

Raps – eine alternative Ölquelle

Umweltfreundlicher Energie- und Rohstofflieferant

Von Wilfried Lühs, Andreas Thierfelder und Wolfgang Friedt

Der Raps (*Brassica napus*) ist die am besten an mittel- und nordeuropäische Produktionsbedingungen angepaßte und daher leistungsstärkste Ölpflanze. Aufgrund von züchterischen Erfolgen und dem damit verbundenen ungehinderten Zugang des Rapsöls in den Nahrungssektor nimmt der Raps heute im einheimischen Ölpflanzenanbau eine dominierende Stellung ein. Wegen der weitgehenden Sättigung des Fettverbrauchs zu Nahrungszwecken sind in Zukunft auch für Rapsöl Absatzalternativen verstärkt gefragt. Neben der gegenwärtigen Verwendung als Rohstoff für die oleochemische Industrie gewinnt angesichts schwindender Erdölvorkommen und bei steigendem Umweltbewußtsein der Einsatz als Motorentreibstoff und vor allem als Schmier- und Hydrauliköl zunehmend an Bedeutung. Hierfür ist der Raps aufgrund der Verfügbarkeit extremer Fettsäurevarianten im Vergleich zu den beiden anderen wichtigen Ölpflanzen in Mitteleuropa – Sonnenblume und Lein – besonders geeignet (Tab. 1).

Im Hinblick auf Wettbewerbsfähigkeit und ökonomische Verwertbarkeit des Rapsöls im „Non-food“-Bereich sowie im Interesse der landwirtschaftlichen Produzenten sind vorrangig ölertragreiche Winterrapsorten mit maximalem Gehalt der wertbestimmenden Hauptfettsäure gefordert. Ferner gilt es, Ertrag und Qualität mit der Resistenz gegenüber Krankheiten und Schädlingen zu kombinieren, um so die Anwendung chemischer Pflanzenbehandlungsmittel zu reduzieren.

Verwendung von Rapsöl im „Non-food“-Bereich

Die Speicherfette bestehen aus Triglyceriden (Triacylglycerolen) mit einer für die jeweilige Ölpflanze charakteristischen Fettsäure-Zusammensetzung. Die unterschiedlich langen; unverzweigten Kohlenstoffketten der Fettsäuren bieten in ihrer natürlichen Vielfalt – bedingt durch Kettenlänge, Anzahl und Lage der

erdings die direkte Nutzung als Schmier- und Hydrauliköl oder Motorentreibstoff an Bedeutung. Als Kraftstoff läßt sich Rapsöl direkt in speziell entwickelten „Elsbett“-Motoren einsetzen. In Dieselmotoren ist Rapsöl umgesetzt zu Rapsölmethylestern oder zugemischt zu herkömmlichem Dieselkraftstoff verwendbar. Für die Nutzung als Motorentreibstoff ist in erster Linie der native Energieinhalt – weniger die Fettsäure-Zusammensetzung – ausschlaggebend. Aus ökonomischen Gründen besteht die Notwendigkeit, den Ölertrag pro Hektar zu optimieren, um das Rapsöl schließlich zu einem akzeptablen Preis anbieten zu können. Doch auf diesem Sektor laufen noch eine Reihe von Pilotprojekten und vor allem Entwicklungsarbeiten bei den Motorenherstellern.

Als vielversprechend ist der Einsatz von Rapsöl als Schmiermittel sowie Hydrauliköl zu beurteilen. Der Hauptgrund für die Verwendung auf diesem Gebiet ist die problemlose biotische Abbaubarkeit von Rapsöl. Zu nennen ist in diesem Zusammenhang die Verlustschmierung von Kettensägen, der Einsatz in Hydrauliksystemen oder die Verwendung als Trenn- und Gleitmittel – also überall dort, wo mineralische Ölprodukte Umweltgefährdungen hervorrufen können. Im Hinblick auf die Verwendung von Rapsöl als Hydraulikflüssigkeit ergibt sich aber gerade hieraus ein Zielkonflikt. Dem Anspruch der schnellen biologischen Abbaubarkeit auf der ökologischen Seite steht die Forderung einer möglichst hohen Stabilität, d. h. von langen Ölwechselintervallen auf der technischen Seite gegenüber.

Bei der indirekten Nutzung werden die Pflanzenöle in ihre Bestandteile, d. h. Fettsäuren und Glycerin, zerlegt. Die Verwendung der Fettsäuren verlangt Qualitätseigenschaften, die ihrerseits definierte Zuchtziele in der Ölpflanzenzüchtung darstellen. Die verarbeitende Industrie fragt Pflanzenöle mit einem möglichst hohen Anteil spezifischer Fettsäuren nach. Im Gegensatz zum Ernährungssektor, in dem ein Gemisch verschiedener Fettsäuren im Öl durchaus erwünscht ist, konzentriert sich bei der technischen Verwertung das Interesse vornehmlich auf pflanzliche Öle mit maximalen Anteilen einer Komponente.

Hinsichtlich der Fettsäure-Zusammensetzung sind beim Rapsöl grundsätzlich zwei Typen zu unterscheiden. So zeichnen sich ältere Raps-

Tabelle 1. Extreme Fettsäuremuster beim Raps im Vergleich zu Lein und Sonnenblume

Spezies	Variante	Fettsäuren (% Gesamtfettsäuren)					
		16 : 0	18 : 0	18 : 1	18 : 2	18 : 3	22 : 1
RAPS	„alt“	3	1	11	12	9	52*
	„0/00“	4	2	61	21	10	1
LEIN	„normal“	5	4	18	16	57	–
	„low linolenic“	9	5	36	48	2	–
SONNEN-	„normal“	6	5	24	64	1	–
BLUME	„high oleic“	3	4	90	2	1	–

* plus ca. 8% Eicosensäure (C20 : 1) und 4% restliche Fettsäuren

Zur Erreichung dieser Ziele werden konventionelle Züchtungs- und Selektionsverfahren durch leistungsfähige moderne Methoden der Qualitätsanalytik und der Biotechnologie ergänzt und unterstützt. So ermöglichen geeignete Gewebekultur-Techniken interspezifische Kreuzungen, die zur Erweiterung der genetischen Vielfalt des Rapses beitragen. Mit Hilfe der Kultur isolierter Mikrosporen („Haploid-Methode“) wird die Erzeugung homozygoter, d. h. reinerbiger Linien und damit der Zuchtgang insgesamt beschleunigt.

Doppelbindungen oder funktionelle Gruppen – viele Ansatzpunkte für chemische Reaktionen und Synthesemöglichkeiten, die teilweise auf petrochemischem Wege nicht möglich sind. Diese Eigenschaften ließen native Öle und Fette und insbesondere auch Rapsöl nicht erst in jüngster Zeit zum Ausgangsstoff einer vielgestaltigen Fettchemie werden.

Neben der indirekten Verwendung des Rapsöls bzw. der Fettsäuren als Grundstoffe in der oleochemischen Industrie gewinnt neu-

sorten durch einen für Kreuziferen, Kreuzblütler, typischen hohen Anteil von 45 bis 55 Prozent Erucasäure (C22 : 1) aus; sie liefern das ausschließlich als oleochemisch-technischer Rohstoff verwendete „Rüböl“. Dagegen enthält das für Nahrungs- und Speisezwecke genutzte Öl heutiger Rapsorten neben 20 bis 25 Prozent Linolsäure (C18 : 2) 55 bis 65 Prozent Ölsäure (C18 : 1). Diese Sorten sind nahezu erucasäurefrei und besitzen daher „0“ (Einfachnull)- bzw. bei gleichzeitiger Glucosinolatarmut im Rapsschrot „00“ (Doppelnull)- oder „Canola“-Qualität (Abb. 1). Beiden Öltypen gemeinsam ist der jeweils dominierende Anteil einer einfach ungesättigten Fettsäure und ein relativ stabiler Gehalt von etwa 10 Prozent Linolensäure (C18 : 3). Für beide Öltypen wird eine Reduktion des Anteils dieser dreifach ungesättigten und daher leicht verderblichen Fettsäure auf weniger als 3 Prozent angestrebt.

Für den Einsatz im „Non-food“-Bereich wird der Raps derzeit intensiv züchterisch bearbeitet, wobei eine „maßgeschneiderte“ Fettsäure-Zusammensetzung angestrebt wird. Es gilt dabei, die industriell wertbestimmenden Hauptfettsäuren im Rapsöl zu maximieren, um die Kosten für Trennung und Reinigung sowie den Anfall an weniger wertvollen Nebenprodukten zu reduzieren. Bezüglich der als Fettrohstoff interessanten Ölsäure (C18 : 1) zeichnen sich in dieser Richtung bereits ähnliche Erfolge wie bei der Sonnenblume ab. So gibt es auch beim Raps bereits „high-oleic“-Typen mit über 85 Prozent C18 : 1 und weniger als 3 Prozent Linolensäure.

Bedeutung der Erucasäure als Industriegrundstoff

Die Erucasäure (cis-13-Docosensäure) wird bereits seit längerem im oleochemisch-technischen Bereich für vielfältige Verwendungszwecke eingesetzt. Bis zur Umstellung auf erucasäurearmen Raps Mitte der siebziger



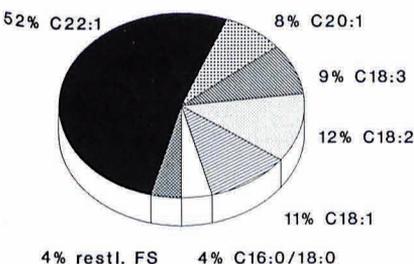
Rapsfelder – die Ölfelder der Zukunft? Raps wird bis jetzt noch in Mitteleuropa, hier in der Umgebung von Gießen, vorwiegend zu Nahrungszwecken angebaut. Foto: Friedt

Jahre war erucasäurereiches „Rüböl“ reichlich vorhanden, und die Erucasäure wurde vornehmlich als „Schaumbremse“ in Waschmitteln eingesetzt. Die durch die Umstellung bedingten Versorgungsunsicherheiten und die Veränderung einiger Rezepturen machten für die Waschmittelindustrie die Entwicklung anderer Schauminhibitoren notwendig, so daß die Erucasäure hier ihren früheren Stellenwert verloren hat. Nach wie vor wird die Erucasäure jedoch in anderen Bereichen der Oleochemie in nennenswerten Mengen nachgefragt.

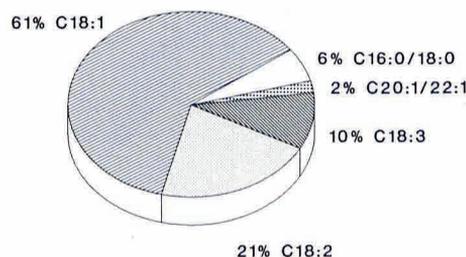
Die Amide der Erucasäure sind wichtige Grundstoffe für die Folienherstellung. Durch Ozonolyse erfolgt eine Spaltung in Pelargonsäure und Brassylsäure, deren Derivate als Hilfsmittel in der Kunststoffindustrie eingesetzt werden. Darüber hinaus wurde aus Brassylsäure und dem entsprechenden Diamin ein

neues Polyamid hergestellt. Dieser als Nylon-13,13 bezeichnete Kunststoff ist bestens geeignet für Getriebezahnräder, Kabelisolierungen und andere Industrieprodukte. Außerdem finden Erucasäurederivate aufgrund besonders guter Schmiereigenschaften als Schmierstoffadditive – vor allem für Hochleistungsmotoren – Verwendung. Weitere Veredelungsstufen der Erucasäure werden in der Erdölförderung zur Verhinderung der Kristallisation des Paraffins und als Flotationsreagenz bei der Erzaufbereitung eingesetzt.

Der derzeitige jährliche Bedarf an erucasäurereichem Pflanzenöl in der EG wird auf etwa 30 000 t, in Deutschland auf rund 12 000 t, geschätzt. Diese Nachfrage wird zur Zeit noch vornehmlich durch Importe aus Osteuropa, China und Indien gedeckt. Die Erschließung weiterer interessanter Einsatz- und Anwendungsgebiete für Erucasäure im Bereich der chemischen Industrie ist letztlich auch von einer gesicherten inländischen Produktion erucasäurereicher Pflanzenöle in der EG abhängig. Diesem Bereich wird von seiten der Industrie große Bedeutung beigemessen, so daß einer inländischen Produktion bereits kurz- bis mittelfristig gute Chancen eingeräumt werden.



Alte Rapsorten (Erucasäure-reich)



Heutige Rapsorten 0 / 00 - Qualität

Züchtung auf hohen Erucasäure-Gehalt beim Raps

Die Nachfrage der oleochemischen Industrie nach langkettigen Fettsäuren wie Erucasäure (C22 : 1) kann hierzulande nur durch den Anbau von Winterraps (*Brassica napus*) in rentabler Weise gedeckt werden. Hinsichtlich der Interessen der oleochemischen Industrie

Abb. 1: Fettsäuremuster von alten (C22 : 1-reichen) und heutigen (C22 : 1-armen) Rapsorten.

stellt Rapsöl mit einem stabilen C22 : 1-Anteil von etwa 60 Prozent bei möglichst reduziertem C18 : 3-Anteil momentan bereits einen Fortschritt dar. Kurzfristiges Zuchtziel ist es daher, durch Selektion in spaltenden Kreuzungsnachkommenschaften den Ölertrag zu steigern und dabei den C22 : 1-Anteil im Öl zu maximieren. Rapsöl mit einem Erucasäure-Gehalt von deutlich über 60 Prozent dürfte allenfalls mittel- bis langfristig verfügbar werden.

Ausgangssituation und genetische Grundlagen

Die Erucasäure ist die charakteristische Fettsäure im Samenöl der *Brassicaceae* (Kruziferen). Sie kommt in etwa drei Viertel aller Kruziferen-Arten vor, allerdings in sehr variablen Anteilen bis zu maximal 67 Prozent. Dieses Maximum kommt dadurch zustande, daß in Kruziferen-Ölen offenbar kein Trierucin (Triglycerid mit drei C22 : 1-Resten) gebildet wird, d. h. Erucasäure wird bevorzugt in die beiden äußeren, aber nicht in die mittlere Position des Triglycerids eingebaut. Es stellt sich somit zunächst die Aufgabe, das Triglycerid-Muster von Kruziferen, wie z. B. *Brassica*-Arten, *Sinapis alba* und *Crambe abyssinica*, hinsichtlich der Verteilung der Erucasäure auf die einzelnen Triglycerid-Spezies und insbesondere in bezug auf die Existenz von Trierucin im Samenöl zu analysieren.

Die Bestimmung der Triglyceride erfolgt nach einer speziellen Methode mittels HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*). Die Abbildung 2 zeigt ein Chromatogramm der alten erucasäurereichen Winterraps-Sorte ‚Lenora‘ (51,2 Prozent C22 : 1). Dabei bestimmen drei Dierucine (‚EOE‘, ‚ELE‘ und ‚ELnE‘) mehr als 75 Prozent der Triglycerid-Fraktion, wobei Trierucin (‚EEE‘) nicht nachgewiesen werden kann.

Lediglich von der nicht zu den Kruziferen gehörenden Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus*) ist bislang bekannt, daß diese Spezies Trierucin bildet und dadurch einen sehr hohen Erucasäure-Gehalt erreicht. Abbildung 3 zeigt ein Chromatogramm von *T. majus* im Vergleich mit dem Trierucin-Standard. In Abhängigkeit vom Erucasäure-Anteil (71 bis 78 Prozent) finden sich bei der Kapuzinerkresse 42 bis 52 Prozent Trierucin. Allerdings ist der Ölgehalt mit ca. 8 Prozent so niedrig, daß die Kapuzinerkresse nicht als „Ölpflanze“ gelten kann. Dieses Beispiel zeigt jedoch, daß in den Samenfetten höherer Pflanzen Trierucin durchaus vorkommt.

Zur Erfassung der Ausgangslage gehört ebenfalls ein intensives Screening, also die Durchsicht der verfügbaren Raps- und *Brassica*-Herkünfte. Unsere Ergebnisse zeigen, daß die genetische Variabilität des untersuchten Raps-

materials im Hinblick auf hohen Erucasäure-Gehalt begrenzt ist. In den beiden direkten Stammformen des Rapses, *Brassica campestris* (Rübsen) und *Brassica oleracea* (Kohl), finden sich jedoch Genotypen mit C22 : 1-Anteilen im Fett von annähernd 60 Prozent, die im Rahmen der Resynthese von Raps, d. h. der gezielten Kreuzung von Rübsen und Kohl, weitere Verwendung finden.

Resynthese von erucasäurereichem Raps

Es wurde wiederholt nachgewiesen, daß der Raps (Genomformel AACC, 2n=38) ein am-

phidploider Bastard aus *Brassica campestris* (AA, 2n=20) und *Brassica oleracea* (CC, 2n=18) ist. Analog geht der Sareptasenf (*B. juncea*, Genomformel AABB, 2n=36) auf die beiden Grundarten Rübsen und Schwarzer Senf (*B. nigra*, BB, 2n=16) zurück. Der Abessinische Senf (*B. carinata*) hat 2n=34 Chromosomen und besitzt die Genome BB und CC (Abb. 4).

Da bisher noch keine Wildformen von *B. napus* gefunden wurden, geht man davon aus, daß unsere heutige Kulturform phylogenetisch relativ jung ist und wahrscheinlich im mediterranen Ursprungsgebiet der beiden Stammeltern durch spontane interspezifische Kreuzung entstanden ist. Berücksichtigt man die

Brassica napus cv. Lenora

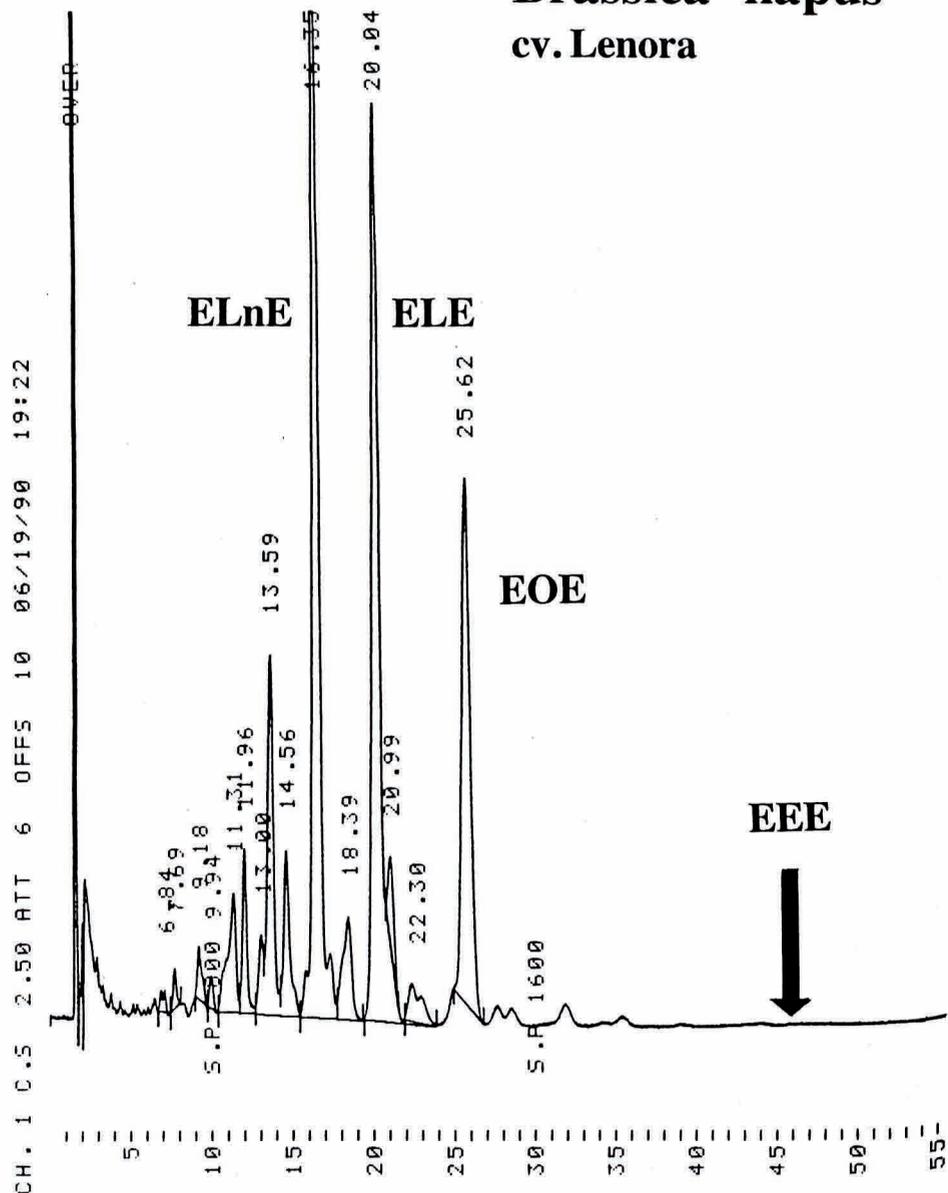


Abb. 2: Triglycerid-Zusammensetzung von erucasäurereichem Winterraps (cv. ‚Lenora‘). Der fehlende Trierucin-Peak ist durch einen Pfeil markiert. Die drei Haupttriglyceride sind ELnE, ELE und EOE (O=C18 : 1-Rest, L=C18 : 2-Rest, Ln=C18 : 3-Rest, E=C22 : 1-Rest).

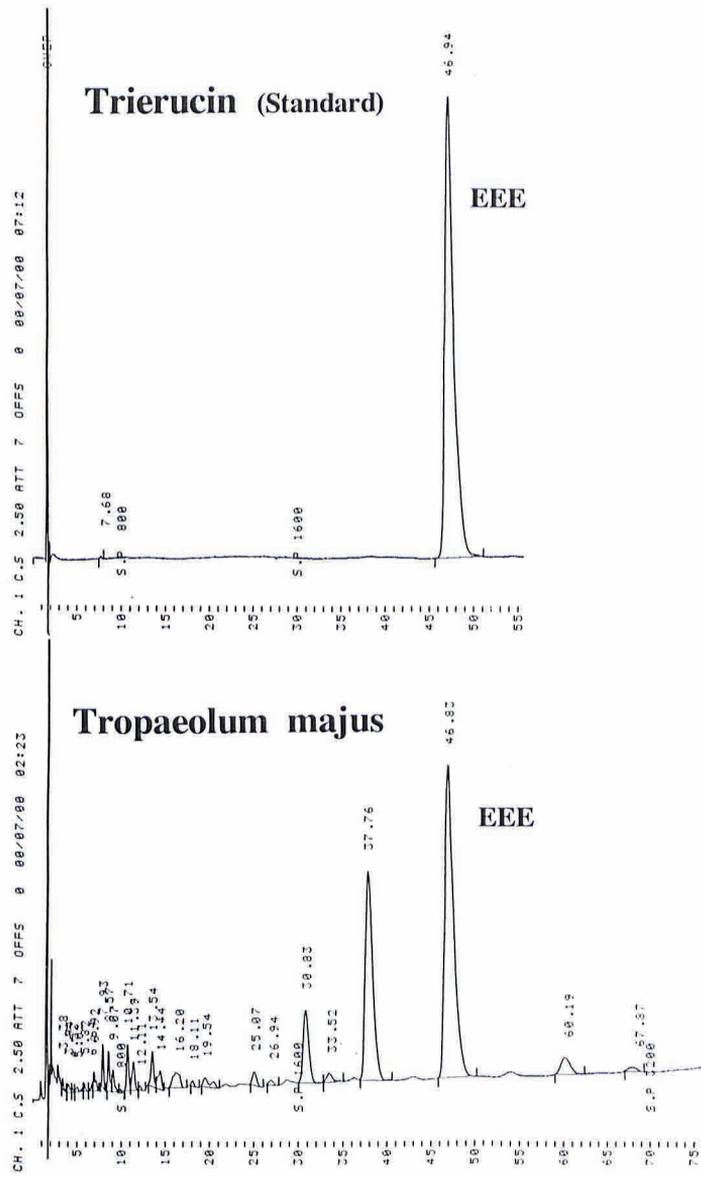
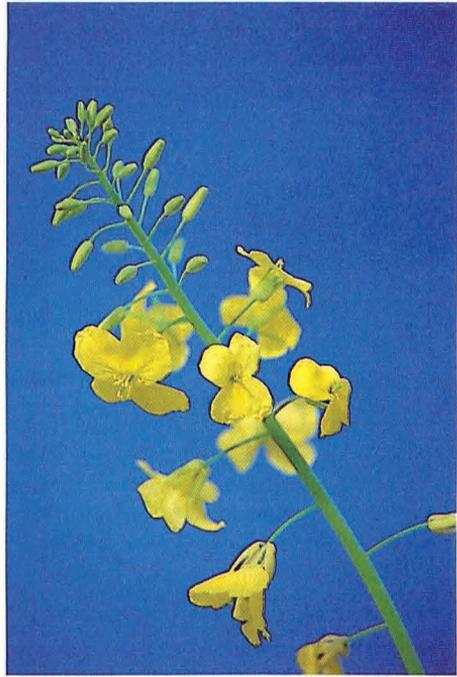


Abb. 3: Triglycerid-Zusammensetzung von *Tropaeolum majus* im Vergleich mit dem Trierucin(EEE)-Standard.

ausgeprägte Variabilität und Mannigfaltigkeit der Formen bei *B. oleracea* und *B. campestris*, so ist das genetische Potential der Resynthese von Raps bei weitem noch nicht ausgenutzt. Die Bedeutung von resynthetisiertem Raps liegt dabei weniger in der direkten agronomischen Nutzung, als vielmehr in der Einkreuzung und Verbesserung vorhandenen Rapszuchtmaterials im Hinblick auf eine Realisierung des jeweils angestrebten Zuchtziels – hier Erucasäure-Anteil im Öl.

Im Grunde genommen wird bei der Resynthese von Raps nur das wiederholt, was die Natur einst zufällig zuwege gebracht hat, mit dem Unterschied, daß nun eine gezielte Auswahl der Kreuzungseltern erfolgt. Die interspezifische Kreuzung von *B. oleracea* und *B. campestris* ist durch Unverträglichkeitsreaktionen (Inkompatibilität) zwi-



Äußerlich unterscheidet sich der „Resynthese-Raps“, eine gezielte Kreuzung von Rübsen und Kohl, nicht vom herkömmlichen Raps, wie man an seiner Blüte sieht. Foto: Lühs

schen dem Nährgewebe und dem heranwachsenden Embryo limitiert. Mit Hilfe geeigneter *in vitro*-Kulturtechniken lassen sich diese Kreuzungsbarrieren jedoch überwinden und Artkreuzungen in entsprechend hoher Frequenz gewinnen. So konnten mittels Kreuzung von *B. campestris* („Yellow Sarson“) mit selektierten *B. oleracea*-Formen (z. B. Blumenkohl „BK 2287“) und anschließende *in ovulo*-Embryokultur zahlreiche „Raps-Resynthesen“ („Resyn“) erstellt werden, die eine Erweiterung der genetischen Variabilität hinsichtlich der Fettsäure-Zusammensetzung des Rapsöles

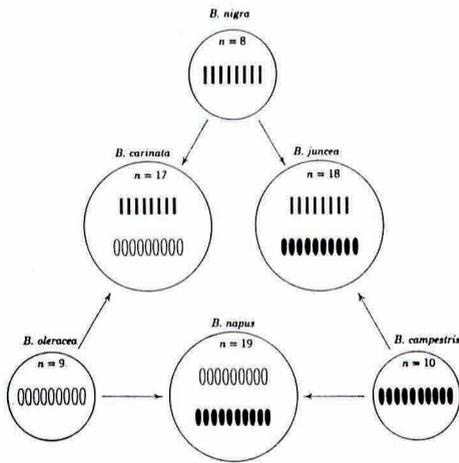


Abb. 4: Schematische Darstellung der Entstehung und der verwandtschaftlichen Beziehung amphidiploider Arten der Gattung Brassica.

erwarten lassen; die ersten Ergebnisse deuten dies bereits an (Tab. 2).

Anwendung der Mikrosporen-Kulturtechnik

Die Mikrosporenkultur ist eine Technik zur raschen Erzeugung homozygoter, d. h. reinerbi-

Tabelle 2. Ölgehalt und Fettsäuremuster der Kreuzungseltern sowie der daraus erstellten „Resynthese-Rapse“

Material	Fett % (ATM)	Hauptfettsäuren %				
		18 : 1	18 : 2	18 : 3	20 : 1	22 : 1
„BK 2287“	40,1	7,9	10,7	10,7	5,3	57,1
„Yellow Sarson“	48,8	10,6	10,5	7,6	6,2	56,7
Elternmittel	44,5	9,3	10,6	9,1	5,8	56,9
Min.	37,2	9,8	8,2	4,1	4,9	54,2
„Resyn“ Mittel	40,5	13,1	9,7	5,7	6,6	56,8
Max.	43,6	16,7	10,5	7,4	8,7	60,1

ger („reiner“) Linien von heterozygoten (gemischterbigen) Kreuzungspflanzen. Dabei werden aus den haploiden Pollenzellen (Mikrosporen, männliche Gameten) der diploiden Spenderpflanzen über einen *in vitro*-Kulturschritt haploide Pflanzen regeneriert. Die anschließende Verdoppelung des einfachen Chromosomensatzes (Polyploidisierung) führt zu sogenannten „doppelhaploiden“, absolut reinerbigen Pflanzen. Beim Raps ist diese Technik – im Gegensatz zu anderen Nutzpflanzenarten – bereits über das Stadium der methodischen Entwicklung und Verbesserung

hinaus gediehen, auch wenn bei Verwendung von aktuellem Zuchtmaterial immer wieder ausgeprägte „genotypische Effekte“ festgestellt werden.

Das Problem der genotypisch bedingten, unterschiedlichen *in vitro*-Reaktion verschiedener Genotypen bedeutet für die züchterische Praxis ein unkalkulierbares Handicap, da durch das zusätzliche Selektionskriterium „Gewebekultur-Tauglichkeit“ eine unerwünschte Diskriminierung von Genotypen mit positiven Leistungseigenschaften nicht ausge-

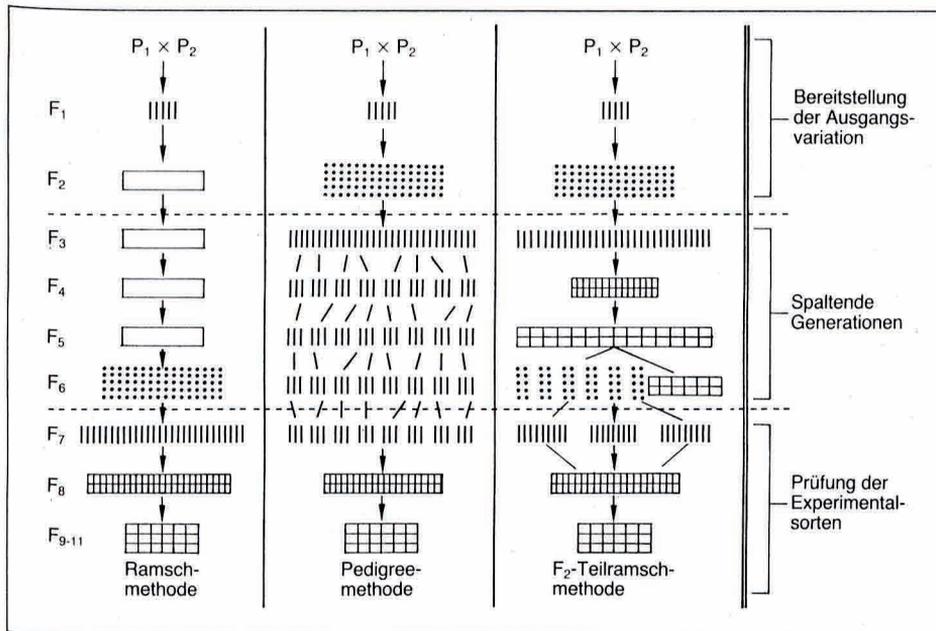


Abb. 5: Konventioneller Zuchtgang bei selbstbefruchtenden Nutzpflanzen.

geschlossen werden kann. Nützlich ist hingegen die Tatsache, daß Kreuzungen (F_1), die i. d. R. als Spendermaterial verwendet werden, besser reagieren als die Eltern. Somit kann die Haploid-Technik letztlich doch sehr effektiv in der Raps-Neuzüchtung eingesetzt werden.

In Hinblick auf den Zuchtgang verspricht ihre Anwendung mitunter eine beträchtliche Zeitersparnis. Der herkömmliche Zuchtgang beim Raps entspricht dem eines Selbstbefruchters (Abb. 5). Dieser läßt sich in drei Phasen einteilen: 1. Bereitstellung der Ausgangsvariation durch Kreuzung aussichtsreicher Genotypen (F_{1-2} -Generation), 2. mehrjährige Selbstungs-Selektionszyklen in den spaltenden Generationen (F_{3-6}) und 3. mehrjährige und -ortige Prüfung der Zuchtlinien (F_{7-10} -Generation). Durch die Anwendung der Haploid-Methode wird bei der Selektion in den spaltenden Generationen die zeitaufwendige mehrmalige Selbstung des Zuchtmaterials eingespart, da der eingelegte Haploid-Schritt direkt zur erwünschten Homogenität führt. Nicht verkürzt werden kann dagegen die Prüfungsphase der Sortenkandidaten; sie muß sogar möglicherweise noch intensiviert werden.

Zu den Autoren:



Dipl.-Ing. agr. Wilfried Lühs, Jahrgang 1962, Studium der Agrarwissenschaften in Gießen, seit 1989 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I der Universität Gießen, promoviert derzeit über Züchtung von Industrieraps mit hohem Erucasäure-Gehalt im Öl.

Dipl.-Ing. agr. Andreas Thierfelder, Jahrgang 1963, Studium der Agrarwissenschaften in Gießen, seit 1990 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I der Universität Gießen, promoviert derzeit über Züchtung von nematodenresistentem Raps.

Prof. Dr. agr. Wolfgang Friedt, Jahrgang 1946, Studium der Agrarwissenschaften an der Universität Bonn, Promotion im Fach Pflanzenzüchtung an der TU München in Freising-Weihenstephan, Habilitation für das Fach Genetik an der Universität Bayreuth, seit 1985 Professur für Pflanzenzüchtung am Fachbereich Agrarwissenschaften der Justus-Liebig-Universität Gießen. Wissenschaftliche Schwerpunkte sind die Erforschung der genetischen Grundlagen für Qualitäts- und Resistenzeigenschaften – insbesondere bei Ölpflanzen. Entwicklung neuer, verbesserter Genotypen als Basismaterial für „nachwachsende Rohstoffe“ mit Hilfe moderner, zell- und molekularbiologischer Züchtungsmethoden. Zahlreiche Publikationen auf dem Gebiet der angewandten Genetik und Pflanzenzüchtung bei Getreide und Ölpflanzen.