

Zur Kombinierbarkeit von hoher Saatgutqualität und wertvollen Korninhaltsstoffen bei Raps (*Brassica napus*): Möglichkeiten und Grenzen

W. LÜHS, R. BAETZEL und W. FRIEDT

1. Einleitung

Rapssaat – weltweit gewonnen von verschiedenen *Brassica*-Arten – nimmt unter den 10 wichtigsten Ölsaaten bei einer Jahresproduktion von ca. 296 Mio. t (1999/2000) mit ca. 42 Mio. t (14,2%) hinter der Sojabohne (154 Mio. t, 52,1%) den zweiten Platz ein und stellt somit ein bedeutendes Handelsprodukt dar. Im Weltmaßstab beträgt die Produktion von Ölen und Fetten derzeit etwa 111 Mio. t; Rapsöl rangiert dabei mit 12,8% (14,2 Mio. t) vor dem Sonnenblumenöl (8,6%) und hinter Sojaöl (22,5%) sowie Palmöl (18,5%). Die Produktion von Extraktionskuchen aus der Ölgewinnung (weltweit ca. 194 Mio. t) geht zu etwa Zweidrittel auf die Sojabohne (108 Mio. t) und Raps (22,2 Mio. t) zurück. Gleichzeitig ist festzustellen, daß derzeit der EU-Selbstversorgungsgrad bei pflanzlichen Ölen weniger als 70% und bei Ölschrotten sogar weniger als 50% beträgt (vgl. GUNSTONE 2000, OIL WORLD 2000). Neben den bahnbrechenden Qualitätsverbesserungen in Form der Züchtung erucasäurefreier und glucosinolat- armer Sorten (sog. 00-Qualität) ist die weltweit große Bedeutung der Rapssaat von der Tatsache bestimmt, daß verschiedenste Formen (Sorten) von Sommer- und Winterraps (*Brassica napus* L.) an unterschiedlichsten Standorten der Welt gedeihen. In Deutschland dominiert der Winterrapsanbau mit ca. 1,1 Mio. ha (1999; anteilig etwa 310.000 ha 'Non food'-Anbau) deutlich vor dem Öllein (ca. 184.000 ha) und der Sonnenblume (ca. 34.000 ha) (ZMP 2000). Im wesentlichen trägt dazu das hohe Ertragsvermögen bei, das insbesondere den Winterraps unter nord- und mitteleuropäischen Klimaverhältnissen auszeichnet. Zur weiteren Stärkung der Konkurrenzfähigkeit des Rapses auf dem europäischen Ölmarkt ist es als ein vorrangiges Ziel der Züchtung anzusehen,

das genetische Ertragspotential - bei gleichzeitiger Reduktion des pflanzenbaulichen Inputs - noch besser aususchöpfen und durch Erhöhung des Ölgehaltes eine verbesserte Marktleistung zu erreichen. Die Ertragszüchtung erfährt daher ihre konsequente Fortsetzung durch die Entwicklung von ölertragreichen Hybridrapssorten. Die züchterische Entwicklung von neuen Rapsformen mit spezifischen Ölqualitäten eröffnet weitere Absatzmöglichkeiten - sowohl im Nahrungsmittel- als auch im "Non food"-Bereich. Die Wettbewerbsfähigkeit von Raps wird nicht zuletzt auch von der Qualität des Rapsmehles als Koppelprodukt der Ölgewinnung bestimmt. Die politischen Auswirkungen der BSE-Krise und das nationale Verfütterungsverbotsgesetz (Dez. 2000) haben dazu geführt, daß heimisch erzeugbare, pflanzliche Proteinquellen nachgefragt werden und aus diesem Grund auch Rapschrot verstärkt zum Einsatz kommt. Um die Verwendungsmöglichkeiten des wertvollen Rapsproteins zu verbessern, gilt es, den Gehalt an wertmindernden Schrotinhaltsstoffen, wie Rohfaser und einer Reihe antinutritiver Substanzen (u.a. Tannine, Phytate und Sinapine), zu vermindern (vgl. FRIEDT und LÜHS, 1999a). In diesem Zusammenhang hat die Züchtung gelbsamiger Rapsformen mit verringertem Schalenanteil (reduzierter Rohfaser-Gehalt) weltweit Bedeutung erlangt, indem die Rohfaser als wertmindernder Inhaltsstoff reduziert und die innere Samenqualität dadurch deutlich verbessert wird. Es ist jedoch sicherzustellen, daß die dünnere Samenschale in diesem Material keine nachteiligen Effekte auf die Samenvitalität hat. Im Hinblick auf die Sortenzüchtung und Saatgutproduktion stellen sich für diese neue Qualitätszucht die gleichen Anforderungen an die Saatgutbeschaffenheit (Keimfähigkeit, Triebkraft, Gesundheit, Besatz, etc.) wie für die 00-

Standardqualität, die sich durch dunkle Samen und höheren Rohfaser-Gehalt auszeichnet.

2. Wertbestimmende Korninhaltsstoffe (innere Samenqualität)

Die Verwendung des Rapses war seit jeher durch die innere Samenqualität bestimmt. So fand Rapsöl erst Anfang der 70iger Jahre durch die Züchtung von Sorten, deren Öl frei von der in der Ernährung unerwünschten Erucasäure (C22:1) ist, in größerem Maße Eingang in den Ernährungssektor. Eine Begrenzung stellte aber damals noch die Verwertung des Rapschrotes dar. Mit der Zulassung der ersten glucosinolatfreien Sorte (1981) war danach die Voraussetzung geschaffen, das eiweißreiche Rapschrot in größeren Mengen in Mischfuttermitteln einzusetzen. Heute konzentriert sich die Verarbeitung der Rapssaat auf die Gewinnung von Rapsöl für die menschliche Ernährung sowie als Rohstoff für die Methylester-Treibstoffherstellung, die Oleochemie und ausgewählte technische Bereiche (u.a. Schmierstoffe, Hydrauliköle, etc.). Der proteinreiche Rückstand der Ölextraktion wird als hochwertiges Futtermittel vermarktet. Die Inhaltsstoffe, die daher den ökonomischen Wert der Rapssaat bestimmen und den Züchter vornehmlich interessieren, sind das Samenöl mit unterschiedlichen Fettsäurequalitäten sowie das Rohprotein und die Rohfaser (vgl. LÜHS und FRIEDT, 1994).

2.1 Samenöl - Quantität und Qualität

2.1.1 Ölgehalt

Neben einem hohen Kornertrag und weiteren agronomischen Eigenschaften (Resistenzen, Standfestigkeit, etc.), die

Autoren: Dr. W. LÜHS, R. BAETZEL und Prof. Dr. Wolfgang FRIEDT, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung, Heinrich-Buff-Ring 26-32, D-35392 GIESSEN



in erster Linie über die Anbauwürdigkeit einer Rapsorte entscheiden, ist für eine optimale Vermarktung des Erntegutes der Ölgehalt das wichtigste Qualitätskriterium. Der Ölgehalt ist heute - neben dem Wassergehalt und dem Besatz - die wichtigste Grundlage für die Bezahlung des Rapses an den Landwirt. Aus diesem Grund wurde der Erhöhung des Ölgehaltes bei der züchterischen Verbesserung des Rapses stets eine große Bedeutung beigemessen und um diese Aufgabe systematisch zu bearbeiten, wurden bereits früh eingehende genetische Analysen des Merkmals Ölgehalt vorgenommen (OLSSON, 1960; RIEMANN, 1963, 1964; RIEMANN und KRÜGER, 1967; SCHUSTER, 1967; KOROMA, 1977; RÖBBELEN und RAKOW, 1979; ARNHOLDT und SCHUSTER, 1981). In den älteren sog. ++-Sorten sowie in den modernen Industrieraps-Sorten (+0-Qualität), die als Hauptfettsäure Erucasäure (C22:1) in ihrem Öl enthalten, liegt der Ölgehalt - bedingt durch den stöchiometrischen Effekt der um 4 Kohlenstoff-Atome längeren Hauptfettsäureketten - absolut ca. 2-4% höher als bei erucasäurefreiem Qualitätsraps mit Ölsäure (C18:1) als Hauptkomponente (vgl. KLASSEN, 1976; ECKE et al., 1995). Der in den 70er Jahren mit der Umstellung auf erucasäurefreie Sorten beobachtete Rückgang im Ölgehalt ist heute wieder weitestgehend kompensiert worden. Der Ölgehalt von 00-Winterraps liegt im Mittel bei 40-44% (%TS), in ölreichen Sorten werden 46-48% erreicht, und als Zuchtziel sind 48-50% anzusehen (vgl. SCHUSTER, 1987; BECKER et al., 1999).

Es ist allgemein bekannt, daß der Ölgehalt einer starken Umweltvariation unterliegt, die im wesentlichen durch jahresbedingte, klimatische Bedingungen während der Vegetation des Rapses - besonders während der Samenreifung - hervorgerufen wird. So wurde berichtet, daß der Ölgehalt der alten erucasäurehaltigen Sorte 'Lembkes Winterraps' aufgrund von Umwelteinflüssen (Jahresunterschiede, Standorte, Wechselwirkung Jahr/Standort) eine Variationsbreite von ca. 33-50% zeigte. Aber nicht nur Standort- und Jahreseinflüsse können den Ölgehalt des Winterrapses beeinflussen, sondern auch verschiedene Düngungs-

maßnahmen und in geringem Umfang auch Saatzeitverschiebungen (vgl. SCHUSTER, 1967). Unter den Klimafaktoren hat offenbar die Vegetationstemperatur den stärksten Einfluß auf das Rohfett:Rohprotein(RF:RP)-Verhältnis in den reifenden Rapsamen: Nach Untersuchungen von CANVIN (1965) ergab eine schrittweise Steigerung der Temperatur von 10 auf 26,5 °C eine Reduktion des Ölgehaltes von 51,8% auf 32,2% und einen Anstieg des Proteingehaltes von 16,4% auf 27,3%. Ist bei jahresbedingten Umwelteinflüssen oft nur eine Verschiebung des RF:RP-Verhältnisses und keine wesentliche Änderung der Summe von Öl- und Protein-Gehalt (RF+RP) zu beobachten, so deutet sich bei extrem hoher Abreife-temperatur auch eine deutliche Abnahme der Summe der beiden Hauptinhaltsstoffe - verbunden mit einer Reduktion der Korngröße bzw. des TKGs - ab, die durch eine geringere Netto-Assimilation infolge hoher Atmungsrate bei höheren Temperaturen erklärt werden kann. Da die Ölbildung während der Reife später einsetzt als die Proteinbiosynthese, wird die Öleinlagerung zum größten Teil durch den Reifegrad bestimmt bzw. durch temperaturbedingte Reifebeschleunigung beeinträchtigt (CANVIN 1965). Unter kontrollierten Abreifebedingungen im Phytotron wurde sowohl bei Winter- als auch Sommerraps festgestellt, daß insbesondere die Temperatur, aber auch die Tageslänge und die Luftfeuchte modifizierend auf den Öl- und Proteingehalt wirken: So wurden die höchsten Ölgehalte unter Langtagbedingungen (19-Stunden-Tag), bei rel. tiefen Temperaturen (16/

10 °C Tag/Nacht) und niedriger Luftfeuchte (50% rel. LF) erreicht. Gleichzeitig wurde festgestellt, daß dabei zwischen den beiden letztgenannten Klimafaktoren auch Wechselwirkungen bestehen, indem die Temperaturunterschiede (16/10 °C vs. 24/18 °C) bei niedriger Luftfeuchte stärker auf den Ölgehalt wirken als bei hoher Luftfeuchte (85% rel. LF) (SCHUSTER et al., 1980, MARQUARD und SCHUSTER, 1981).

2.1.2 Variabilität des Fettsäure-Musters

Fette und Öle (Triglyceride) setzen sich aus dem dreiwertigen Alkohol Glycerin und drei damit veresterten Fettsäuren zusammen. Die Kettenlänge, der Sättigungsgrad sowie das Vorhandensein funktioneller Gruppen der Fettsäuren bestimmen dabei im wesentlichen die Qualität des Pflanzenöls und damit seine spezifischen Verwendungsmöglichkeiten in der Ernährung oder im 'Non food'-Bereich (TRAUTWEIN und ERBERSDOBLER, 1998; BIERMANN et al., 2000). Züchterische Bestrebungen gehen dahin, eine "maßgeschneiderte" Fettsäure-Zusammensetzung zu erzielen, indem der Gehalt einzelner Fettsäuren optimiert oder durch das Einbringen einer neuen Fettsäure eine gewünschte drastische Veränderung der Ölqualität herbeigeführt wird. Die Pflanzenzüchtung kann heute auf eine breite Palette von Methoden und Techniken zurückgreifen. Dabei bilden die klassischen Züchtungsmethoden nach wie vor das Gerüst in der Züchtungspraxis, wobei in zunehmenden Maße die Biotechnologie erweiterte Möglichkeiten bei der Schaffung neuer genetischer Ausgangs-

Tabelle 1: Spezielle Fettsäure-Varianten bei Raps (*B. napus*) (vgl. BIERMANN et al., 2000)

Fettsäure	Eruca-Raps (herkömml. Raps)	0- bzw. 00-Raps (natürl. Mutation)	Niedrig-Linolen (künstl. Mutation)	Hoch-Ölsäure (künstl. Mutation/Gen-technik)	Laurin-Raps (Gentechnik)
Laurin (C12:0)	-	-	-	-	37
Myristin (C14:0)	-	-	-	-	4
Palmitin (C16:0)	3	4	4	4	3
Stearin (C18:0)	1	2	2	2	1
Ölsäure (C18:1)	11	60	61	83	33
Linol (C18:2)	12	21	28	5	12
Linolen (C18:3)	9	10	3	4	7
Eicosen (C20:1)	8	1	1	1	-
Eruca (C22:1)	52	1	-	-	-
Rest	4	1	1	1	3

variation eröffnet und zur Beschleunigung des Zuchtganges beiträgt. Darüber hinaus ermöglicht der gezielte Gentransfer die planmäßige Übertragung definierter Gene – unabhängig von der Spenderpflanze und von etwaigen Kreuzungsbarrieren. Die Gentechnik bietet darüber hinaus ein weiteres hochwirksames pflanzenzüchterisches Instrument, die wertbestimmende Zusammensetzung des Samenöls bereits in der Pflanze dem späteren Verwendungszweck anzupassen ("oil designing"). Betrachtet man die verfügbaren Fettsäure-Varianten (vgl. Tab. 1), so ist das Rapsöl von Natur aus reich an Erucasäure (ca. 40-55%), einem nachgefragten Rohstoff für vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im oleochemischen Bereich. Im Hinblick auf die Verbesserung der Nahrungsölqualität wurden mit klassischen Züchtungsmethoden erucasäurefreie Formen (0- bzw. 00-Typen) entwickelt, die mit ca. 60% einen erhöhten Ölsäure(C18:1)-Gehalt aufweisen (vgl. Tabelle 1). Die Erzeugung von linolensäurearmen (maximal 3% C18:3) oder hochölsäurehaltigen (> 80% C18:1) Rapsformen ist sowohl auf konventionellem Wege durch künstliche Mutationauslösung als auch gentechnisch durch Hemmung der Desaturation erzielt worden. Der Laurin-Raps (vgl. Tabelle 1) wurde durch genetische Transformation mit einem Thioesterase-Gen aus dem Kalifornischen Lorbeerbaum erzeugt und bereits kommerziell in der USA angebaut. Sehr hohe Kosten für das Genehmigungsverfahren zum Inverkehrbringen und unzureichendes Wertschöpfungspotential haben den Patentschutzinhaber (Calgene/Kalifornien, USA) veranlaßt, die Entwicklung dieser Rapsöl-Variante in Europa nicht weiter zu verfolgen (vgl. FRIEDT und LÜHS, 1998, 1999a, 1999b; BIERMANN et al., 2000).

2.1.3 Tocopherol

Neben ihrer Eigenschaft als Vitamin wird den Tocopherolen ein maßgeblicher Einfluß auf die Lagerfähigkeit und die Haltbarkeit von Fetten und Ölen sowie deren Produkten zugeschrieben (PONGRACZ, 1984; TIMMERMANN, 1990). Die Hauptfunktion von Vitamin E besteht im Schutz der Membranlipide vor Schädigung durch freie Radikale. Da

die Peroxidierbarkeit von Fetten mit der Menge und dem Grad der Ungesättigtheit von Polyenfettsäuren (polyunsaturated fatty acids, PUFA) zunimmt, führt deren Zufuhr ohne ausreichenden antioxidativen Schutz rasch zu einem Vitamin E-Mangel (MUGGLI, 1993). Aufgrund dessen müssen Nahrungsmittel, die PUFA enthalten, nicht nur vor dem Ranzigwerden bei der Lagerung geschützt werden, sondern auch mit einem ausreichenden physiologischen Oxidationsschutz ausgestattet sein (vgl. GASSMANN et al., 1995; HAMILTON et al., 1998).

Im Gegensatz zu Veränderungen der Fettsäure-Zusammensetzung des Rapsöls hat die gezielte züchterische Bearbeitung und Nutzung des Tocopherol(TOC)-Gehaltes und Musters bisher wenig Berücksichtigung gefunden. Die unter dem Begriff Vitamin E zusammengefaßten Tocopherole und Tocotrienole sind eine Gruppe biologisch aktiver, fettlöslicher Substanzen, die in der Natur ausschließlich von Pflanzen synthetisiert werden können. Rapssamen enthalten in ihrem Öl a-, g- und wenig d-TOC, wobei a-TOC mit ca. 25-40 % und g-TOC mit ca. 55-70 % den Hauptanteil ausmachen (vgl. BALZ et al., 1992; SHAHIDI und SHUKLA, 1996; KAMAL-ELDIN und APPELQVIST, 1996). Aus den bisher vorliegenden Daten geht hervor, daß Rapsöl zwischen 300 und 1000 mg/kg Öl an Gesamt-TOC enthält. In früheren Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß der TOC-Gehalt des Rapsöls sowohl genetisch determiniert ist als auch durch Umwelteinflüsse in erheblichem Maße modifiziert sein kann (MARQUARD, 1976, 1990). Im Rahmen des BMBF-Forschungsverbundes "NAPUS 2000" wird durch die Kombination von klassischer Pflanzenzüchtung - in Form von Vererbungsstudien und der Schaffung von divergentem Ausgangsmaterial (a-TOC-, g-TOC-Typen) - und gentechnischen Ansätzen eine Anreicherung dieser natürlichen Antioxidantien angestrebt (vgl. FRAUEN, 2000; LECKBAND et al., 2000).

2.2 Schrotqualität und Züchtung von gelbsamigem Raps

Im Gegensatz zur Sojabohne wird der Raps in erster Linie als Öllieferant angebaut. Die Marktleistung von 00-Kör-

nerraps wird aber in zunehmendem Maße auch durch die Verwertbarkeit des Rapsmehles in der Viehfütterung bestimmt. Mit der züchterischen Reduktion des Glucosinolat-Gehaltes wurde grundsätzlich die Verwertung des Mehles in der Futtermittelindustrie ermöglicht, jedoch war seine Verwendung in der Tierernährung lange Zeit auf Wiederkäuer beschränkt. Vorrangige Inhaltsstoffe im Rapsmehl, welche bei dem derzeitigen Stand der Qualitätszüchtung die Eignung in Futtermitteln von Monogastern begrenzen, sind der Rohfaseranteil und der Proteingehalt. Rapsmehl enthält gegenüber Sojaextraktionsschrot weniger Rohprotein (38% vs. 47%). Aufgrund des höheren Rohfaseranteils (ca. 12% vs. 7%) ist der Gehalt an verwertbarer Energie gegenüber Sojamehl deutlich geringer. Dagegen ist der Anteil weiterer essentieller Aminosäuren - vor allem schwefelhaltiger wie Methionin und Cystein - sowie wichtiger Mineralien und Vitamine im Rapschrot erhöht (DOWNEY und BELL, 1990; BELL, 1993, 1995; SCHÖNE, 1993; THIES, 1994).

Es konnte wiederholt gezeigt werden, daß Gelbsamigkeit aufgrund einer dünneren Samenschale einen reduzierten Rohfasergehalt bei gleichzeitig erhöhtem Anteil an wertbestimmenden Sameninhaltsstoffen wie Öl und Protein bedingt (u.a. BAETZEL et al., 1999). Der Züchtung hellsamiger Rapsformen wird daher große Bedeutung beigemessen, um die Schrotqualität des Rapses gegenüber dem Konkurrenzprodukt Soja-Extraktionsschrot zu verbessern. Zwar konnten in Zuchtgartenmaterial des öfteren hellsamige Raps-Mutanten selektiert werden, die Stabilität des Merkmals erwies sich jedoch oft als unzureichend. Die Samenfarbe des Rapses ist ein komplex vererbtes Merkmal. In Abhängigkeit von der verwendeten Quelle für Gelbsamigkeit wurde in den meisten Fällen ein trihybrider Erbgang gefunden; demnach entstehen gelbe Samen nur unter der Voraussetzung, daß an allen drei Genloci der homozygot-rezessive Zustand vorliegt (*bl1bl1, bl2bl2, bl3bl3*) (SHIRZADEGAN, 1986; HENDERSON und PAULS, 1992; VAN DEYNZE und PAULS, 1994; VAN DEYNZE et al., 1995; LÜHS et al., 2000). Trotz der überwiegend maternalen Vererbung

wird eine direkte Beeinflussung des Merkmals durch den Embryo als Ursache für variable Farbausprägung der Samen nicht vollständig ausgeschlossen (HENEEN und BRISMAR, 2001). In heterozygoten Genotypen ist die Merkmalsausprägung zudem in starkem Maße von der Umwelt beeinflusst (vgl. VAN DEYNZE et al., 1993).

Im Rahmen eines Zuchtprogramms an unserem Institut erfolgt die Entwicklung von neuen hellsamigen Rapslinien mit verbesserter Schrotqualität unter Einbeziehung verschiedener genetischer Quellen für Gelbsamigkeit. Eine schnelle Entwicklung von hellsamigem reinerbigen Ausgangsmaterial erfolgte dabei mit Hilfe der Mikrosporenkultur; parallel zu den doppelhaploiden Linien (DH-Linien) wurde in mehrjährigen Selbstungs-Selektionszyklen entsprechendes Inzuchtmaterial erstellt. Die spaltende DH-Population YG14, die derzeit im Rahmen der genetischen und molekularen Charakterisierung eingehender untersucht wird, geht auf eine Kreuzung zwischen dem gelbsamigen 00-Winterrapselater ('T-25629') und der erucasäurehaltigen DH-Linie 'K26-96' zurück (vgl. BAETZEL et al., 1999; LÜHS et al., 2000).

2.2.1 Protein

Nach einer Phase intensiver Züchtungsforschung hat in den letzten 2 Jahrzehnten die qualitative Verbesserung der Rapserteprodukte im Hinblick auf die eng miteinander verbundenen Merkmale Proteingehalt, Protein-Zusammensetzung und Protein-Flächenertrag nur eine untergeordnete Bedeutung eingenommen (FINLAYSON et al., 1969; RÖBBELEN et al., 1976; GRAMI und STEFANSSON, 1977a, 1977b; GRAMI et al., 1977; RÖBBELEN und RAKOW, 1979; RÖBBELEN, 1981; ARNHOLDT und SCHUSTER, 1981; SCHWENKE, 1982; MOSSÉ und BAUDET, 1983; PAYNE, 1983; BENGTTSSON, 1985a; MARQUARD, 1993).

Der Rapsamen enthält einen relativ hohen Anteil an Rohprotein von ca. 20-30% (%TS). Die Abnahme des Rohproteingehaltes in Rapschrot (ca. 35-40%) bei ansteigenden Ölgehalten im Samen wurde an schwedischem Zuchtmaterial deutlich nachgewiesen, wobei eine signi-

fikante negative Korrelation ($r=-0,59$) errechnet wurde (BENGTTSSON, 1985a). Diese negative Korrelation zwischen Rohprotein und Rohfett kann je nach untersuchtem Material stark variieren: ARNHOLDT und SCHUSTER (1981) berichteten Werte für Winterapps zwischen $r=-0,72$ und $r=-0,85$ und bei Sommerraps zwischen $r=-0,62$ und $r=-0,95$; RÖBBELEN fand für erucasäurefreies Winterapps-Zuchtmaterial Werte zwischen $r=-0,58$ und $r=-0,81$ bzw. bei dreijährigen Anbauversuchen in Hohenlieth (Norddeutsche Pflanzenzucht) einen Korrelationskoeffizienten von $r=-0,79$ (RÖBBELEN, 1978; RÖBBELEN und RAKOW, 1979). Obwohl Öl- und Proteingehalt als Hauptkomponenten im Rapsamen in negativer Beziehung stehen, lassen sich beide wertbestimmenden Bestandteile dennoch in Grenzen gleichzeitig züchterisch steigern, wenn man auf die Summe ihrer Prozentwerte ausliest (vgl. u.a. GRAMI und STEFANSSON, 1977a, 1977b; GRAMI et al., 1977; KOROMA, 1977; STEFANSSON, 1978; RÖBBELEN, 1978; RÖBBELEN und RAKOW, 1979). In den von uns züchterisch bearbeiteten Inzuchtlinien (F_5S_4), die auf die Einkreuzung von gelbsamigem Material zurückgehen, kommt diese negati-

ve Korrelation ($r=-0,761^{**}$) zwischen Öl und Rohprotein ebenfalls deutlich zum Tragen. Im Vergleich zu den Verrechnungssorten zeichnet sich dieses Zuchtmaterial durch höhere Proteingehalte und zugleich hohe "Summen" von Öl und Protein (RF+RP) von deutlich bis zu über 75% (% TS) aus (vgl. *Abbildung 1*).

Die züchterische Selektion wird dadurch erschwert, daß sowohl der Öl- als auch der Proteingehalt polygenisch vererbt und stark durch Umwelteinflüsse modifiziert werden, so daß die Heritabilitätswerte für jedes Einzelmerkmal sowie die Summe RF+RP etwa 20-30% ($h^2=0,2-0,3$) betragen (GRAMI et al., 1977; ARNHOLDT und SCHUSTER, 1981). Die Summenwerte RF+RP zeigen infolge der hohen negativen Beziehung zwischen Fett- und Eiweißgehalt eine wesentlich geringere Variabilität als die Einzelmerkmale. Die Selektion sollte über mehrere Jahre erfolgen, da Wechselwirkungen Genotyp x Jahr für die Summe RF+RP angezeigt sind. Gleichzeitig muß aber auf die Einzelkomponenten geachtet werden und deren starke Umweltmodifikation dadurch berücksichtigt werden, indem bei der Selektion auf Öl- bzw. Proteingehalt das Hauptkriterium in der Differenzierung zwischen

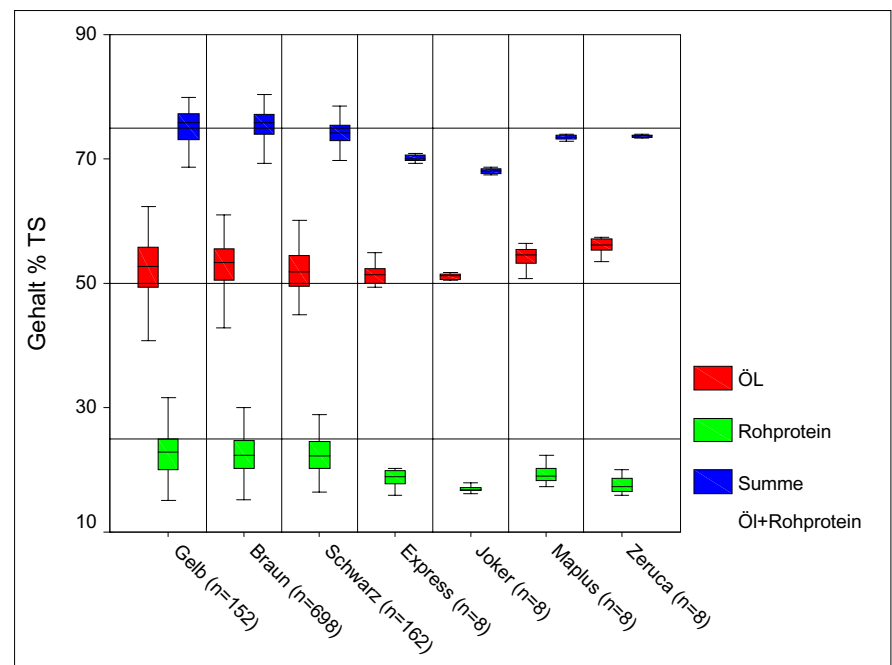


Abbildung 1: Öl- und Rohproteingehalte (% TS; NIRS-Methode) der nach Samenfarbe ausgewählten Inzuchtlinien (F_5S_4) im Vergleich zu den Verrechnungssorten 'Express' (00), 'Joker' (00), 'Maplus' (+0) und 'Zeruca' (+0). Die Boxplots beschreiben Extremwerte, Median sowie die 25%- und 75%-Quartile; n= Anzahl untersuchter Linien.

den Genotypen aus gleichen Umweltbedingungen liegt und weniger im absoluten Gehalt. Die höchsten Werte für RF+RP werden aber i.d.R. dann erreicht, wenn die Umweltbedingungen für die Ölbildung günstig sind und der Ölgehalt entsprechend hoch ist (vgl. RÖBBELEN und RAKOW, 1979; SCHUSTER et al., 1980; MARQUARD und SCHUSTER, 1981).

Für die züchterische Verbesserung sowohl des Öl- als auch Proteingehaltes ist es sehr wichtig, daß eine hinreichend genaue Schnellmethodik mit hohem Durchsatz in der Ernte- und Aussaatzeit vorliegt. Für den Ölgehalt gab es bereits seit den 70er Jahren die Möglichkeit, mit Hilfe der Kernresonanzspektroskopie (NMR) als physikalisches Meßverfahren eine zerstörungsfreie Ölmessung an kleinen Probenmengen (2 g) und in kurzen Analysezeiten (10-20 s) vorzunehmen. Im Fall des Proteins gab es lange Zeit nur die automatisierte N₂-Elementaranalyse (nach DUMAS und anschließender Volumetrie oder Gaschromatographie), die zwar das aufwendige naßchemische KJELDAHL-Verfahren ersetzte, aber auch nicht zerstörungsfrei arbeitete. Eine weitere Verbesserung brachte daher in den letzten Jahren die Einführung der Nahinfrarot-Reflektionspektroskopie (NIRS) für die routinemäßige simultane Bestimmung von Öl-, Protein-, Glucosinolat- und Wassergehalt in der intakten Ölsaart (vgl. RÖBBELEN und RAKOW, 1979; BENGTTSSON, 1985b; MARQUARD, 1987; McGREGOR, 1990; DAUN, 1995).

2.2.2 Antinutritive Substanzen

Der Einsatz von Rapsmehl in der Tierernährung und die Verwendung von Rapsproteinen in der menschlichen Ernährung ist auf Grund einiger antinutritiver Faktoren eingeschränkt. Glucosinolate, die zunächst als wichtigste limitierende Faktoren angesehen wurden, sind durch Einführung der 00-Sorten (Canola) weitgehend reduziert worden und sollen durch züchterische Bearbeitung möglichst ganz eliminiert werden. Nun gilt es, die Gehalte an weiteren wertmindernden Inhaltsstoffen des Schrottes - wie Tannine (Polyphenole), Phytate und Sinapine - zu reduzieren (vgl. FENWICK et al., 1983, 1984; THIES, 1991, 1994; GRIFFITHS et al., 1998; NACZK

et al., 1998; FRIEDT und LÜHS, 1999a), um die Futterqualität des Rapsmehles zu erhalten bzw. weiter zu verbessern (vgl. *Tabelle 2*).

Phenolcarbonsäuren und kondensierte Tannine (Polyphenole) stellen die vorherrschenden phenolischen Verbindungen in der Rapssaart dar, wobei die Gehalte im Vergleich zu anderen Ölsaaten sehr viel höher liegen. Neben der durch Komplexbildung hervorgerufenen Minderung der Proteinverdaulichkeit sind sie für den bitteren und adstringierenden Geschmack sowie die unansehnliche dunkle Farbe von Rapschrotprodukten verantwortlich (BLAIR und REICHERT, 1984; BOUCHEREAU et al., 1991, 1992; NACZK et al., 1998). Lösliche phenolische Verbindungen werden im Rapsamen hauptsächlich in den Kotedonen akkumuliert. Herausragende Komponente ist das Sinapoylcholin (Sinapin), dessen Gehalt im Rapsmehl durchschnittlich bei 1-2% liegt. Im Hinblick auf die Rapsfütterung wird Sinapin in Verbindung gebracht mit der Akkumulation von Trimethylamin und dem damit verbundenen Auftreten von Fischgeruch in Eiern von bestimmten Legehennen-Rassen (vgl. FENWICK und CURTIS, 1980; KRYGIER et al., 1982; FENWICK et al., 1984; KOZLOWSKA et al., 1990; BOUCHEREAU et al.,

1991, 1992; KRÄLING et al., 1991; VELASCO und MÖLLERS, 1998). Die Biosynthese des Sinapins in Vertretern der Brassicaceen verläuft in reifenden Samen und wird von zwei Schlüsselenzymen, der UDP-Glucose:Sinapinsäure-Glucosyltransferase (SGT) und der Sinapoylglucose:Cholin-Sinapoyltransferase (Sinapinsynthase; SCT), katalysiert, so daß auch hier gezielte gentechnische Ansätze zur Anwendung kommen können (vgl. u.a. STRACK et al., 1990; MILKOWSKI et al., 2000).

2.2.3 Rohfaser, Schalenanteil

Die Selektion auf eine hohe Summe von Öl und Protein geht im wesentlichen zu Lasten der Rohfaser. Diese ist als eine stofflich sehr heterogene, chemisch-analytisch schwierig zu erfassende Fraktion von pflanzlichen Zellwand- und Gerüstsubstanzen anzusehen, die im Verdauungstrakt von Mensch und Tier nicht angegriffen werden. Nach der Weender Futtermittelanalyse (HENNEBERG, W. und F. STROHMANN, J. Landw. 3, 445, 1859), die auf einem Aufschluß mit heißen Säuren und Laugen unter definierten Bedingungen beruht, wird die Rohfaser als unlöslicher Rückstand aufgefaßt, der gleichzeitig den nicht-verdaulichen Anteil in der Nahrung kennzeichnen soll. Neben den pflanzlichen

Tabelle 2: Optimierung der Schrotqualität bei 00-Raps

Inhaltsstoff	Negative Wirkung	Gehalt im Rapsmehl (% TS)	Maßnahme
Phenolcarbonsäuren und Derivate	Bitterer Geschmack, adstringierende Eigenschaften des Rapsmehls; dunkle Farbe des Schrottes; Fischgeschmack Hühnerei (Sinapin)	0,5 - 3,0	Selektion sinapinarmer Formen
Sinapinsäure-Ester (vornehmlich Sinapin)			Hemmung von Enzymen des Phenylpropanoid-Stoffwechsels (Mutagenese, Gentechnik)
Freie oder gebundene Phenolcarbonsäuren		0,1 - 0,3	
Tannine (Polyphenole)	Futteraufnahme und Energieumsatz eingeschränkt; Verdaulichkeit der Proteine aufgrund Komplexbildung reduziert; dunkle Farbe	1,5 - 4,0	Selektion tanninarmer Formen, Züchtung von gelbsamigem Raps
• kondensierte Tannine (etwa 1/3, in der Samenschale) • lösliche Tannine (etwa 2/3, im Embryo)			Hemmung von Enzymen des Phenylpropanoid-Stoffwechsels (Mutagenese, Gentechnik)
Phytinsäure u. Derivate	Schlecht verfügbare P-Form (Monogaster); Resorption von Spurenelementen behindernd; Komplexe mit Aminosäuren	2,0 - 5,0	Phytase als Futtermittelzusatz Induzierte Phytase-Aktivität (Gentechnik)
			Selektion phytatarmer Formen (Mutagenese, Gentechnik)

Gerüstkohlenhydraten (Cellulose, Pentosane und andere Hemicellulosen) sind in dieser Fraktion eine Reihe von inkrustierenden Substanzen (Lignin, Cutin, etc.) enthalten und es ist bekannt, daß nur das Lignin, das bei der herkömmlichen Rohfaserbestimmung zu einem nicht unerheblichen Anteil in Lösung geht, als unverdaulich gelten kann. Es wurden daher chemisch besser definierte Verfahren entwickelt, wie die fraktionierte Extraktion mit Detergenzien und Säuren (acid detergent fiber, ADF-Methode, VAN SOEST, 1964) oder die Neutral-Detergenz-Methode (neutral detergent fiber, NDF; VAN SOEST und WINE, 1967), die unterschiedliche Ergebnisse für Rapsschrot liefern: 12-13% Rohfaser, 17-23% ADF und 20-30% NDF (vgl. VAN SOEST, 1964, 1966; VAN SOEST und MOORE, 1965; VAN SOEST und WINE, 1967; VAN SOEST und ROBERTSON, 1985; VOHRA, 1989; NACZK und SHAHIDI, 1990; BOURDON und AUMAÎTRE, 1990; BELL und KEITH, 1991; VAN SOEST et al., 1991; UPPSTRÖM, 1995; DAUN, 1995; BELL, 1995). Einen niedrigen Rohfasergehalt als direktes Zuchtziel zu formulieren, bereitet somit Schwierigkeiten, weil diese Fraktion des Rapssamens allein durch die Analytik definiert ist und keinen chemisch einheitlichen Inhaltsstoff darstellt, der über einen genetisch determinierten Biosyntheseweg entsteht. Zudem fehlte es lange Zeit an einer geeigneten, möglichst zerstörungsfreien Selektionsmethode für die Züchtung; erst in jüngerer Zeit wird von der Rohfaser-Schnellbestimmung mit Hilfe der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS bzw. NIT) basierend auf ADH- oder NDH-Werten berichtet (MICHALSKI et al., 1992; FONT et al., 2000). Schnellere Fortschritte in der Reduktion des Rohfasergehaltes könnten indirekt über das Merkmal "Gelbsamigkeit" erreicht werden, indem über die hier gegebene dünnere Samenschale der Anteil an unverdaulichen Gerüstsubstanzen - wie z.B. dem Lignin - reduziert wird (THEANDER et al., 1977; ANJOU et al., 1977; ERIKSON et al., 1994; vgl. NACZK und SHAHIDI, 1990). Die Zusammenhänge zwischen der Hell- und Schwarzsamigkeit, dem Gehalt an Rohfaser und der Verdaulichkeit sind in der Literatur ausgiebig diskutiert worden (u.a. STRINGAM et

al., 1974; BELL und SHIRES, 1982; SHIRZADEGAN und RÖBBELEN, 1985; BECHYNI, 1987; BELL, 1993, 1995; THIES, 1994; SLOMINSKI et al., 1994; SIMBAYA et al., 1995; SLOMINSKI, 1997). Rohfaserarme und pigmentfreie Rapsschrote sind nicht nur in ihrem Energiegehalt verbessert; ein niedriger Rohfasergehalt führt auch zu einer erhöhten Eiweißverdaulichkeit und ein verringerter Polyphenolgehalt in der transparenten Schale der gelben Samen zu einer verbesserten Verfügbarkeit des Eiweißes. Dies wird auch durch Schälungsexperimente bestätigt, in denen der Einfluß der Schälung auf antinutritive Substanzen der Rapssaart und die Fütterung bzw. den Futterwert des Rapsschrotes untersucht wurde. So konnte gezeigt werden, daß durch den Schälprozeß der Gehalt an kondensierten Tanninen je nach Rapssorte um 26,0-81,2% gesenkt werden kann (MATTHÄUS, 1998); somit sind diese antinutritiven phenolischen Verbindungen - ähnlich dem Lignin - mit der Samenschale assoziiert (vgl. BELL und SHIRES, 1982; BIBI et al., 1991; ERIKSON et al., 1994; MATTHÄUS, 1998; JEROCH et al., 2001).

3. Saatgutqualität von gelbsamigem Rapsmaterial

Im Hinblick auf die Charakterisierung äußerer Qualitätskriterien des hier untersuchten Gelbsamigkeits-Zuchtmaterials (Inzucht- und DH-Linien) wurde der Schalenanteil und das Tausendkorngewicht (TKG) erfaßt und dabei der Effekt auf die Hauptinhaltsstoffe Öl und Protein analysiert. Desweiteren wurde

die Saatgutvitalität von DH-Linien unterschiedlicher Samenfarbe anhand von Keim- und Triebkraftprüfungen untersucht. Grundsätzlich müssen gelbsamige Rapsformen den gleichen Normen unterliegen wie Saatgut herkömmlicher schwarzsamiger Rapsorten (vgl. *Tabelle 3*).

3.1 Schalenanteil

Den Schalenanteil, der in enger positiver Korrelation zum Rohfasergehalt steht, kann man durch Abpräparieren der Samenschale und getrenntes Wiegen von Embryo und Samenschale leicht bestimmen. An ausgewählten DH-Linien der Kreuzungsnachkommenschaft YG14 wurde der Einfluß der Samenfarbe auf TKG, Schalenanteil und -dicke sowie Öl- und Proteingehalt bestimmt. Es wurde eine Korrektur anhand der spezifischen Samenoberfläche vorgenommen, um den bekannten negativen Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht (TKG) und prozentualem Schalenanteil (vgl. THIES, 1994; $r=-0,60^{**}$) auszugleichen (*Tabelle 4*).

In bezug auf die gemessene Schalendicke und den ermittelten Schalenanteil zeigen die Ergebnisse eine gute Übereinstimmung mit früheren Untersuchungen, in denen an unterschiedlichem Rapsmaterial der Schalenanteil von Samen verschiedener Samenfarbe bestimmt wurde (u.a. JÖNSSON und BENGTTSSON, 1970; LÖÖF und APPELQVIST, 1972; APPELQVIST, 1972; STRINGAM et al., 1974; SHIRZADEGAN und RÖBBELEN, 1985; RÜCKER, 1990; THIES, 1994). Was die Hauptinhaltsstoffe (Öl, Protein, RÖ+RP) angeht, so wird an die-

Tabelle 3: Mindest- und Höchstnormen der Saatgutbeschaffenheit bei Raps (SaatgutV vom 21.01.1986, BGBl. I S. 146, zuletzt geändert 06.08.1998, BGBl. I S. 2090) (vgl. RUTZ, 1999)

	Basis-Saatgut	Z-Saatgut
Reinheit (%):	98	98
andere Arten (bezogen auf das Gewicht)	0,3	0,3
davon: Hederich (Anzahl Körner)	10	10
Ampfer, außer Kl. Sauerampfer und Strandampfer	2	5
Flughafer u. Flughaferbastarde	0	0
Keimfähigkeit (%):	85	85
Feuchte (%):	9	9
Gesundheit:		
kein Befall von lebenden Schadinsekten oder lebenden Milben;		
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Anzahl Sklerotien oder Bruchstücke)	10	10
Sonstige Anforderungen:		
Bei genetisch erucasäurefreien Sorten maximaler Anteil:	5%	5%

Tabelle 4: Einfluß der Samenfarbe auf TKG, Schalenanteil und -dicke sowie Öl- und Proteingehalt von DH-Linien bei Raps (*B. napus*)

Merkmale		Schwarz	Braun	Gelb
		DH-Line (4-1)	DH-Line (4-186)	DH-Line (4-124)
TKG	[g]	4,5	4,1	3,0
Schalenanteil	[%]	14,6	11,8	14,2
Schalenanteil korrigiert ¹	[%]	14,4	11,3	10,8
Schalendicke	[µm]	65,7 ²	49,9 ³	38,1 ³
MIN	[µm]	60,8	44,8	34,3
MAX	[µm]	72,3	43,1	43,5
Ölgehalt ⁴	[%]	48,6	49,6	50,4
Proteingehalt ⁴	[%]	22,9	22,5	20,0
Summe Öl + Protein	[%]	71,5	72,1	70,4

¹) Korrigiert für die unterschiedliche Samenoberfläche; ²) Mittel aus 3 Samen, mit je 20 Messungen je Schnitt; ³) Mittel aus 2 Samen, mit je 5 Messungen je Schnitt; ⁴) Bestimmung mittels NIRS-Methode

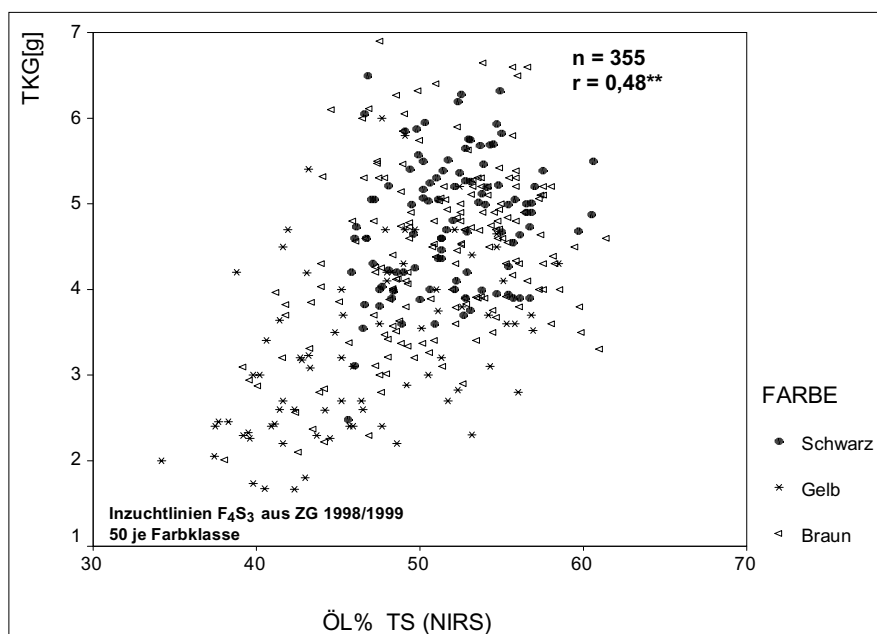


Abbildung 2: Einfluß der Samenfarbe auf die Samenqualität - Zusammenhang zwischen TKG und Ölgehalt (% TS; NIRS-Methode)

sen untersuchten Linien die Tendenz deutlich, daß das braunsamige Material die besten Eigenschaften auf sich vereint: reduzierter Schalenanteil bei guter Kornausbildung und erhöhte Summen RÖ+RP.

3.2 Tausendkorngewicht (TKG)

Anhand der Bestimmung des Schalenanteils an ausgewählten Linien aus dem Gelbsamigkeits-Zuchtprogramm (Tabelle 4) wird deutlich, daß die Kornausbildung und das TKG in einem Zusammenhang zur Samenfarbe steht und daher einen erheblichen Einfluß auf die Zusammensetzung der Hauptinhaltsstoffe hat. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen den Zusammenhang zwischen TKG und Ölgehalt ($r=0,48^{**}$) bzw. Proteingehalt ($r=-0,37^{**}$), es wird aber auch deutlich,

daß die gelbsamigen Inzuchtlinien tendenziell niedrigere TKG-Werte aufweisen.

RÖBBELEN (1978) berichtete von einer stark positiven Korrelation ($r=0,95$) zwischen Ölgehalt und Tausendkorngewicht (TKG), was dadurch erklärt ist, daß die jeweiligen Abreifebedingungen die Samenausbildung und die Öleinlagerung gleichermaßen beeinflussen; für den Proteingehalt ist die positive Korrelation zum TKG mit $r=0,18$ nur schwach ausgeprägt. Dagegen wirkt sich ein hoher Schalenanteil (bzw. Rohfaseranteil) erwartungsgemäß negativ auf den Ölgehalt ($r=-0,93$) bzw. Proteingehalt ($r=-0,70$) aus (RÖBBELEN, 1978).

Andere Untersuchungen zur Beziehung zwischen äußeren Samenmerkmalen wie TKG, Korngröße und spezifisches

Gewicht der Samen - und Rohprotein- und Ölgehalt sowie der Summe von beiden Hauptkomponenten (RÖ+RP) ergab jedoch keine Hinweise für die Eignung dieser Faktoren zur indirekten Selektion auf diese Qualitätsmerkmale (ARNHOLDT und MARQUARD, 1978).

3.3 Saatgutvitalität

Das Merkmal Gelbsamigkeit bedingt eine dünnere und transparente Samenschale (*transparent testa*), was einen erheblichen Einfluß auf die Saatgut-Beschaffenheit und Vitalität des Raps-samens haben kann. Dies zeigte sich unter anderem an unbefriedigenden Feldaufgängen, die regelmäßig in Zuchtgärten beobachtet werden. Für die verminderte Keimfähigkeit des Samens bzw. reduzierte Vitalität und Triebkraft des Keimlings bei gelbsamigem Raps können verschiedene Ursachen in Betracht gezogen werden: 1) verminderte Widerstandsfähigkeit des Samens aufgrund mechanischer Beschädigung (Quetschung des Keimlings, Frakturen und haarfeine Risse in der Samenschale, Bruch und Hitzeschäden) durch Mähdrusch oder während der Saatgutreinigung und -trocknung; 2) da insbesondere Druschverletzungen eine Eintrittspforte für Sekundärinfektionen durch Pilze, Viren und Bakterien darstellen, bzw. auch die pathogene Abwehrreaktion des pflanzlichen Gewebes (Phytoalexine, phenolische Verbindungen u.ä.) durch den veränderten Phenylpropanoid-Stoffwechsel betroffen sein kann, kommt es somit zu einer Schwächung der pathogenen Abwehrkraft des Samens; 3) Veränderung des Dormanzverhaltens, v.a. unter ungünstigen Ernte-, Nachreife-, Lager- und Keimbedingungen; 4) Im weiteren kann es zu einer Erhöhung der Sensibilität gegenüber chemischen Behandlungsmethoden - infolge der dünneren Samenschale und möglicher mechanischer Verletzungen - kommen, z.B. bei der Beizung und/oder Inkrustierung des Saatgutes mit Fungiziden und Insektiziden sowie der Bodenherbizid-Applikation bei der Aussaat.

3.3.1 Keimfähigkeit

Gegenstand der Keimprüfung ist es, die maximal mögliche Keimfähigkeit einer Saatgutpartie festzustellen, die dann zunächst zum Vergleich der Qualität ver-

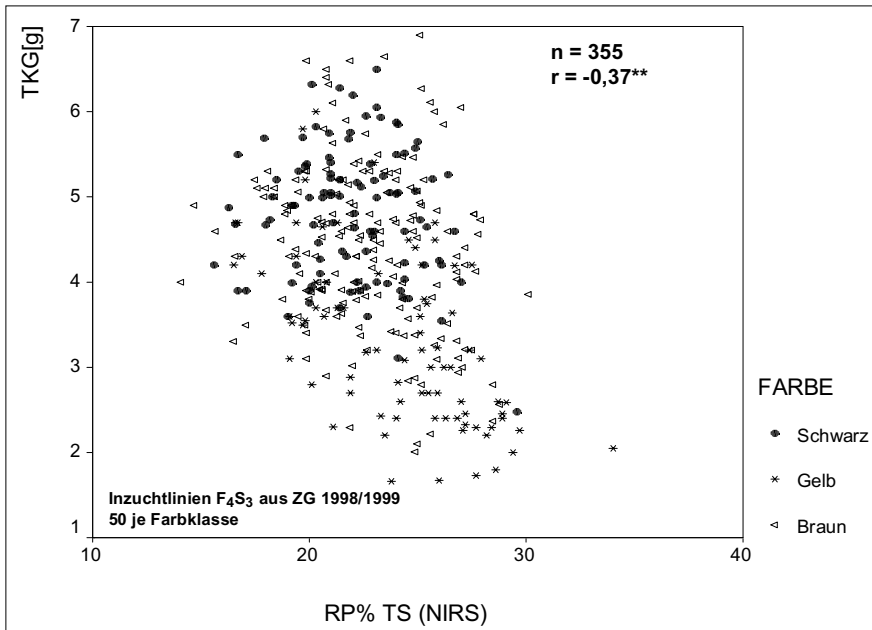


Abbildung 3: Einfluß der Samenfarbe auf die Samenqualität - Zusammenhang zwischen TKG und Rohproteingehalt (% TS; NIRS-Methode)

Tabelle 5: Einfluß der Samenfarbe auf die Saatgutqualität von DH-Linien bei Raps (Population YGI4) – am Beispiel der Keimfähigkeit

Samenfarbe	Anzahl Linien*	KF [%]	Keimgeschwindigkeit**	TKG [g]
Schwarz	9	99,2	5,2	5,0
Braun	10	98,0	4,9	4,3
Gelb	7	95,9	4,2	3,2

*) jeweils 8x50 Körner; **) Mittlere Keimzeit in Tagen (d), nach PIPER (1952)

schiedener Partien und somit zur Einschätzung des Anbauwertes herangezogen werden kann (ISTA, 1999). Aufgrund der besseren Wiederholbarkeit kommen für Keimfähigkeitsprüfungen hauptsächlich standardisierte Labormethoden unter kontrollierten Bedingungen zum Einsatz. Im Rahmen eines Vorversuches wurde zur Prüfung der Keimfähigkeit der vorliegenden DH-Linien der Keimtest unter optimalen Bedingungen mit Keimapparaten nach JACOBSEN (KF % nach 10 Tagen; 23°C-16h (Tag)/16°C-8h (Nacht)) durchgeführt. Als gekeimt wurden hierbei nur solche Keimlinge gezählt, welche in ihrer Entwicklung so weit waren, daß sich sowohl eine normale Keimwurzel als auch normale Keimblätter gebildet hatten. Erwartungsgemäß ergaben sich deutliche Unterschiede zwischen DH-Linien unterschiedlicher Samenfarbe. Aus diesen ersten Ergebnissen zeichnet sich ab, daß gelbsamige Linien schneller keimen, aber eine tendenziell geringe Keimfähigkeit aufweisen (vgl. Tabelle 5).

3.3.2 Triebkraft

Die "Triebkraft" ist - da dieser Begriff auf eine ganze Reihe unterschiedlicher Saatguteigenschaften Anwendung findet, wie z.B. Enzymaktivität, Lebensfähigkeit, Krankheitsbefall und Feldaufgang - nicht sehr einfach zu fassen. Nach Definition der ISTA wird die Triebkraft als Summe aller jener Saatguteigenschaften verstanden, die das Ausmaß an Aktivität und Leistungsfähigkeit eines Saatgutes oder einer Saatgutpartie während der Keimung und des Feldaufgangs ausmachen. Samen die gut auflaufen, werden als triebkräftig bezeichnet und solche, die nur kümmerlich aufgehen, als weniger triebkräftig (vgl. PERRY, 1987). Die Ursachen für Unterschiede in der Triebkraft sind verschieden und mannigfaltig: genetische Konstitution, Umweltbedingungen und Nährstoffversorgung der Saatgut-Mutterpflanze, Reifestadium zum Zeitpunkt der Ernte, äußere Sameneigenschaften (Größe, TKG, spezifisches Gewicht), mechanische Unversehrtheit, Verderb und Alterung sowie

Krankheitserreger. Desweiteren kann Keimruhe das wahre Triebkraftpotential einer Saatgutpartie im Laborversuch überdecken; dies gilt zumindest für den Fall, daß diese Keimruhe auch auf den Feldaufgang Auswirkung hat.

In dem von uns bearbeiteten Rapsmaterial wurde die Untersuchung der Triebkraft an DH-Linien unterschiedlicher Samenfarbe nach der 'HILTNERschen Ziegelgrus-Methode' durchgeführt, die u.a. schon bei Gelbsenf (*Sinapis alba*) erfolgreich eingesetzt wurde (HILTNER und IHSSSEN, 1911; STEINER, 1975). Geprüft wird hierbei die Fähigkeit des keimenden Samens, eine bestimmte Bodenschicht zu durchstoßen. In speziellen Kästen mit einer Grundfläche von 10x10cm wird steriler Ziegelgrus einer Korngröße von 2-3 mm gefüllt; 100 Körner der zu prüfenden Probe werden auf den zuvor angefeuchtete Substrat ausgelegt und mit einer Deckschicht von 3 cm Ziegelgrus bedeckt. Gleich von Anfang an wird soviel steriles Wasser zugesetzt wie für den Versuch notwendig ist; die Kästen bleiben 14 Tage abgedunkelt stehen, wobei nach 4, 5, 6 und 11 Tagen eine Auszählung der gekeimten Samen erfolgt. In Tabelle 6 sind die Ergebnisse des Triebkrafttestes aufgeführt. Im Mittel weist das gelbsamige Material eine gegenüber dunklen Samen reduzierte Triebkraft auf.

Letztlich ist jedoch der Feldaufgang - ausgedrückt in Prozent einer bestimmten Aussaatmenge - die Eigenschaft, auf die die Triebkraft ganz allgemein, einen entscheidenden Einfluß ausübt. Triebkraft wird dabei auch als der Toleranzpegel des Saatgutes gegenüber ungünstigen Bodenverhältnissen und Auflaufbedingungen verstanden, wonach z.B. eine Partie mit hoher Triebkraft einen höheren Prozentsatz an Keimlingen hervorbringt, als Saatgut mit geringerer Triebkraft. Unter extrem ungünstigen Bedingungen werden - unabhängig von der Triebkraft - nur einige wenige Keimlinge auflaufen, während umgekehrt unter günstigen Voraussetzungen der Feldaufgang eher den Keimfähigkeitswerten (z.B. im Labor) entsprechen wird und die Triebkraftprüfung somit keinen Informationszugewinn bringt. Dazwischen gibt es einen weiten Bereich, in dem die im Labor ermittelte Keimfähigkeit häufig

Tabelle 6: Einfluß der Samenfarbe auf die Saatgutqualität - "Triebkraft" - von DH-Linien bei Raps (Population YGI4)

Farbausprägung	Gelb					Braun					Schwarz				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Linie															
TK ¹ [%]	97,0	93,5	98,5	94,5	95,5	99,0	96,0	98,0	97,0	100	99,5	98,0	99,5	100	99,5
Mittel ²			95,8					98,0					99,3		

¹) Triebkraft der einzelnen getesteten Linien mit je 2x100 getesteten Samen; ²) Mittel aus 5 Linien

nicht mit dem Feldaufgang korreliert und bestimmte Partien besser auflaufen als andere mit ähnlicher Lebensfähigkeit. Obwohl die vorliegenden Ergebnisse einen deutlichen Zusammenhang der Triebkraft (Vitalität) der Samen mit der Ausprägung der Samenschale (Samenfarbe) erkennen lassen, bedarf es doch noch weiterer Untersuchungen, um die hier ermittelten Ergebnisse zu Keimfähigkeit- und Triebkraft mit dem Feldaufgang des Saatgutes der unterschiedlichen Linien in Beziehung zu bringen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

- Im Raps-Genpool existiert eine breite genetische Variation – und zwar sowohl für primäre Inhaltsstoffe (Hauptkomponenten), wie Öl und Protein – als auch für sekundäre Inhaltsstoffe, wie Glucosinolate, Sinapin, Vitamine, etc.
- In gewissen Grenzen ist eine Kombination erwünschter Inhaltsstoffe möglich – wie z.B. von hohem Ölgehalt bei gleichzeitig verbessertem Proteingehalt.
- Bei der Züchtung von gelbsamigen Rapsformen ist auf eine hinreichende Saatgutqualität zu achten; eine verbesserte Eiweißqualität und Verdaulichkeit des Rapsschrotes schließt jedoch eine gute Saatgutbeschaffenheit keineswegs aus.

Literatur

ANJOU, K., B. LÖNNERDAL, B. UPPSTRÖM and P. ÅMAN, 1977: Composition of seeds from some Brassica cultivars. Swedish J. agric. Res. 7, 169-178.

APPELQVIST, L.-Å., 1972: Chemical constituents of rapeseed. In: L.-Å. APPELQVIST and R. OHLSON (Eds.), Rapeseed - Cultivation, Composition, Processing and Utilization, pp. 123-173. Elsevier Publ. Comp., Amsterdam.

ARNHOLDT, B. und R. MARQUARD, 1978: Protein- und Fettgehalt sowie Aminosäure- und Fettsäuremuster verschiedener Raps-Inzuchtlinien unter Berücksichtigung von Korngröße und spezifischem Gewicht. Proc. 5th Intern. Rapeseed

Congress (GCIRC), 12-16 June 1978, Malmö, Sweden, Vol. 2, 31-34.

ARNHOLDT, B. und W. SCHUSTER, 1981: Durch Umwelt und Gentyt bedingte Variabilität des Rohprotein- und Rohfettgehaltes in Rapssamen. Fette Seifen Anstrichm. 83, 49-54.

BAETZEL, R., W. FRIEDT, A. VOSS and W. W. LÜHS, 1999a: Development of yellow-seeded high-erucic acid rapeseed (*Brassica napus* L.). Proc. 10th Intern. Rapeseed Congr., 26-29 Sept. 1999, Canberra, Australia, CD-ROM.

BAETZEL, R., W. FRIEDT and W. LÜHS, 1999b: Yellow-seeded high-erucic acid rapeseed (*Brassica napus* L.) as a source of improved industrial raw materials. Proc. 6th Symp. Renewable Resources & 4th Eur. Symp. Industrial Crops and Products, 23-25 March 1999, Bonn, Germany. Landwirtschaftsverl., Münster, pp. 407-412.

BALZ, M., E. SCHULTE und H.-P. THIER, 1992: Trennung von Tocopherolen und Tocotrienolen durch HPLC. Fat Sci. Technol. 94, 209-213.

BECHYNI, M., 1987: Breeding and some biological properties of yellow seeded winter rapeseed (*Brassica napus* L.). Proc. 7th Intern. Rapeseed Congress (GCIRC), Poznan, Poland, Vol. 2, 481-491.

BECKER, H.C., H. LÖPTIEN and G. RÖBBELEN, 1999: Breeding. In: C. GÓMEZ-CAMPO (Ed.), Biology of Brassica Coenospecies. Developments in Plant Genetics and Breeding, Vol. 4, pp. 413-460. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands.

BELL, J.M. 1995: Meal and by-product utilization in animal nutrition. In: D. KIMBER, and D.I. MCGREGOR (eds.), Brassica Oilseeds - Production and Utilization, pp. 301-337. CAB Intern., Wallingford, UK.

BELL, J.M., 1993: Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review. Can. J. Anim. Sci. 73, 679-697.

BELL, J.M. and A. SHIRES, 1982: Composition and digestibility by pigs of hull fractions from rapeseed cultivars with yellow and brown seed coats. Can. J. Anim. Sci. 62, 557-565.

BELL, J.M. and M.O. KEITH, 1991: A survey of variation in the chemical composition of commercial canola meal produced in Western Canadian crushing plants. Can. J. Animal Sci. 71, 469-480.

BENGTTSSON, L., 1985a: Improvement of rapeseed meal quality through breeding for high protein content. PhD Thesis, Swedish Agricultural University, Svalöv, Sweden.

BENGTTSSON, L., 1985b: Some experiences of using different analytical methods in screening for oil and protein content in rapeseed.

BIBI, N., A. SATTAR and M.A. CHAUDRY, 1991: Phenolic constituents in major fractions of tropical rapeseed. Nahrung 35, 1053-1059.

BIERMANN, U., W. FRIEDT, S. LANG, W. LÜHS, G. MACHMÜLLER, J.O. METZGER, M. RÜSCH gen. KLAAS, H.J. SCHÄFER und M.P. SCHNEIDER, 2000: Neue Synthesen mit Ölen und Fetten als nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie. Angew. Chemie 112 (13), 2292-2310.

BLAIR, R. and D.R. REICHERT, 1984: Carbohydrate and phenolic constituents in a comprehensive range of rapeseed and canola fractions: nutritional significance for animals. J. Sci. Food Agric. 35, 29-35.

BOUCHEREAU, A., J. HAMELIN, I. LAMOUR, M. RENARD and F. LARHER, 1991: Distribution of sinapine and related compounds in seeds of *Brassica* and allied genera. Phytochemistry 30: 1873-1881.

BOUCHEREAU, A., J. HAMELIN, M. RENARD and F. LARHER, 1992: Structural changes in sinapic acid conjugates during seedling development of rape. Plant Physiol. Biochem. 30, 467-475.

BOURDON, D. and A. AUMAÎTRE, 1990: Low-glucisinate rapeseeds and rapeseed meals: Effect of technological treatments on chemical composition, digestible energy content and feeding value for growing pigs. Animal Feed Sci. Technol. 30, 175-191.

CANVIN, D.T., 1965: The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oils from several oil seed crops. Can. J. Bot. 43, 63-69.

DAUN, J.K., 1995: Seed analysis. In: D. KIMBER, and D.I. MCGREGOR (eds.), Brassica Oilseeds - Production and Utilization, pp. 243-265. CAB Intern., Wallingford, UK.

DOWNEY, R.K. and J.M. BELL, 1990: New Developments in canola research, pp. 37-46. In: F. SHAHIDI (Ed.), Canola and Rapeseed. Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology, pp. 211-220. Van Nostrand Reinhold, New York.

ECKE, W., M. UZUNOVA and K. WEISSELER, 1995: Mapping the genome of rapeseed (*Brassica napus* L.). II. Localization of genes controlling erucic acid synthesis and seed oil content. Theor. Appl. Genet. 91, 972-977.

ERIKSSON, I., E. WESTERLUND and P. ÅMAN, 1994: Chemical composition in varieties of rapeseed and turnip rapeseed, including several samples of hull and dehulled seed. J. Sci. Food Agric. 66, 233-240.

FENWICK, G.R. and R.F. CURTIS, 1980: Rapeseed meal in rations for laying hens: a review of the effect in egg quality. J. Sci. Food Agric. 31, 515-525.

FENWICK, G.R., R.K. HEANEY and J. MULLIN, 1983: Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutrit. 18 (2), 123-201.

- FENWICK, G.R., L.C. CARALYN, A.W. PEARSON and E.J. BUTLER, 1984: The treatment of rapeseed meal and its effect on chemical composition and egg tainting potential. *J. Sci. Food Agric.* 35, 757-761.
- FINLAYSON, A.J., R.S. BHATTY and C.M. CHRIST, 1969: Species and varietal differences in the proteins of rapeseed. *Can. J. Bot.* 47, 679-685.
- FRIEDT, W. and W. LÜHS, 1998: Recent developments and perspectives of industrial rapeseed breeding. *Fett/Lipid* 100, 219-226.
- FRIEDT, W. and W. LÜHS, 1999a: Breeding of rapeseed (*Brassica napus*) for modified seed quality - synergy of conventional and modern approaches. Proc. 10th Intern. Rapeseed Congr., 26-29 Sept. 1999, Canberra, Australia, CD-ROM.
- FRIEDT, W. and W. LÜHS, 1999b: Perspektiven molekularer Pflanzenzüchtung - Züchterische Optimierung von Ölpflanzen. *Biologie in unserer Zeit* 29 (3), 142-150.
- GASSMANN, B., M. SCHULTZ, M. LEIST und R. BRIGELIUS-FLOHÉ, 1995: Vitamin-E-Stoffwechsel und -Bedarf. *Ernährungs-Umschau* 42 (3), 80-87.
- GRAMI, B. and B.R. STEFANSSON, 1977a: Gene action for protein and oil content in summer rape. *Can. J. Plant Sci.* 57, 625-631.
- GRAMI, B. and B.R. STEFANSSON, 1977b: Paternal and maternal effects on protein and oil content in summer rape. *Can. J. Plant Sci.* 57, 945-949.
- GRAMI, B., R.J. BAKER and B.R. STEFANSSON, 1977: Genetics of protein and oil content in summer rape. Heritability, number of effective factors and correlations. *Can. J. Plant Sci.* 57, 937-943.
- GRIFFITHS, D.W., A.N.E. BIRCH and J.R. HILLMAN, 1998: Antinutritional compounds in the *Brassicaceae*: Analysis, biosynthesis, chemistry and dietary effects. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 73, 1-18.
- GUNSTONE, F., 2000: Oilseed production expected to rise slightly. *INFORM* 11, 272-273.
- HOLTON, T.A. and E.C. CORNISH, 1995: Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis. *Plant Cell* 7, 1071-1083.
- HAMILTON, R.J., C. KALU, G.P. McNEILL, F.B. PADLEY and J.H. PIERCE, 1998: Effects of tocopherols, ascorbyl palmitate, and lecithin on autoxidation of fish oil. *JAACS* 75 (7), 813-822.
- HENDERSON, C.A.P. and K.P. PAULS, 1992: The use of haploidy to develop plants that express several recessive traits using light-seeded canola (*Brassica napus*) as an example. *Theor. Appl. Genet.* 83, 476-479.
- HENEEN, W.K. and K. BRISMAR, 2001: Maternal and embryonal control of seed colour by different *Brassica alboglabra* chromosomes. *Plant Breeding* (in press).
- HILTNER, L. and G. IHSEN, 1911: Über das schlechte Auflaufen und die Auswinterung des Getreides infolge Befalls des Saatgutes durch *Fusarium*. *Landw. Jahrb. Bayern*, 20-60, 315-362.
- ISTA, 1999: Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut. *Seed Sci. & Technol.* 27, Suppl., Intern. Vereinig. für Saatgutprüfung (ISTA), Zürich, Schweiz.
- JEROCH, H., W. KRACHT and S. DÄNICKE, 2001: Feeding value of rape products and its improvement for broilers and laying hens. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 103, 7-11.
- JÖNSSON, R. and L. BENGTSSON, 1970: Yellow-seeded rape and turnip rape. I: Influence of breeding for yellow seeds upon yield and quality properties. *Sveriges Utsädesf. Tidskrift* 80 (3), 149-155.
- KAMAL-ELDIN, A. and L.-Å. APPELQVIST, 1996: The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. *Lipids* 31, 671-701.
- KLASSEN, A.J., 1976: Relationship between quality and quantity of oil in *Brassica* species. *Can. J. Plant Sci.* 56, 427-428.
- KOROMA, A.K., 1977: Breeding for oil content and related characters in rape (*Brassica napus*). Diss. Landw. Fakultät Universität Göttingen, 80 S.
- KOZŁOWSKA, H., M. NACZK, F. SHAHIDI and R. ZADERNOWSKI, 1990: Phenolic acids and tannins in rapeseed and canola, pp. 193-210. In: F. SHAHIDI (Ed.), *Canola and Rapeseed. Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- KRÄLING, K., G. RÖBBELEN and W. THIES, 1991: Genetic variation of the content of sinapoyl esters in seeds of rape, *B. napus*. *Plant Breeding* 106, 254-257.
- KRYGIER, K., F. SOLSULSKI and L. HOGGE, 1982: Free, esterified and insoluble-bound phenolic acids. 2. Composition of phenolic acids in rapeseed flour and hulls. *J. Food Chem.* 30, 661-663.
- LECKBAND, G., M. FRAUEN and W. FRIEDT, 2000: NAPUS 2000 - Rapeseed (*Brassica napus*) breeding for improved human nutrition. In: *Functional Food - Challenges for the New Millennium*. Proc. 5th Karlsruhe Nutrition Congr., 22-24 October 2000, Karlsruhe, Germany.
- LÖÖF, B. and L.-Å. APPELQVIST, 1972: Plant breeding for improved yield and quality. In: L.-Å. APPELQVIST and R. OHLSON (Eds.), *Rapeseed - Cultivation, Composition, Processing and Utilization*, pp. 101-122. Elsevier Publ. Comp., Amsterdam.
- LÜHS, W. and W. FRIEDT, 1994: Major oil crops. In: D.J. MURPHY (ed.), *Designer Oil Crops*. VCH Verlagsges., Weinheim, pp. 5-71.
- LÜHS, W., R. BAETZEL and W. FRIEDT, 2000: Genetic analysis of seed colour in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Czech. J. Genet. Plant Breed.* 36, 111-115.
- MARQUARD, R., 1976: Der Einfluß von Sorte und Standort sowie einzelner definierter Klimafaktoren auf den Tocopherolgehalt im Rapsöl. *Fette Seifen Anstrichm.* 78, 341-346.
- MARQUARD, R., 1987: Qualitätsanalytik im Dienste der Ölpflanzenzüchtung. *Fat Sci. Technol.* 89, 95-99.
- MARQUARD, R., 1990: Untersuchungen über den Einfluß von Sorte und Standort auf den Tocopherol-Gehalt verschiedener Pflanzenöle. *Fat Sci. Technol.* 92, 452-455.
- MARQUARD, R., 1993: Zuchtziele bei Raps im Hinblick auf die Qualität von Rapsschrot. *Fat Sci. Technol.* 95, 557-561.
- MARQUARD, R. und W. SCHUSTER, 1981: Veränderungen von Sameninhaltsstoffen verschiedener Rapssorten unter kontrollierten Bedingungen. *Fette Seifen Anstrichm.* 83, 99-106.
- MATTHÄUS, B., 1998: Effect of dehulling on the composition of antinutritive compounds in various cultivars of rapeseed. *Fett/Lipid* 100, 295-301.
- McGREGOR, D.I., 1990: Application of near infrared to the analysis of oil, protein, chlorophyll, and glucosinolates in canola/rapeseed, pp. 221-231. In: F. SHAHIDI (Ed.), *Canola and Rapeseed. Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology*, pp. 211-220. Van Nostrand Reinhold, New York.
- MICHALSKI, K., P. OCHODSKI and B. CICA, 1992: Determination of fibre, sulfur amino acids and lysine in oilseed rape by NIT. In: MURRAY, I., and I.A. COWE (Eds.), *Making Light Work: Advances in Near Infrared Spectroscopy*, pp. 333-335. VCH Weinheim.
- MILKOWSKI, C., A. BAUMERT and D. STRACK, 2000: Cloning and heterologous expression of rape cDNA encoding UDP-glucose:sinapate glucosyltransferase. *Planta* 211, 883-886.
- MOSSÉ, J. and J. BAUDET, 1983: Crude protein content and amino acid composition of seeds: variability and correlations. *Qual. Plant. Plant Foods Hum. Nutr.* 32, 225-245.
- MUGGLI, R., 1993: Vitamin E-Bedarf bei Zufuhr von Polyenfettsäuren. *Fat Sci. Technol.* 94, 17-19.
- NACZK, M. and F. SHAHIDI, 1990: Carbohydrates of canola and rapeseed. In: F. SHAHIDI (Ed.), *Canola and Rapeseed. Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology*, pp. 211-220. Van Nostrand Reinhold, New York.
- NACZK, M., R. AMAROWICZ, A. SULLIVAN and F. SHAHIDI, 1998: Current research developments on polyphenolics of rapeseed/canola: a review. *Food Chemistry* 62, 489-502.
- OIL WORLD, 2000: The forecasting and information service for oilseeds, oils and meals. ISTA MIELKE GmbH, Hamburg, Germany (<http://www.oil-world.com/>).
- OLSSON, G., 1960: Some relations between number of seeds per pod, seed size and oil content and the effect of selection for these characters in *Brassica* and *Sinapis*. *Hereditas* 46, 29-70.
- PAYNE, P.I., 1983: Breeding for protein quantity and protein quality in seed crops. In: J. DAUSANT, J. MOSSÉ, and J. VAUGHAN (Eds.), *Seed Proteins*, pp. 223-253. Academic Press, New York.
- PERRY, D.A., 1987: *Handbuch der Methoden zur Prüfung der Triebkraft*, 2. Aufl. Intern. Vereinig. für Saatgutprüfung (ISTA), Zürich, Schweiz, 72 S.
- PONGRACZ, G., 1984: Gamma-Tocopherol als natürliches Antioxidans. *Fette Seifen Anstrichmittel* 86, 455-460.
- RIEMANN, K.-H. und H. KRÜGER, 1967: Untersuchungen über Möglichkeiten zur Frühselektion auf hohen Fettgehalt bei Winterraps. *Züchter* 37, 226-231.
- RIEMANN, K.-H., 1963: Untersuchungen zur Variabilität verschiedener Merkmale beim Raps und

- ihre Auswirkungen auf züchterische Maßnahmen. I. Mitt.: Erkenntnisse zur Variabilität und Vererbung des Ölgehaltes und ihre Anwendung in der Erhaltungszüchtung. *Züchter* 33, 217-226.
- RIEMANN, K.-H., 1964: Untersuchungen zur Variabilität verschiedener Merkmale beim Raps und ihre Auswirkungen auf züchterische Maßnahmen. II. Mitt.: Erkenntnisse zur Variabilität und korrelativen Bindung von Ertragsfaktoren und ihre Bedeutung für die Rapszüchtung. *Züchter* 34, 156-167.
- RÖBBELEN, G., 1978: Qualitätsbestimmende Eigenschaften bei der Verarbeitung von Rapssaat. *Fette Seifen Anstrichm.* 80, 99-103.
- RÖBBELEN, G., 1981: Potentials and restrictions of breeding for protein improvement in rapeseed. In: E.S. BUNTING (Ed.), *Production and Utilization of Protein in Oilseed Crops*, pp. 3-11. Martinus Nijhoff, The Hague, Netherlands.
- RÖBBELEN, G. und G. RAKOW, 1979: Eiweißsaat Raps: Züchterische Erfolge und Möglichkeiten. *Fette Seifen Anstrichm.* 81, 197-200.
- RÖBBELEN, G., W.J. SCHÖN und W. THIES, 1976: Ziele und Wege landwirtschaftlicher Pflanzenzüchtung zur Verbesserung des ernährungsphysiologischen Wertes pflanzlicher Nahrungs- und Genußmittel. *Ber. Ldw.* 54, 9-37.
- RÜCKER, B., 1990: Ergebnisse von Untersuchungen zur Vererbung der Hellsamigkeit bei Winterraps als Grundlage für entsprechende Selektionsentscheidungen. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 3, 115-118.
- RUTZ, H.W., 1999: *Sorten- und Saatgut-Recht*, 8. Aufl. Agrimedia, Bergen/Dumme, 356 S.
- SCHÖNE, F., 1993: Anforderungen der Tierernährung an die Rapszüchtung. *Fat Sci. Technol.* 95, 147-154.
- SCHUSTER, W., 1967: Über die Streuung des Fettgehaltes verschiedener Ölpflanzen I: Winterraps und Sonnenblumen. *Fette Seifen Anstrichm.* 69, 831-837.
- SCHUSTER, W., 1987: Die Entwicklung des Anbaues und der Züchtung von Ölpflanzen in Mitteleuropa. *Fett Wissenschaft Technol.* 89, 15-27 u. 47-60.
- SCHUSTER, W., B. BRETSCHNEIDER-HERRMANN und R. MARQUARD, 1980: Untersuchungen über den Einfluß von Temperatur, Tageslänge und Luftfeuchtigkeit auf die Qualität von Rapssamen. *Bodenkultur* 31, 373-391.
- SHAHIDI, F. and V.K.S. SHUKLA, 1996: Nontriacylglycerol constituents of fats, oils. *INFORM* 7, 1227-1232.
- SHIRZADEGAN, M., 1986: Inheritance of seed colour in *Brassica napus* L. *Z. Pflanzenzüchtg.* 96, 140-146.
- SHIRZADEGAN, M. and G. RÖBBELEN, 1985: Influence of seed color and hull proportion on quality properties of seeds in *Brassica napus* L.. *Fette-Seifen-Anstrichm.* 87, 235-237.
- SIMBAYA, J., B.A. SLOMINSKI, G. RAKOW, L.D. CAMPBELL, R.K. DOWNEY and J.M. BELL, 1995: Quality characteristics of yellow-seeded *Brassica* seed meals: Protein, carbohydrates, and dietary fiber components. *J. Agric. Food Chem.* 43 (8), 2062-2066.
- SLOMINSKI, B.A., 1997: Developments in the breeding of low fibre rapeseed/canola. *J. Anim. Feed Sci.* 6, 303-317.
- SLOMINSKI, B.A., L.D. CAMPBELL, and W. GUENTER, 1994: Carbohydrates and dietary fiber components of yellow- and brown-seeded canola. *J. Agric. Food Chem.* 42, 704-707.
- STEINER, A.M., 1975: Zur Keimlingsentwicklung sortierten Senfsaatgutes bei Wasser-Stress. *Landw. Forsch. Sonderheft* 31/II, 27-33.
- STEFANSSON, B.R., 1978: Selection for oil and protein in rapeseed. *Proc. 5th Intern. Rapeseed Congress (GCIRC)*, 12-16 June 1978, Malmö, Sweden, Vol. 1, 113-114.
- STRACK, D., B.E. ELLIS, W. GRAEWE and J. HEILEMANN, 1990: Sinapoylglucose: malate sinapoyltransferase activity in seeds and seedlings of rape. *Planta* 180, 217-219.
- STRINGAM, G.R., D.I. MCGREGOR and S.H. PAWLOWSKI, 1974: Chemical and morphological characteristics associated with seedcoat color in rapeseed. *Proc. 4th Intern. Rapeseed Congr.*, Giessen, Germany, 99-108.
- THEANDER, O., P. ÅMAN, G.E. MIKSCHKE and S. YASUDA, 1977: Carbohydrates, polyphenols, and lignin in seed hulls of different colors from turnip rapeseed. *J. Agric. Food Chem.* 25, 270-273.
- THIES, W., 1991: Determination of the phytic acid and sinapic acid esters in seeds of rapeseed and selection of genotypes with reduced concentrations of these compounds. *Fat. Sci. Technol.* 93, 49-52.
- THIES, W., 1994: Die wertbestimmenden Komponenten des Rapsschrotes. *Vortr. Pflanzenzüchtg.* 30, 89-97.
- TIMMERMANN, F., 1990: Tocopherole - Antioxidative Wirkung bei Fetten und Ölen. *Fat Sci. Technol.* 92, 201-206.
- TRAUTWEIN, E.A. und H.F. ERBERSDOBLER, 1998: Rapsöl – ein wertvolles Speiseöl. *UFOP-Schriften*, Heft 6, 68 S. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V., Bonn.
- UPPSTRÖM, B., 1995: Seed chemistry. In: D. KIMBER, and D.I. MCGREGOR (eds.), *Brassica Oilseeds - Production and Utilization*, pp. 217-242. CAB Intern., Wallingford, UK.
- VAN DEYNZE, A.E. and K.P. PAULS, 1994: The inheritance of seed colour and vernalisation-requirement in *Brassica napus* using doubled haploid populations. *Euphytica* 74, 77-83.
- VAN DEYNZE, A.E., W.D. BEVERSDORF and K.P. PAULS, 1993: Temperature effects on seed color in black- and yellow-seeded rapeseed. *Can. J. Plant Sci.* 73, 383-387.
- VAN DEYNZE, A.E., B.S. LANDRY and K.P. PAULS, 1995: The identification of restriction fragment length polymorphisms linked to seed colour genes in *Brassica napus*. *Genome* 38, 534-542.
- VELASCO, L. and C. MÖLLERS, 1998: Non-destructive assessment of sinapic acid esters in *Brassica* species: II. Evaluation of germplasm and identification of phenotypes with reduced levels. *Crop Science* 38, 1650-1654.
- VAN SOEST, P.J., 1964: *J. Animal Sci.* 23, 838-864.
- VAN SOEST, P.J., 1966: Nonnutritive residues: a system of analysis for the replacement of crude fiber. *J. Association of Official Analytical Chemists* 49, 546-551.
- VAN SOEST, P.J. and J.B. ROBERTSON, 1985: *Analysis of Forages and Fibrous Foods*. Cornell Univ. Publ., Ithaca, New York, 165 pp.
- VAN SOEST, P.J. and L.A. MOORE, 1965: New chemical methods for the analysis of forages for the purpose of predicting nutritive value. In: *Proc. 9th Intern. Grassland Congr.*, São Paulo, Brasil. Departamento da Produção Animal da Secretaria da Agricultura do Estrado de São Paulo, pp. 784-789.
- VAN SOEST, P.J. and R.H. WINE, 1967: Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell wall constituents. *J. Ass. Off. Anal. Chem.* 50, 50-55.
- VAN SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON and B.A. LEWIS, 1991: Methods for dietary fibre, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- VOHRA, P., 1989: Carbohydrates and fiber content of oilseeds and their nutritional importance. In: G. RÖBBELEN, R.K. DOWNEY, and A. ASHRI (Eds.), *Oil Crops of the World*, pp. 208-225. McGraw-Hill, New York.
- ZMP, 2000: *Marktbilanz Getreide – Ölsaaten – Futtermittel*. ZMP, Bonn, 248 S.

