den Zuchtbetrieben auf 00-Sorten (erucasäurefrei und glucosinolatarm) erfolgte, wurden 1987 nur noch solche zur Wertprüfung beim Bundessortenamt angemeldet (v o n K r i e s, 1987).

Bei den Prüfungen in Parzellen zeigte es sich, daß nur die 00-Sorten sehr stark unter Wildverbiß litten, so daß ein Ertragsvergleich nur selten möglich war. In der Tabelle 6 werden Ertragswerte aus dem 00-Raps-Modellanbau Ernte 1986 aufgeführt, die in großflächigen Versuchen ermittelt wurden.

Es zeigte sich, daß in beiden Jahren die verwendeten 00-Sorten die Leistungen der 0-Sorten nicht ganz erreichen: 1985 lagen sie 9,3 %, 1986 durchschnittlich 9,1 % unter denen der 0-Vergleichssorten. Neuere Sorten liegen bereits mit den 0-Sorten gleich auf (v o n K r i e s, 1987). Vermutlich aufgrund des Rückgangs des Glucosinolatgehaltes im Korn liegen die 00-Sorten im Ölgehalt geringfügig höher als die 0-Sorten.

Die Frage, ob bei einer Nichtumstellung der Züchtung auf Qualitätszüchtung die Rapsertträge sehr viel höher liegen würden, kann nicht beantwortet werden, da der gewaltige Züchtungsaufwand, der in der Qualitätszüchtung erfolgte, nicht simuliert werden kann. Auch gibt es genetisch keine Gründe, warum Qualitätssorten im Ertrag niedriger liegen sollten als konventionelle Sorten. Ohne Qualitätszüchtung gäbe es jedoch kaum noch einen nennenswerten Rapsanbau in der Bundesrepublik Deutschland.

Die internationale Kooperation in der Qualitätszüchtung führte zu einem weltweiten Austausch von Zuchtmaterial und trug damit zur Verbreiterung der genetischen Züchtungsbasis bei, die sonst nur noch durch synthetisierten Raps erfolgen kann. Von R ö b b e l e n (1975) wird die

Notwendigkeit hervorgehoben, "die Genbasis beim Raps zu erweitern, um größere Fortschritte in der Ertragszüchtung zu erreichen".

Weltweit wird versucht, neue Sortentypen, vor allem Hybridsorten, zu entwickeln. Die letzten beiden Internationalen Rapskongresse in Paris und Posen ließen erkennen, mit welcher hoher Intensität daran gearbeitet wird. Die Ertragsüberlegenheit experimentell hergestellter Hybriden ist groß, Mehrerträge von 10 - 20 % gegenüber dem besten Elter sind möglich.

Zur Herstellung von Hybridsorten ist ein funktionierendes genetisches System notwendig. Das zur Zeit aussichtsreichste System ist die "Polimasterilität", die in der VR China in einer polnischen Sorte entdeckt wurde und bereits sehr intensiv bearbeitet wurde. Mit der cytoplasmatisch männlichen Sterilität (cms), mit Maintainern zur Erhaltung der männlich sterilen Linie und Restorern zur Wiederherstellung der Fertilität in den Hybriden sind die Bausteine für eine praktische Hybridzüchtung vorhanden. In Kanada soll es auch bereits eine erste Sommerrapshybride geben, doch das pol-Plasma hat noch einen negativen Effekt auf Ertragseigenschaften und den Ölgehalt. Daneben wird versucht, das funktionierende cms-System aus Raphanus (Radieschen) einzulagern, jedoch sind noch mehrere Jahre Arbeit bis zur möglichen Praxisreife nötig.

## 6 Einsatzmöglichkeiten biotechnologischer Verfahren

Der Raps ist neben der Kartoffel eine der wenigen landwirtschaftlichen Kulturarten, bei der biotechnologische Methoden schon heute nutzbringend in der praktischen Pflanzenzüchtung eingesetzt werden können. Die Erstellung von reinen Linien mittels H a p l o i d e n k u l t u r und anschließender Chromosomenverdoppelung durch Colchizinbehandlung ist nach S c h u c h m a n n (1987) eine einfache, oft angewandte Methode. In Kombination mit Phytotoxinbehandlung wird nach resistenten Formen gesucht. Allerdings sind nicht alle Rapsformen gleichermaßen für eine in vitro Kultur geeignet. Mittels P r o t o p l a s t e n f u s i o n wird versucht, im Cytoplasma bedingte Eigenschaften wie männliche Sterilität oder Herbizidresistenz in andere Linien und Sorten zu überführen. So gibt es in Kanada bereits eine Sommerrapssorte mit Herbizidresistenz (Anonym, 1985). Zwar ist die Sorte "Triton" gegenüber den besten kanadischen "Canola"-Sorten niedriger

Tabelle 6: Ertragswerte für die untersuchten Sorten im 00-Raps-Modellanbau Ernte 1986 und Vergleichsdaten 1985 (Röbbelen, 1987)

Sorte	Anzahl Proben	Ertrag (dt/ha)	TKG (g)	Ölgehalt (%; NMR)	Ölertrag (dt/ha)
Elena	28	29,0	4,4	43,3	12,6
Liropa	28	32,6	4,8	43,3	14,1
Lindora	45	31,5	4,8	42,6	13,4
Rubin	41	30,6	4,6	41,4	12,7
00-Sorten 1986	142	30,9	4,7	42,4	13,1
1985	133	29,4	5,0	43,8	12,9
Jet Neuf	18	35,8	5,1	41,6	14,9
Belinda	39	32,9	4,7	42,3	13,9
Korina	12	37,2	5,0	42,4	15,8
alle anderen 0-Sorten	26	33,1	4,8	42,0	13,9
0-Sorten 1986	95	34,1	4,8	42,1	14,4
1985	110	32,5	5,4	42,4	13,6

im Ertrag, vier Tage später reif und hat einen geringeren Ölgehalt, doch ist sie für spezifische Unkrautstandorte eine akzeptable Alternative. Die Embryokultur erleichtert es, synthetischen Raps zu erzeugen. Die sich bildenden Bastardembryonen bei Kreuzungen von Kohl mit Rübsen sterben oftmals vor der Samenreife ab. Man kann die Embryonen aus den Samenanlagen herauspräparieren, auf ein Nährgewebe legen und zu ganzen Pflanzen regenerieren.

## 7 Schlußfolgerungen

In Zukunft sind bei Raps weitere Qualitätsverbesserungen und Ertragssteigerungen zu erwarten. Die Vorteile einer Hybridzüchtung können vermutlich auch bald in Winterraps genutzt werden, hinzu kommt die Beschleunigung des Zuchtlaufs durch Einsatz der Haploidentechnik. Mit zunehmenden Erträgen wird das Interesse des Landwirts am Rapsanbau noch weiter steigen, so daß mit einer vermehrten Produktion in der EG zu rechnen ist. Allerdings werden dann weitere Preiseinbußen durch Kürzung der Rapsförderung durch die EG unumgänglich werden. Auch muß der Raps innerhalb der EG in Zukunft verstärkt mit der Sonnenblume konkurrieren, da einmal die Anbauflächen EG-weit stark ausgedehnt wurden und die abnehmende Lebensmittelindustrie eventuell Sonnenblumenöl aufgrund der besseren Qualität bevorzugen wird. So stellt sich nun das Problem, ob der Rapsanbau noch weiter ausgedehnt werden kann und wie die Produkte verwertet werden können. Der Absatz des Schrottes stößt bereits an Grenzen, doch dank der 00-Sorten werden diese erweitert, und die Futtermittelindustrie kann mehr Rapschrot verarbeiten.

Aufgrund neuerer Entwicklungen im Motorenbau ("Elsbett-Motor") wird mit breitem Interesse die Verwendung pflanzlicher Öle als Teilstoff diskutiert. Um eine bedeutende Treibstoffproduktion aus Rapsöl zu ermöglichen, könnte der Rapsanbau sich ungehindert ausdehnen. Doch aus der Sicht des Pflanzenbaus stehen dem Fruchtfolgefragen und Standortanpassungsprobleme im Wege.

Bei der Ausdehnung des Rapsanbaues im letzten Jahrzehnt hat sich gezeigt, daß im traditionellen Bundesland des Rapsanbaues, in Schleswig-Holstein, die Rapsfläche sehr viel weniger stark zunahm als in anderen Regionen der Bundesrepublik, wo weniger oder kaum Raps angebaut wurde.

Nun stellt sich die Frage, welche Anteile der Raps an der Fruchtfolge einnehmen darf bzw. an welchen Standorten er noch angepaßt ist und befriedigende Erträge liefert. Nach neueren Untersuchungen (H a n u s , 1986) kann bei Raps eine zumindest kurzfristige Ausdehnung bis 40, ja sogar 50 v. H. in der Fruchtfolge ohne wesentliche Ertragseinbußen erfolgen. Voraussetzung sind jedoch mittlere bis gute Standortbedingungen und eine ausgefeilte Produktionstechnik.

Eventuell sind dafür nicht alle Sorten gleich gut geeignet. Auf schwächeren Standorten und bei niedrigen pH-Werten kann als Fruchtfolgekrankheit die Kohlhernie auftreten. In engen Fruchtfolgen mit Rüben treten Schwierigkeiten auf, da Raps selbst Wirt für die Rübenematoden ist.

## Zusammenfassung

In einem Übersichtsreferat werden die Probleme und Erfolge der Qualitätszüchtung beim Winterraps diskutiert. Nach Erreichen der Erucasäurefreiheit und Glucosinolatarmut muß in Zukunft eine weitere Verbesserung der Ölqualität erfolgen. Um ein gegenüber der Sonnenblume wettbewerbsfähiges Öl zu erlangen, muß Rapsöl in Zukunft möglichst hohe Anteile von Öl- und Linolsäure und so gut wie keinen Linolensäuregehalt aufweisen. Die Produktion von Hybridsorten rückt näher, und so sind weitere Ertragssteigerungen zu erwarten. Biotechnologische Methoden wie Haploidentekultur, Protoplastenfusion und Embryokultur werden den Züchtungsfortschritt beschleunigen helfen. Der Absatz wird im Lebensmittelbereich Grenzen finden und es wird bei weiterer Anbauausdehnung notwendig sein, Verwendungsalternativen in der Oleochemie oder im Energiesektor zu finden. In beiden Bereichen muß eine Qualitätszüchtung im Hinblick auf das Schrot beibehalten werden, um den Futtermittelmarkt offen zu halten, im ersten muß zusätzlich auf den hohen Anteil einer einzigen Fettsäure, der Erucasäure, selektiert werden. Eine zu starke Anbauausdehnung kann aus Fruchtfolgegründen und Nichtangepaßtsein an bestimmte Standorte ihre Grenzen finden.

## Actual situation and prospects of rapeseed breeding

By a survey on literature the problems and successes of winter rapeseed breeding are discussed. After reaching oil free from erucic acid and meal with low contents of glucosinolates a further improvement of oil quality must occur in future. To gain competitiveness against sunflower oil, rapeseed oil is to be nearly free of linolenic acid with high contents of oleic and linoleic acid. The production of hybrid varieties is nearer now, so further yield increases can be expected. Biotechnological methods like culture of haploids and embryos or protoplast fusion will help to accelerate breeding progress. The use of rapeseed oil in food products will be limited and it will be necessary on behalf of further increase of production to find alternative uses in oleochemistry or in energy markets. Breeding for better meal quality can't be neglected in any alternative use if the meal is to be marketed to the feed-stuff industry. For the use in oleochemistry, selection must be done also for a higher erucic acid content. A too large extension of rapeseed cultivation can be limited by reasons of crop rotations or that rapeseed is not adapted to all regions.

## Literatur

Anonym: Erstmaliger Anbau von herbizidtolerantem Raps in Kanada. - Raps 3 (1985), S. 78-79.

B r a u e r , D.: Voraussetzung für eine Qualitätsproduktion von Raps aus heimischer Erzeugung. - Fette-Seifen-Anstrichmittel 80 (1978), S. 53-57.

B u c h n e r , R.: Zur Messung von Glucosinolaten in 00-Raps. - Raps 5 (1987), S. 101-102.

D o w n e y , R. K. und H a r v e y , B. L.: Methods of breeding for oil quality in rape. - Can. J. Plant Sci. 43 (1963), S. 271-275.

- Grami, B., Baker, R. Y. und Stefansson, B. R.: Genetics of protein and oil content in summer rape. Heritability number of effective factors and correlations. - *Can. J. Plant Sci.* 57 (1977), S. 937-944.
- Hanus, H.: Fruchtfolgefragen in rapsanbauenden Betrieben. - *Raps* 4 (1986), S. 170-174.
- Hühn, M. und Rakow, G.: Einige experimentelle Ergebnisse zur Fremdbefruchtungsrate bei Winterraps (*Brassica napus oleifera*) in Abhängigkeit von Sorte und Abstand. - *Z. Pflanzenzüchtg.* 83 (1979), S. 289-307.
- IBPGR: Genetic resources of cruciferous crops. - IBPGR Secretariat, Rome (1981), 48 p.
- Jönsson, R.: Breeding for improved oil and meal quality in rape (*Brassica napus*) and turnip rape (*Brassica campestris*). - *Hereditas* 87 (1977), S. 205-218.
- Kallweit, P.: Erfahrungen bei der Glucosinolatbestimmung mit EG-Mehode und nationalen Methoden. - *Raps* 6 (1988), S. 41-42.
- Kadkol, G. P., MacMillan, R. H., Burrow, R. P. und Halloran, G. M.: Evaluation of Brassica genotypes for resistance to shatter. I. Development of a laboratory test. - *Euphytica* 33 (1984), S. 63-73.
- Kadkol, G. P., Halloran, G. M. und MacMillan, R. H.: Evaluation of Brassica genotypes for resistance to shatter. II. Variation in silique strength within and between accessions. - *Euphytica* 34 (1985), S. 915-924.
- Kries, A. von: Zur Leistungsentwicklung bei Körner-Winterraps-Sorten in den Wertprüfungen des Bundessortenamtes 1977/79 - 1984/86. - *Raps* 5 (1987), S. 132-135.
- Krüger, W.: Raps-Krankheiten und Schädlinge. - Sonderdruck Semundo, Hamburg (1983), 120 S.
- Lennerts, L.: Ölschrote, Ölkuchen, pflanzliche Öle und Fette. Herkunft, Gewinnung und Verwendung. - Hannover (1984), Verlag Alfred Strothe.
- McNaughton, I.M.: Swedes and rapes (*Brassica napus*). - In: Simmonds, N.W. (Ed.), *Evolution of crop plants*, Longman, London 1976, S. 53-56.
- Rakow, G.: Selektion auf Linol- und Linolensäuregehalt in Rapssamen nach mutagener Behandlung. - *Z. Pflanzenzüchtung* 69 (1973), S. 62-82.
- Röbbelen, G.: Totale Sortenumstellung bei Körner-raps. - Bericht über die Arbeitstagung 1975 der Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtler in Gumpenstein, Nov. 1975, S. 119-146.
- Röbbelen, G.: Züchtung und Erzeugung von Qualitätsraps in Europa. - *Fette-Seifen-Anstrichmittel* 78 (1976), S. 10-17.
- Röbbelen, G.: Qualitätsbestimmende Eigenschaften bei der Verarbeitung von Rapssaat. - *Fette-Seifen-Anstrichmittel* 80 (1978), S. 99-103.
- Röbbelen, G.: Raps (*Brassica napus* L.). - In: Hoffmann, W., Mudra, A., Plarre, W.: *Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen*, Paul Parey, Berlin und Hamburg, Bd. 2 (1985), S. 289-303.
- Röbbelen, G.: Modellanbau von 00-Raps in der Bundesrepublik Deutschland. - *Raps* 5 (1987), S. 4-10.
- Röbbelen, G. und Nitsch, A.: Genetical and physiological investigations on mutants for polyenoic fatty acids in rapeseed, *Brassica napus* L. I. Selection and description of new mutants. - *Z. Pflanzenzüchtung* 75 (1975), S. 93-105.
- Roy, N.N. und Tarr, A.W.: Development of near-zero linolenic acid (18:3) lines of rapeseed (*Brassica napus* L.). - *Z. Pflanzenzüchtung* 96 (1986), S. 218-223.
- Rudloff, E. und Schweiger, W.: Eine Methode zur Schätzung der Fremdbefruchtungsrate bei Qualitätsraps (*Brassica napus* L.). - *Archiv für Züchtungsforschung* 14 (1984), S. 327-334.
- Sacristan, M.D.: Resistance responses to *Phoma lingam* of plants regenerated from selected cell and embryogenic cultures haploid *Brassica napus*. - *Theor. Appl. Genet.* 61 (1982), S. 193-200.
- Schiemann, E.: Entstehung der Kulturpflanzen. VIII. Brassica und andere Cruciferen. - In: *Handbuch der Vererbungswiss.*, Berlin (1932), S. 271-288.
- Schuchmann, R.: Neue Möglichkeiten der Biotechnologie in der Rapszüchtung. - *Raps* 5 (1987), S. 214-216.
- Schuster, W.: Die Entwicklung des Anbaues und der Züchtung von Ölpflanzen in Mitteleuropa I. - *Fett Wissenschaft Technologie* 89 (1987), S. 15-27.
- Seehuber, R. und Dambroth, M.: Die Erzeugung pflanzlicher Öle für die chemische Industrie eröffnet der Landwirtschaft eine Produktionsalternative - Bestandsaufnahme, Literaturübersicht und Zielsetzung. - *Landbau-forschung Völknerode* 37 (1982), S. 133-148.
- Shirzadegan, M.: Inheritance of seed color in *Brassica napus* L. - *Z. Pflanzenzüchtung* 96 (1986), S. 140-146.
- Stefanson, B.R., Hougen, F.W. und Downey, R.K.: Note on the isolation of rape plants with seed oil free from erucic acid. - *Can. J. Plant Sci.* 41 (1961), S. 218-219.
- Stefansson, B.R. und Hougen, F.W.: Selection of rape plants (*Brassica napus*) with seed oil practically free from erucic acid. - *Can. J. Plant Sci.* 44 (1964), S. 359-364.
- Thies, W.: Schnelle und einfache Analysen der Fettsäurezusammensetzung in einzelnen Rapskotyledonen. I. Gaschromatographische und papierchromatographische Methoden. - *Z. Pflanzenzüchtung* 65 (1971), S. 181-202.
- U, N: Genome analysis in Brassica with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. - *Jap. J. Bot.* 7 (1935), S. 389-452, zit. bei Röbbelen, G., 1985.
- Verfasser: Seehuber, Reinhard, Dr. agr., Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völknerode (FAL), Leiter: Prof. Dr. agr. Manfred Dambroth.