

# Qualität und Erweiterung des Artenspektrums

Wolfgang Friedt

## 4.1 Einleitung

Neben Ertragshöhe und Ertragssicherheit, Krankheitsresistenz und Stresstoleranz ist die Produktqualität bzw. der Gehalt und die Zusammensetzung von spezifischen pflanzlichen Inhaltsstoffen einer der wesentlichen Merkmalskomplexe, auf die sich die züchterischen Anstrengungen konzentrieren. Die Voraussetzungen für Anbauwürdigkeit und Verwertbarkeit von Nutzpflanzen wurden in der Vergangenheit oft erst durch gezielte Qualitätszüchtung geschaffen. Als eindrucksvolle Beispiele hierfür sind die Veränderung des Alkaloidgehaltes von Lupinen oder die jüngste züchterische Modifikation des Fettsäuremusters und die Reduktion des Glucosinolatgehaltes bei Raps zu nennen. Die jeweilige spezifische „Qualität“ einer Pflanze bzw. eines pflanzlichen Produktes ist mithin von großer Bedeutung für ihren Anbauwert und ihre Verwertung in Form von Nahrungs- oder Futtermitteln bzw. für technische Zwecke. Dabei können die Qualitätsansprüche von Anbauern, Verarbeitern und Endverbrauchern durchaus recht unterschiedlich sein, wie etwa das Beispiel der „Backqualität“ von Weizen zeigt.

## 4.2 Ausprägung von Qualitätseigenschaften

### 4.2.1 Umweltfaktoren

Die spezifische Qualität einer Pflanze wird sowohl von ihren Erbanlagen, als auch von der Umwelt und damit von unterschiedlichsten Einflußfaktoren bestimmt (Abb. 4-1). In den meisten Fällen ist die Umweltvarianz stärker ausgeprägt als die genetische Varianz, d. h. daß die quantitative Ausprägung von Qualitätseigenschaften im allgemeinen starken Umwelteinflüssen unterliegt. Hierbei spielen sowohl biotische, als auch abiotische Faktoren eine Rolle; zu letzteren zählen alle klimatischen und vom Boden abhängigen Effekte. Beispielsweise führen niedrigere Temperaturen im allgemeinen zu höheren Gehalten an mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Speicherfett oder Öl (vgl. Abb. 4-2); das sind Linol- (C18:2) und Linolensäure (C18:3) im Raps-, Sonnenblumen oder Leinöl (Marquard, 1980). Als weiteres Beispiel umweltbedingter Variation sei die bekannte Wirkung der N-Düngung auf den Korn-Proteingehalt – etwa bei Getreide – angeführt.

Auch biotische Faktoren – wie etwa der Befall durch Krankheiten – können die Qualität beeinflussen. So wurde z. B. bei Weizen durch Krankheitsbefall eine Reduktion des Proteingehaltes beobachtet.

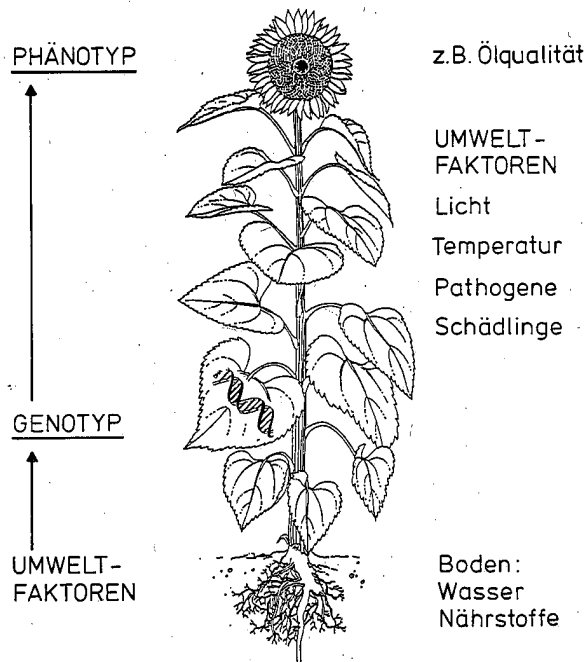


Abb. 4-1. Übersicht zur phänotypischen Ausprägung von Inhaltsstoffen (z. B. Ölqualität) als Ergebnis von Wechselwirkungen zwischen Genotyp und Umweltfaktoren.

haltes festgestellt (Bushuk, 1982). Bei Ölpflanzen werden aufgrund vorzeitiger Abreife im allgemeinen signifikante Veränderungen in Fettgehalt und Fettsäuremuster beobachtet (Krüger et al., 1980).

#### 4.2.2 Genotypische Faktoren

Für einige Qualitätseigenschaften wurde monogenische bzw. oligogenische Vererbung beschrieben, wie z. B. für den Gehalt an Linol- oder Ölsäure (C18:1) bei Sonnenblumen, den Linolensäuregehalt bei Lein, Erucasäure- und Glucosinolatgehalt bei Raps sowie den Lysingehalt im Kornspeicherprotein bei den Getreidearten (vgl. Hoffmann et al., 1985). In diesen Fällen ist eine erfolgreiche züchterische Veränderung der Qualität auch kurzfristig relativ einfach realisierbar.

Beschränkungen bei der Veränderung von Inhaltsstoffen ergeben sich dagegen insbesondere bei quantitativer, polygenischer Vererbung aus Kopplungen oder kausalen Verknüpfungen mit anderen Merkmalen; hier sind z. B. zu nennen: Proteinsteigerung auf Kosten des Fettgehaltes, Ertragseinbußen bei höherem Proteingehalt aufgrund größeren Anteils der Samenschale in Relation zum eiweißarmen Endosperm. Für die meisten Qualitätsmerkmale liegt polygenische Vererbung vor, wie z. B. für den Proteingehalt bei Leguminosen und Getreide, die Backqualität beim Weizen oder den Fettgehalt bei Ölpflanzen (Hoffmann et al., 1985).

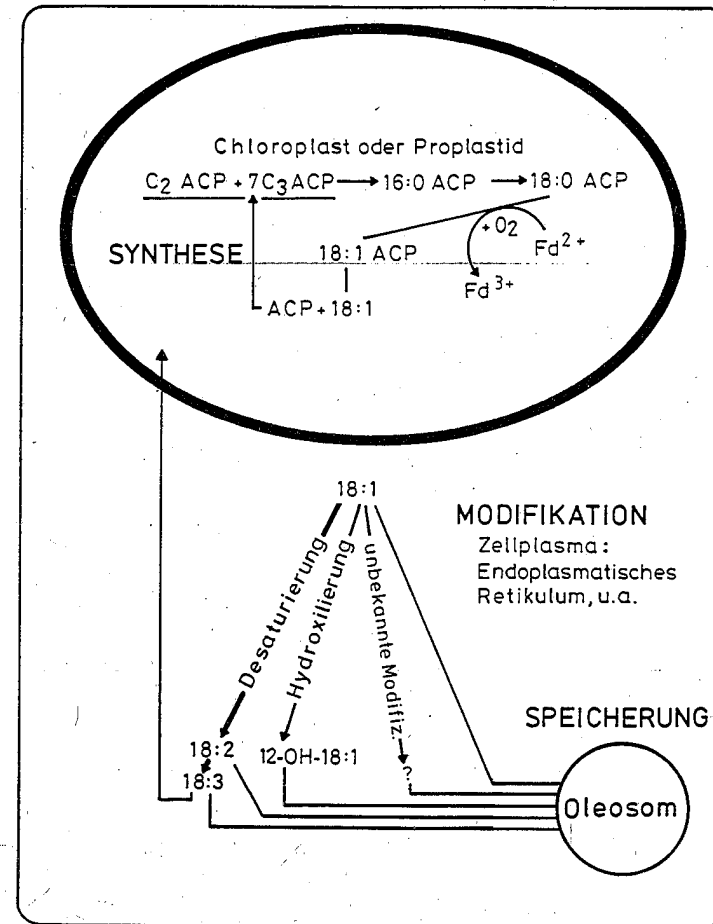


Abb. 4-2. Schematische Darstellung der wesentlichen Schritte der Fettsäure-Biosynthese in der Zelle bzw. in Zellkompartimenten; modifiziert nach Stumpf und Pollard (1983) und Röbbelen (1984).

#### 4.2.3 Genotyp-Umwelt Wechselwirkung

Wenn verschiedene Genotypen auf unterschiedliche Umweltbedingungen nicht gleichsinnig sondern voneinander abweichend reagieren spricht man von einer Genotyp-Umwelt Wechselwirkung. Solche Wechselwirkungen wurden für quantitative Merkmale oft beschrieben, z. B. für den Linolensäuregehalt bei Soja (Cramer, Beversdorf, 1984) oder für das Fettsäuremuster des Öles von Sonnenblumen (Schmidt et al., 1987) und Lein (Marquard, 1980). Diese Instabilität erschwert die Züchtung neuer Linien oder Sorten und macht umfangreiche, mehrortige und mehrjährige Prüfungen in verschiedenen Umwelten erforderlich.

Aufgrund vielfach sehr ausgeprägter Umwelteffekte und Genotyp-Umwelt Wechselwirkungen ist der Erblichkeitsgrad quantitativer Qualitätseigenschaften – ebenso wie bei anderen

quantitativen Merkmalen – häufig nicht sehr groß. Ein Maß für die Erbllichkeit („Heritabilität“) ist der Anteil der genotypischen Varianz ( $V_G$ ) an der Gesamtvarianz (phänotypische Varianz,  $V_p$ ); diese sogenannte „Heritabilität im weiteren Sinne“ läßt sich danach mit Hilfe der Formel

$$h_w^2 = V_G/V_p \text{ (bzw. } \sigma_w^2 = \sigma_G^2/\sigma_p^2) \quad (\text{Gl. 4-1})$$

ermitteln.

Die nach diesem einfachen Verfahren errechnete Größe der genotypischen Varianz beinhaltet unterschiedlichste genetische Effekte, die man formal als additive Genwirkung ( $V_A$ ), Dominanz (intraallelische Wechselwirkungen) und Epistasie (interallelische Wechselwirkungen) definiert und deren Größe mit geeigneten genetischen Experimenten geschätzt werden kann. Auf diese Weise kann dann die „Heritabilität im engeren Sinne“ als Anteil der additiv-genetischen Varianz ( $V_A$ ) an der Gesamtvarianz ermittelt werden:

$$h_e^2 = V_A/V_p \quad (\text{Gl. 4-2})$$

Dieses Verfahren erlaubt eine genauere Schätzung des Erbllichkeitsgrades eines Merkmales, da im allgemeinen der größte Teil der genotypischen Varianz auf additive Genwirkungen zurückzuführen ist; darüber hinaus können beispielsweise in Liniensorten bei Selbstbefruchtern (z. B. Weizen, Gerste, Erbse, Lein) praktisch nur additiv-genetische Effekte genutzt werden. Bei Fremdbefruchtern (z. B. Mais, Roggen, Sonnenblume) tragen allerdings die anderen Komponenten der genotypischen Varianz – insbesondere Dominanz – teilweise sehr wesentlich zur Merkmalsausprägung bei, so daß hier die Schätzung auch dieser Varianzkomponenten wichtige Grundlagen für Planung und praktische Durchführung der Züchtung schafft.

## 4.3 Züchtung auf Qualitätsmerkmale

### 4.3.1 Ziele und Züchtungsschritte

Das gemeinsame Ziel aller züchterischen Bemühungen ist die „Verbesserung“ der Nutzungseigenschaften unserer Kulturpflanzen, wobei die Qualitätseigenschaften, d. i. die spezifische Zusammensetzung der Erzeugnisse, eine wichtige Rolle spielen. Im Einzelfall können im Rahmen spezieller Züchtungsprogramme jeweils unterschiedliche „Zuchtziele“ angestrebt werden; jedem Züchtungsprojekt liegt also ein definiertes Zuchtziel – wie etwa „verbesserte Qualität“ – zugrunde. Die folgenden methodischen Schritte sind:

- Identifizierung und/oder Erstellung einer genetischen Ausgangs-Variation,
- Selektion (i. a. mehrstufig) auf das gewünschte Merkmal,
- Prüfung der selektierten Typen auf Stabilität und allgemeinen agronomischen Wert,
- Erhaltung und Vermehrung.

Der erste Schritt in einem Züchtungsprogramm ist demnach stets die Bereitstellung oder Schaffung genetischer Variation. Ist die genetische Variabilität in der bearbeiteten Pflanzenart

oder Population begrenzt, kann eine Erweiterung auf folgenden Wegen – je nach Pflanzenart und Zuchtziel – angestrebt werden: (1) mit intraspezifischer („konventioneller“) Kreuzungszüchtung – u. U. ergänzt durch „Haploiden-Technik“ –, (2) mit Hilfe interspezifischer bzw. intergenerischer Bastardierung, (3) durch experimentelle Mutagenese mit ionisierenden Strahlen oder Chemikalien, (4) aufgrund spontaner Mutation *in vitro* („somaklonale Variation“) sowie (5) mit Hilfe molekulargenetischer Techniken („Gentechnik“). Auf diese methodischen Möglichkeiten wird weiter unten im einzelnen eingegangen.

## 4.3.2 Selektion

### 4.3.2.1 Genetische Grundlagen und Selektionserfolg

Wenn für ein betrachtetes Qualitätskriterium eine hinreichende genetische Variation vorhanden ist, hängt das Erreichen des Zuchtzieles i. w. von der Fähigkeit des Züchters ab, die gesuchten Genotypen mit geeigneten, d. h. möglichst schnellen, hinreichend genauen und kostengünstigen Screening-Methoden zu identifizieren. Neben den technisch-methodischen Voraussetzungen sind vor allem folgende Faktoren für den Ausleseerfolg entscheidend: (1) die Heritabilität der jeweiligen Qualitätseigenschaft, (2) evtl. pleiotrope Effekte der betreffenden Gene bzw. enge Kopplungen mit anderen Qualitäts- oder Ertragsmerkmalen, (3) die Selektionsintensität und (4) die Dimensionierung des Züchtungsprogrammes.

Für eine effiziente Selektion ist eine möglichst umfassende Kenntnis der Vererbung des betreffenden Qualitätsmerkmals eine wichtige Voraussetzung. Die Wahl der Selektionsmethode hängt im wesentlichen davon ab, ob die Qualitätseigenschaft von dem Genotyp der Mutterpflanze, dem Genotyp des Embryos oder dem des Endosperms kontrolliert wird. Für „einfach“ – d. h. mono- oder oligogenisch – vererbte Qualitätsmerkmale bietet sich schon in jungen Generationen z. B. die einfache Massenselektion oder die Individualauslese an. Entsprechende Merkmale – wie z. B. hoher Lysingehalt bei Mais (*Zea mays*, Coe, Neuffer, 1977), niedriger Linolsäuregehalt bei Soja (*Glycine max*, Howell et al., 1972) oder reduzierter Erucasäuregehalt im Öl des Rapses (*Brassica napus*, Jönsson, 1977) – können durch mehrfache Rückkreuzung des Genotyps mit der gewünschten Eigenschaft (rekurrenter Elter) in adaptierte Sorten übertragen werden. Allerdings sind dabei wenigstens vier bis fünf Rückkreuzungszyklen erforderlich, um entsprechende „neue“ Gene in vorhandene Sorten einzulagern; die Prozedur kann sogar noch wesentlich langwieriger sein, wenn Pleiotropie (phänotypische Mehrfacheffekte einzelner Gene) oder enge Kopplung mit anderen, unerwünschten Merkmalen vorliegt.

Wenn die phänotypische Ausprägung des Merkmals weniger durch erbliche Effekte (Genotyp), sondern im wesentlichen durch Umwelteinflüsse und Genotyp x Umwelt Wechselwirkungen bestimmt wird oder größere Samenmengen zur Analyse benötigt werden, so ist die Anwendung der Familienselektion – von Halb- oder Vollgeschwisterfamilien – bei Fremdbefruchtern bzw. nahe verwandten Selbstbefruchter-Familien bezüglich quantitativ vererbter Eigenschaften empfehlenswert. Qualitätseigenschaften mit rein „quantitativem Erbgang“, d. h. daß eine größere Zahl von Genen an der Merkmalsausprägung beteiligt ist, lassen sich bei stark umweltbedingter phänotypischer Variation allerdings nur schwierig in vorhandene Sorten einlagern. Die dafür erforderlichen Zuchtmethoden sind weitaus aufwendiger wegen der Tatsache, daß hier stets Nachkommenschaftprüfungen – u. U. mehrjährig und mehrortig – hinsichtlich Qualität und Leistungsfähigkeit erforderlich sind.

#### 4.3.2.2 Screening-Methoden

Voraussetzung für eine effiziente Selektion sind einfache, schnelle, billige und hinreichend genaue Methoden zur Bestimmung der jeweils geforderten Qualität. Die routinemäßige Anwendung von effizienten Analysemethoden für die Vor- und Hauptauslese innerhalb eines Qualitätszuchtungsprogrammes ist keineswegs neu. Als klassische Beispiele können hier die Selektion alkaloidarmer Lupinen (*Lupinus* sp., v. Sengbusch, 1942) und erucasäure- bzw. glucosinolatärmer Rapsformen (*Brassica napus*) mit Hilfe von chromatographischen bzw. spektroskopischen Schnelltests angeführt werden (Thies, 1971; Rayner et al., 1975).

Andere biochemische Methoden wie etwa die Isoenzym-Elektrophorese finden mittlerweile in der Züchtung eine weitere Anwendung, z. B. für die frühe, schnelle und zugleich sichere Identifizierung von Genotypen (cf. Tanksley, Orton, 1983). Für die absehbare Zukunft darf erwartet werden, daß molekularbiologische Techniken ein breites Anwendungsfeld in der Züchtungsforschung und sogar in der angewandten Pflanzenzüchtung finden werden. An erster Stelle ist hier die RFLP-Technik zu nennen, mit deren Hilfe auch phänotypisch wenig oder nicht nachweisbar unterschiedliche Genotypen aufgrund nur kleiner Abweichungen in der Nukleotidsequenz der DNA bereits sicher identifiziert werden können (vgl. Abschn. 1.2). Kurzfristig erlaubt diese Technik eine schnelle Identifizierung einzelner, züchterisch „bearbeiteter“ Gene; langfristig weckt die RFLP-Technik besonders große Hoffnungen im Hinblick auf eine frühzeitige Identifizierung von Genkomplexen, die für quantitative vererbte Eigenschaften verantwortlich sind, sogenannte „Quantitative Trait Loci“ (QTL) (Stuber et al., 1987). Die besonderen Vorzüge von RFLPs als Marker gegenüber morphologischen und biochemischen Markern sind ihre entwicklungs- und umweltunabhängige, codominante Expression ohne pleiotrope Effekte (Beckmann, Soller, 1983; Soller, Beckmann, 1983).

### 4.3.3 Züchtungsmethoden

#### 4.3.3.1 Konventionelle Verfahrensweise

Je nach Befruchtungsbiologie der bearbeiteten Nutzpflanze (auto-, allogame oder vegetativ vermehrbare Art) und der phänotypischen Ausprägung des Genotyps kommen unterschiedliche Varianten der sogenannten „klassischen“ bzw. „konventionellen“ Züchtungsmethoden zur Anwendung. Mit der Wahl der Züchtungsmethode wird der Sortentyp praktisch festgelegt – oder umgekehrt: ein bestimmter angestrebter Sortentyp erfordert die entsprechende Züchtungsmethode.

Bei der *Auslesezüchtung* nutzt der Züchter eine bereits vorhandene genetische Variation. Erst die Kreuzungs- oder *Kombinationszüchtung* schafft durch sexuelle Hybridisierung und Nutzung der Rekombination neue genetische Variabilität als Ausgangsmaterial für die anschließende Selektion der Linien, d. h. der Sortenkandidaten bei selbstbefruchtenden Pflanzenarten. Dagegen wird in der *Hybridzüchtung* bzw. der Züchtung von *Synthetics* (synthetischen Sorten) der sogenannte „Heterosiseffekt“ als Mehrleistung der Kreuzung gegenüber den Eltern (i. a. mehr oder weniger ingezüchteten Linien) systematisch ausgenutzt.

In welchem Maße schon durch einfache, wiederholte Selektion die natürliche genetische Variabilität erschlossen werden kann, zeigt ein klassisches Selektionsexperiment in Illinois/

USA zur Veränderung des Protein- und Ölgehaltes bei Mais (*Zea mays*). Im Laufe einer über 70 Jahre (Zyklen bzw. Generationen) durchgeführten divergierenden Selektion in der Population ‚Burr’s White‘ konnte der Proteingehalt einerseits von 11% auf 27% gesteigert und andererseits in der entgegengesetzten Zuchtichtung auf 4% reduziert werden (Dudley, 1974), wobei den Änderungen des Eiweißgehaltes entsprechend auch bzgl. des Ölgehaltes erhebliche Veränderungen erzielt wurden. Wie in anderen Fällen zeigt auch dieses Beispiel, daß eine ausschließliche züchterische Bearbeitung der Eiweiß-Qualität häufig mit Ertragseinbußen verbunden ist. Immerhin konnten im vorliegenden Fall jedoch über Rückkreuzungen mit der „hohen“ Population Linien mit höherem Proteingehalt (23%) als über Rückkreuzungen mit Standardlinien (12%) erhalten werden. Ebenfalls mit Hilfe klassischer Züchtungsmethoden gelang es Knowles (1969, 1975), den Ölgehalt bei Saflor (*Carthamus tinctorius*) von 37% auf ca. 50% anzuheben. Schließlich wurden heutige öltreiche Sonnenblumensorten (*Helianthus annuus*) erst möglich, nachdem es russischen Züchtern durch rekurrente Selektion gelungen war, den Ölgehalt der Sonnenblume im Laufe von 5 Jahrzehnten züchterischer Bearbeitung von 30% auf ca. 50% zu steigern (Axtell, 1981).

Die Ölqualität wird i. w. von den Anteilen der einzelnen Fettsäuren in den Triglyzeriden bestimmt, wobei für eine technische Nutzung im allgemeinen maximale Anteile einer Fettsäure erwünscht sind. Beispielsweise ist ein hoher Erucasäure(C22:1)-Gehalt im Rapsöl zwar für technische Verwendungszwecke interessant, er ist aber in der Lebensmittelindustrie – z. B. für Speiseöl und Margarine – wegen der Toxizität der Erucasäure unerwünscht. Die Entdeckung einer spontanen Mutation für Erucasäurearmut in der deutschen Sommerrapsorte ‚Lihó‘ (Stefansson et al., 1961; Downey, 1964) war die Voraussetzung für die Züchtung erucasäurearmer Rapsorten (0-Sorten), die eine erhebliche Ausdehnung des Winterrapsanbaus in Europa erst ermöglichten. In Kreuzungsversuchen ergab sich, daß für die Erucasäurearmut zwei Gene mit additiver Wirkung verantwortlich sind, wobei der Erucasäuregehalt ausschließlich vom Genotyp des Embryos determiniert wird (Downey, Harvey, 1963; Harvey, Downey, 1964; Jönsson, 1977; Anand, Downey, 1981).

Anders verhält es sich dagegen nach Ergebnissen von *Pleines* mit dem Linolensäuregehalt beim Raps (vgl. Pleines, Friedt, 1988). Auch hier sind möglicherweise nur wenige Kerngene für den Anteil dieser Fettsäure am Gesamtfett verantwortlich (Diepenbrock, Wilson, 1987), aber es kommt eine ausgeprägte mütterliche Prädetermination hinzu (Abb. 4-3). Dadurch ist die Auslese – ähnlich wie bezüglich des Glucosinolatgehaltes – erschwert bzw. sie kann erst in den Nachkommenschaften von selektierten Einzelpflanzen sicher durchgeführt werden.

Der Glucosinolatgehalt im Rapschrot verhinderte bislang seine umfassendere Verwendung in Eiweißmischfutter. Die in der polnischen Sorte „Bronowski“ gefundene Glucosinolatarmut konnte mittlerweile ebenfalls in adaptierte Winterrapsorten (z. B. ‚Arabella‘, ‚Ceres‘ u. a.) eingelagert werden. Die Einlagerung mit Hilfe von Rückkreuzungsprogrammen gestaltet sich in diesem Falle relativ schwierig; dies ist einerseits bedingt durch die komplexe Vererbung der Glucosinolatarmut, an der wenigstens drei rezessiv wirkende Kerngene beteiligt sind, sowie andererseits durch die Tatsache, daß der Glucosinolatgehalt einer Pflanze dem Genotyp ihre Mutterpflanze entspricht (mütterliche Prädetermination) (Kondra, Stefansson, 1970). Voraussetzung sowohl für die Züchtung der 0-Sorten, als auch der 00-Sorten war die Entwicklung von einfachen und schnellen Methoden der Qualitätsanalyse für eine effiziente Selektion (Lein, 1970; Rayner et al., 1975). Wesentlichen Anteil an der schnellen Einlagerung der Erucasäurearmut hatte vor allem die Anwendung der sogenannten „Halbkorntechnik“, die es erlaubt, die Analyse der Fettsäurezusammensetzung an einem Keimblatt bzw. einem Halbsamen durchzuführen.

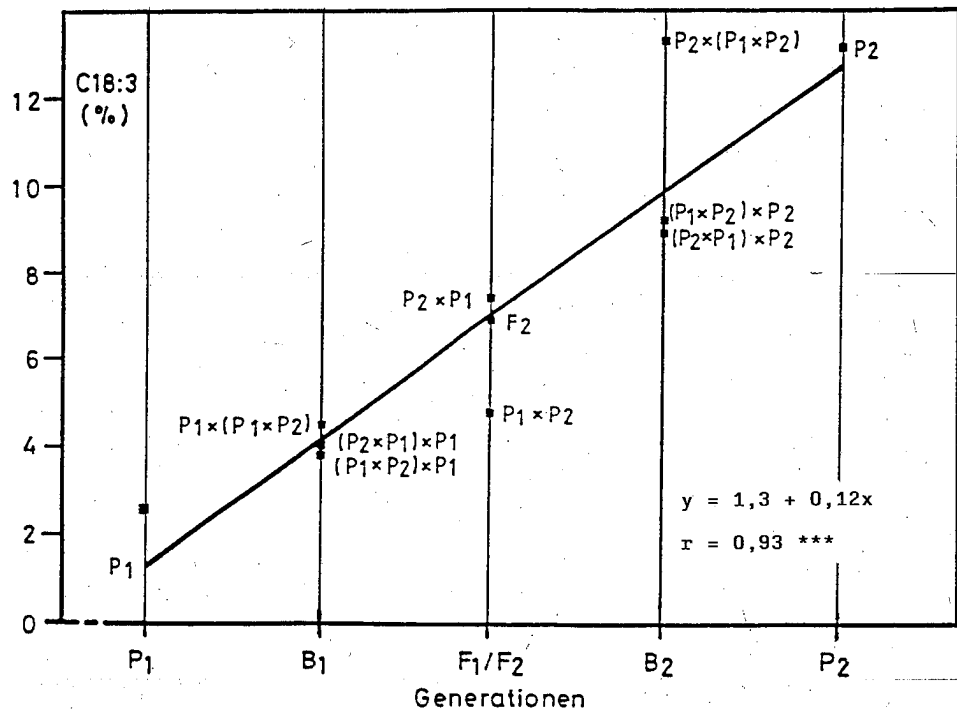


Abb. 4-3. Ergebnisse zur Vererbung des Gehaltes an Linolensäure (C18:3) in Rapssamenöl; P<sub>1</sub> und P<sub>2</sub> = C 18:3-armere bzw. reicher Elter (nach Pleines; vgl. Pleines, Friedt 1988).

Die andere Hälfte mit dem Embryo bzw. der Wurzelanlage kann dann i. a. ohne größere Schwierigkeit zu einer intakten Pflanze aufgezogen werden (Thies, 1971).

#### 4.3.3.2 Experimentelle Mutagenese („Mutationszüchtung“)

Wenn die natürliche Merkmalsvariation für eine effiziente Selektion nicht ausreichend ist, kann beispielsweise durch künstliche Mutationsauslösung versucht werden, Varianten (Mutanten) mit „neuen“ Qualitätseigenschaften zu induzieren, die als Ausgangsmaterial für Auslese- und Kreuzungszüchtung dienen können (IAEA, 1977). Für die Auslösung von Mutationen kommt sowohl die chemische als auch die strahleninduzierte Mutagenese infrage. Die Effektivität der chemischen Mutagene, z. B. alkylierende Verbindungen wie Ethylmethansulfonat (EMS), ist im allgemeinen größer und seltene Mutationsereignisse treten daher eher ein als nach Strahlenanwendung. Der Mutationsauslösung folgen Selektion, Charakterisierung und Prüfung der induzierten Mutanten (IAEA, 1984). Die Wahrscheinlichkeit, in der M<sub>2</sub>- oder M<sub>3</sub>-Generation eine gesuchte Mutante zu finden, nimmt mit der Anzahl der behandelten Pflanzen der Nachkommenschaft zu. Die Selektion der Mutanten setzt wegen der erforderlichen großen Populationen (d. h. Probenzahlen) einen geeigneten Schnelltest voraus (s. o.).

Bei der Suche nach Mutationen für quantitative Merkmale (mit Beteiligung zahlreicher Gene – wie z. B. Öl- oder Proteingehalt) muß bedacht werden, daß die Mutation in einem einzigen Gen-Locus häufig nur eine kleine Wirkung auf die Ausprägung des Merkmals (Phänotyp) hat,

oft ist die modifizierende Umweltwirkung wesentlich stärker. Die Selektion von Mutationen für quantitative Merkmale ist daher gar nicht oder nur bedingt an Einzelpflanzen möglich und muß in jedem Fall durch Prüfung der Nachkommenschaft (Familien oder Linien) verifiziert werden.

Dagegen können Mutationen monogen vererbter Merkmale z. B. hinsichtlich der Fettsäurezusammensetzung verschiedener Samenöle i. a. bereits an der Einzelpflanze identifiziert werden. Beispielsweise konnten nach Mutationsauslösung von Sonnenblumen (*Helianthus annuus* L.) der Populationssorte ‚Vniimk 8931‘ Mutanten mit drastisch verändertem Fettsäuremuster selektiert werden (Kharchenko, Soldatov, 1976). Der Linolensäureanteil im Samenöl (50–80%) war bei den Mutanten zugunsten des Ölsäuregehaltes (>75%) reduziert. Hinweise zur Vererbung des Ölsäuregehaltes finden sich in einem von Miller et al. (1987) durchgeführten Experiment. In dieser Untersuchung wurde eine Linie mit 85% Ölsäure (C18:1), die aus der Populationssorte ‚Pervenets‘ selektiert wurde, als Kreuzungspartner verwendet. Die Ergebnisse deuten auf die Anwesenheit eines (partiell) dominanten Gens für hohen Ölsäuregehalt (*OL*) und eines Modifikatorgens *MI* hin. Nur die Kombination von *OLmml* bewirkt danach die Bildung von hohen Ölsäuregehalten (>80%). Diese ‚Pervenets‘-Selektionen zeigen im Gegensatz zu den üblichen Hybrid-sorten eine sehr geringe Umweltsensitivität hinsichtlich der Fettsäurebiosynthese; offensichtlich liegt hier ein absoluter „genetischer Block“ der Ölsäure-Desaturase vor (vgl. Abb. 4-2). Auch unter kühleren klimatischen Bedingungen werden hohe Ölsäuregehalte realisiert; es handelt sich demnach um eine genetisch bedingte Blockade der Ölsäure-desaturase. Mittlerweile gelang es Fick (1984) und Urie (1985), aus ‚Pervenets‘ verbesserte Linien mit nahezu 90% Ölsäure im Fett zu selektieren. Nach Rückkreuzungen mit ertragreichen Typen können diese neuen „high-oleic“ Formen als „nachwachsender Rohstoff“ in der Oleochemie Verwendung finden.

Ebenfalls aus mutagen behandeltem Sonnenblumen-Material gelang es Schmidt et al. (1987), umweltstabile I-Linien mit Linolensäure(C18:2)-Gehalten von mehr als 80% auszulesen; die Ölsäuregehalte erreichten in einigen I-Linien Werte von 40% bei allerdings ausgeprägter Umweltinstabilität.

Auch beim Lein (Flachs, *Linum usitatissimum* L.) führte die Mutationszüchtung zu erweiternden Nutzungsmöglichkeiten. Leinsamenöl enthält normalerweise mehr als 50% Linolensäure (C18:3). Aufgrund des hohen Gehaltes dieser dreifach ungesättigten Fettsäure ist die Stabilität des Öles sowie die Haltbarkeit der Samen bzw. des Schrottes begrenzt. Für die Verwendung des Leinöls als Speiseöl bzw. der Samen in der Nähr- und Heilmittelindustrie wäre daher eine Reduzierung des Linolensäuregehaltes auf weniger als 5% wünschenswert. Nach Mutationsauslösung mit EMS erreichte Nichterlein (vgl. Nichterlein et al., 1988) eine Reduktion im Linolensäuregehalt von 55% auf 38% (Abb. 4-4). Durch Kombination verschiedener Mutanten mit so reduziertem C18:3 Gehalt wird das o. g. Ziel weitgehender Linolensäurefreiheit angestrebt (Friedt, 1988); Teilerfolge liegen hierzu schon vor. Weitere Ergebnisse zeigen, daß auch das entgegengesetzte Ziel – eine Maximierung des C18:3-Gehaltes über 60% hinaus – mit Hilfe einer gezielten Selektion in Mutationspopulationen und Rekombination durch Kreuzung durchaus möglich ist.

Auf entsprechende Weise gelang es bereits Green (1986a, 1986b) nach EMS-Behandlung der Sorte ‚Glenelg‘ (ca. 43% C18:3) durch Kombination verschiedener Mutationslinien Doppelmutanten mit einem Linolensäuregehalt von nur noch ca. 2% zu selektieren. Genetische Analysen ergaben, daß die Mutanten ‚M 1589‘ und ‚M 1722‘ jeweils ein mutiertes Allel homozygot enthalten. Jedes Allel *Ln1* oder *Ln2* trägt zur Synthese von ca. 10% Linolensäure bei, so daß z. B. die heterozygote F<sub>1</sub> (*Ln1ln1, Ln2ln2*) ca. 20% aufweist (Abb. 4-5).

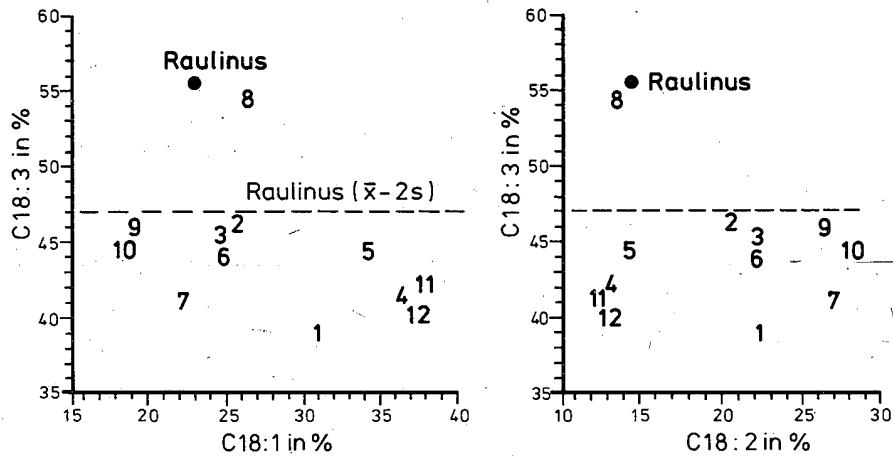


Abb. 4-4. Relative Anteile an Linolensäure (C18:3) im Vergleich zu den Anteilen an Ölsäure (C18:1) bzw. Linolsäure (C18:2) in  $M_2$ -Stämmen im Vergleich zur Ausgangsorte ‚Raulinus‘ (nach Nichterlein et al., 1988, verändert).

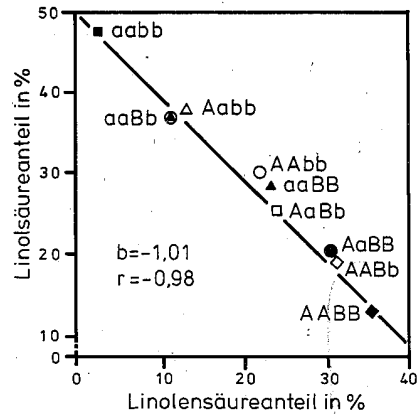


Abb. 4-5. Linol- bzw. Linolensäureanteile im Öl von Leingenotypen mit unterschiedlicher Anzahl wirksamer Allele A =  $Ln1$  und B =  $Ln2$  (aus Green, 1986b).

Ein weiteres Beispiel erfolgreicher „Mutationszüchtung“ ist die Selektion von Mutanten mit reduziertem Linolensäuregehalt (>4%) nach EMS-Behandlung der Sommerraps-Sorte ‚Oro‘ (Rakow, 1973; Röbbelen, Nitsch, 1975).

Auch bei Getreide wie Gerste, Weizen oder Reis wurden zahlreiche Fälle effektiver Mutagenese im Hinblick auf verbesserte Zusammensetzung der Samen-Vorratsproteine berichtet (IAEA, 1984). Intensive Selektion in den Mutationsgenerationen führte zur Isolation einer Vielzahl von Mutanten mit höherem Samenproteingehalt, häufig verbunden mit günstigerer

Samenertrag in g (Quadvolumen) = Korngewicht x Samen / Kapsel x Kapseln / Pflanze

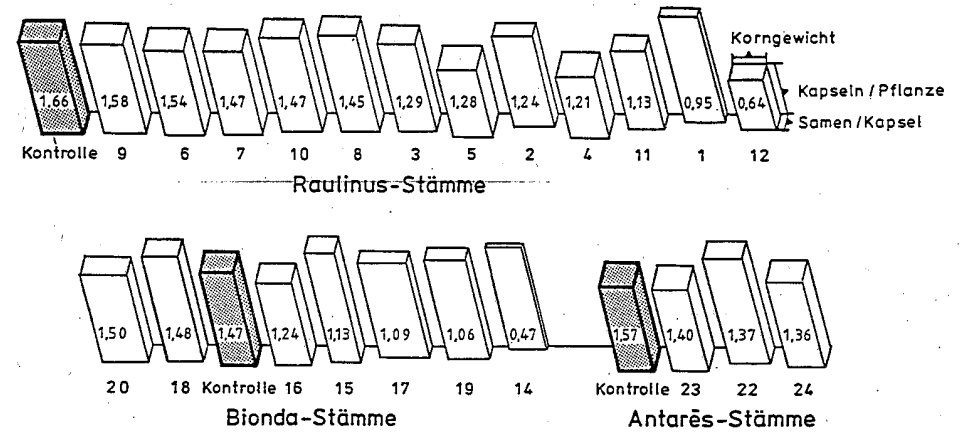


Abb. 4-6. Samenertrag und Ertragskomponenten von selektierten  $M_2$ -Stämmen nach EMS-Behandlung der Leinsorten ‚Raulinus‘, ‚Bionda‘ und ‚Antares‘ (aus Nichterlein et al., 1988).

Proteinqualität (z. B. höherer Lysingehalt). Allerdings zeigen Mutationsstämme im allgemeinen mehr oder weniger deutliche Ertragsdepressionen (Narahari, Bhatia, 1975; Walther, Seibold, 1978) im Vergleich zu den Eltern bzw. zu aktuellen Standardsorten (vgl. Abb. 4-6).

Eine neuere Variante der Mutagenese ist die Induktion „somaklonaler Variation“ durch Kultur von Gewebe oder Zellen *in vitro* (s. u.).

#### 4.3.3.3 Einsatz moderner „Biotechniken“

##### 4.3.3.3.1 Haploidiezüchtung

Verschiedene „Biotechniken“ stehen heute nicht nur der Züchtungsforschung sondern auch schon der angewandten Züchtung zur Verfügung (Abb. 4-7). Beispielsweise ermöglicht es die „Haploiden-Züchtung“, die zwischen  $F_1$ -Gameten ( $F_2$ -Generation) auftretende Aufspaltung durch Erzeugung haploider Nachkommen und anschließende Chromosomenverdopplung in doppelhaploiden, d. s. homozygot-diploide Linien, zu fixieren. Reinerbige Linien können so schon nach 2–3 und nicht erst nach wenigsten 6–7 Züchtungs-Generationen vorliegen; damit ist eine erhebliche Verkürzung des Zuchtangeses möglich (vgl. Friedt et al., 1986). Die Selektion zwischen Doppelhaploiden ist wesentlich einfacher und effizienter als zwischen Pflanzeln und Linien in jungen Generationen, da aufgrund der vollständigen Homozygotie keine „verdeckten“, unerwünschten Gene weitergeführt werden. Die Antheren- bzw. Mikrosporenkultur (Androgenese) ist die wichtigste aber nicht die einzige Methode zur Gewinnung Haploider; andere Verfahren bestehen darin, Haploide aus Zwillingsembryonen zu gewinnen (z. B. bei Lein, Kappert, 1953) oder nach interspezifischen Kreuzungen und Eliminierung der Wildart-Chromosomen mit Hilfe der Embryokultur zu regenerieren (z. B. „Bulbosum-Methode“ bei der Gerste, Kasha, Reinbergs, 1981). Nachfolgend sind einige Beispiele für die Anwendung der Haploidenzüchtung in bezug auf Qualitätseigenschaften angeführt.

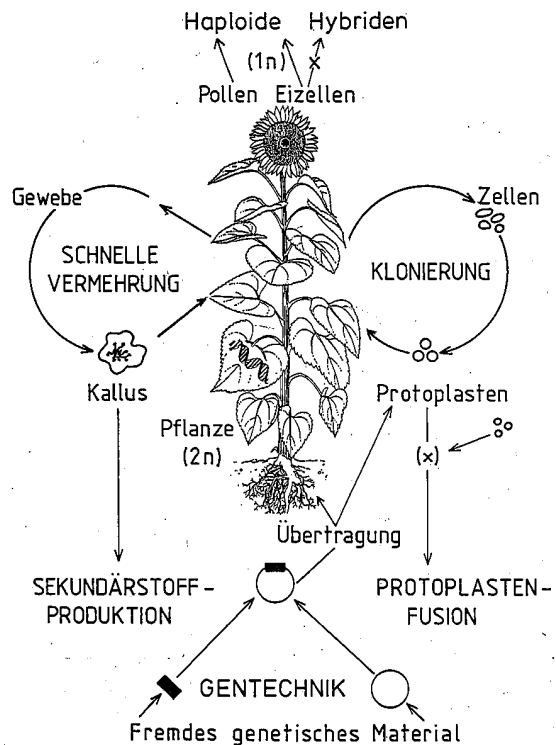


Abb. 4-7. Prinzipielle Anwendungsmöglichkeiten von Biotechniken und *genetic engineering* in der Pflanzenzüchtung (nach Wenzel, verändert).

Nach Colchizinbehandlung natürlich vorkommender Haploider in  $F_2$  der Kreuzungen einer homozygot diploiden Linie (HDL) bzw. einer japanischen Raps-Sorte mit dem Genotyp „RD49“ konnte Thompson (1984) Doppelhaploide mit höherem Ölertrag selektieren. Die doppelhaploiden Linien waren den heterogenen, heterozygoten Eltern bzw. den Vergleichssorten im Ölertrag überlegen. Die Experimente von Hoffmann et al. (1982) deuteten an, daß die bessere Entwicklung von androgenetischen haploiden Rapsembryonen bzw. daraus regenerierten Pflanzen mit Spätreife und hohem Glucosinolatgehalt gekoppelt war. Die doppelhaploiden Pflanzen blühten eine Woche später als die Antherenspenderpflanzen und die meisten der androgenetischen Pflanzen wiesen einen wesentlich höheren Glucosinolat-Gehalt auf; das Fettsäuremuster blieb dagegen weitgehend stabil. Diese Ergebnisse gelten jedoch nur für das untersuchte Material und können daher zweifellos nicht verallgemeinert werden.

Mit Hilfe der Antherenkultur von Braunem Senf (*Brassica juncea* L.) regenerierten George et al. (1987) Doppelhaploide, die nach mehreren Selektionszyklen im Fettsäuremuster und Fettgehalt variierten. Drei der Linien erreichten den Ölgehalt der Antherenspendersorte „TM-4“. Der Erucasäuregehalt einiger  $A_3$ -Linien übertraf den des Ausgangselters um bis zu 12%. Allerdings bleibt festzustellen, daß es bezüglich der Eigenschaft „*in vitro*-Kulturtauglichkeit“ erhebliche Unterschiede nicht allein zwischen Pflanzenarten sondern auch zwischen Geno-

typen einer Art gibt, letzteres gilt beispielsweise auch für an sich sehr gut gewegekulturtaugliche Arten wie den Raps (*Brassica napus*). Schließlich können alle Versuche, die für den Raps entwickelten und dort effizienten *in vitro*-Kulturmethoden auf andere Kreuziferen (*Brassicaceae*) zu übertragen bis heute als nur teilweise erfolgreich bewertet werden (vgl. Jain et al. 1988a, b; 1989).

#### 4.3.3.3.2 Somaklonale Variation

Mittlerweile liegen zahlreiche Berichte vor, die eine erweiterte Variation bezüglich unterschiedlichster Merkmale bei Regeneraten aus Kalluskulturen (vgl. Abb. 4-7) belegen. Selbst wenn unterstellt werden kann, daß die Variation in vielen Fällen wohl lediglich „epigenetischer“ Natur, also nicht erblich ist, so konnten doch auch Fälle erweiterter genotypischer Variation durch Nachkommenschaftsprüfungen nachgewiesen werden. Beispielsweise zeigten Jain et al. (1988c) beim Braunen Senf, daß die Samennachkommenschaften ( $R_2$ ) von Regeneraten ( $R_1$ ) aus Kotyledonen-Kallus teilweise deutlich veränderte Ertragsmerkmale und insbesondere auch eine vergrößerte Variation des Ölgehaltes (bis zu 48%) gegenüber der Ausgangssorte „Prakash“ (42%) aufwiesen. Die Ergebnisse weisen auf eine ausgeprägte genotypische Fixierung dieser „somaklonalen Variation“ hin und eröffnen damit gute Chancen einer züchterischen Nutzung.

#### 4.3.3.3.3 Interspezifische Kreuzungen

Die Züchtung mit Hilfe interspezifischer Kreuzungen ist dann angebracht, wenn Wildarten besondere Qualitätsmerkmale aufweisen, die bei den entsprechenden Kulturformen nicht vorkommen, oder z. B. wegen negativer Kopplungen o. a. züchterisch nicht einfach erschlossen werden können. Durch Inkompatibilitätsmechanismen bedingte Kreuzungsbarrieren zwischen Wild- und Kulturformen können in vielen Fällen mit Hilfe der Embryokultur oder durch *in vitro*-Befruchtung umgangen werden. Darüber hinaus können bei sexuell völlig inkompatiblen Arten eventuell auf dem Wege der „asexuellen Kreuzung“ durch Fusion von Protoplasten („nackten“ Zellen, vgl. Abb. 4-7) interspezifische Bastarde gewonnen werden; Voraussetzung hierfür ist selbstverständlich die bei vielen Arten (noch) nicht gegebene Regenerierbarkeit der Protoplasten zu intakten Pflanzen.

Beispielsweise weisen *Linum*-Wildarten eine wesentliche größere Variabilität in Fettsäuremuster und Fettgehalt auf als der Kulturlein. Die verschiedenen Arten unterscheiden sich jedoch vielfach durch stark differierende Chromosomenzahlen (Tab. 4-1), wodurch erfolgreiche sexuelle Kreuzungen erschwert oder unmöglich sind. In einem Kreuzungsversuch mit *Linum usitatissimum* und acht verschiedenen Wildarten erhielt Seetharam (1972) insgesamt zwölf interspezifische Hybriden, die sich allerdings als partiell steril erwiesen, so daß eine direkte züchterische Nutzung dieser Bastarde nicht möglich war. Dagegen konnte Nickel (vgl. Nichterlein et al., 1989) aus Kreuzungen von Kulturlein mit Wildarten, z. B. *L. angustifolium*, *L. bienne* und *L. africanum*, voll fertile Pflanzen regenerieren. Um die Bastardembryonen zu retten, wurden unreife Embryonen im Herzstadium präpariert und mit Hilfe der Embryokulturtechnik auf geeigneten Nährmedien zur Weiterentwicklung gebracht.

Auch bei den Wildformen der Kultursonnenblume findet man im Hinblick auf Fettsäuremuster und Fettgehalt eine größere Variation. Von erfolgreichen interspezifischen Kreuzungen der Sonnenblume mit *Helianthus*-Wildarten, teilweise mit Hilfe der Embryokultur, berichten Chandler und Beard (1983), Georgieva-Todorova (1984) und Bohorova et al. (1985) sowie Kräuter und Friedt (1988) (vgl. Tab. 4-2).

Tab. 4-1. Einige relevante Eigenschaften von *Linum* Spezies (nach div. Literaturangaben, Mittelwerte).

Spezies	Probenanzahl	Chromosomenzahl (n)	TKG in g	Ölgehalt in %	C18:1	Gehalt an Fettsäuren in %*	
						C18:2	C18:3
<i>L. austriacum</i>	2	3	1,4	27,2	21,5	24,2	48,1
<i>L. bienne</i>	7	30	1,4	29,7	17,3	13,9	58,9
<i>L. campanulatum</i>	3	28	0,7	33,1	24,2	53,1	16,2
<i>L. catharticum</i>	5	16	0,1	32,2	13,0	64,6	14,2
<i>L. flavum</i>	9	30	1,1	42,6	21,9	57,0	16,1
<i>L. suffruticosum</i>	3	?	0,8	33,0	9,6	79,3	5,0
<i>L. usitatissimum</i> (Kulturlein-Sorten)	-	30	ca. 8	ca. 45	ca. 20	ca. 15	ca. 55

\* C18:1 Ölsäure, C18:2 Linolsäure, C18:3 Linolensäure (Anteile am Gesamt-Fettgehalt); TKG 1000-Korngewicht.

Interspezifische Kreuzungen innerhalb der *Brassicaceae* (und *Solanaceae*) werden z. B. von Namai et al. (1980) sowie von Glimelius et al. (1986) beschrieben. Auf diesem Wege ist z. B. auch eine Steigerung des Gehaltes der Erucasäure (C22:1) als Grundstoff für die Oleochemie denkbar. Mit Hilfe entsprechender Kreuzungen von *Brassica*-Arten mit unterschiedlicher Ölzusammensetzung sollte es sogar möglich sein, Rapsöl mit annähernd jedem gewünschten Fettsäuregehalt zu erzeugen (vgl. Tab. 4-3).

Tab. 4-2. Übersicht zur Effizienz der Artbastardierung bei *Helianthus* mit Hilfe von Embryokultur („embryo rescue“).

Arbeitsschritte	Effizienz
Kreuzung (Anzahl Kombinationen: 46*)	
- ohne Erfolg	15 (33,0 %)
- erfolgreich	31 (67,0 %)
Embryokultur <i>in vitro</i> (Anzahl Kulturen: 384)	
- Globular-Stadium	9 (2,4%)
- junges Herzstadium	214 (55,7%)
- differenziertes Stadium	162 (41,9%)
regenerierte Pflanzen (Rate)	163 (42,0%)

\* Kreuzungen von *H. annuus* (n = 17) mit *H. angustifolius*, *H. argophyllus* (n = 17), *H. bolanderi* (n = 17), *H. debilis* (n = 17), *H. decapetalus* (n = 17,34), *H. laetiflorus*, *H. nuttallii* ssp. (n = 17), *H. originalis*, *H. strumosus* (n = 34,51) and *H. tuberosus* (n = 51) (aus Kräuter, Friedt, 1988).

Tab. 4-3. Realisierbare Variation der Fettsäurezusammensetzung im Samenöl des Rapses (*Brassica napus* L.).

Fettsäure	Sortentyp				
	++	0/00	000	E-Typ	Ö-Typ*
gesättigte Fettsäuren	4	10	10	10	10
Ölsäure (C18:1)	12	60	<50	Rest	>70
Linolsäure (C18:2)	14	20	>35	<20	<10
Linolensäure (C18:3)	8	10	<3	<1	<1
Erucasäure (C22:1)	>50	<1	0	>60	Rest

\* ++, traditionelle Rapsorten; 0/00, moderne Qualitäts-Sorten: erucasäurearm (0) bzw. erucasäure- und glucosinolatarm (00); 000, zusätzlich linolensäurearm; E-Typ, erucasäurereicher Sortentyp; Ö-Typ, ölsäurereicher Sortentyp.

#### 4.3.3.4 Molekulargenetische Techniken

Mit Hilfe molekulargenetischer Techniken (z. B. Gentechnik, „genetic engineering“, vgl. Abb. 4-7) ist es heute grundsätzlich auch bei Pflanzen möglich, gezielte Veränderungen an der Erbsubstanz (DNA) durchzuführen. Der Begriff „Gentechnik“ beinhaltet die Identifizierung und Isolierung von Genen als physikalische Einheiten (DNA-Abschnitte), ihre Vervielfältigung („Klonierung“) und Übertragung in den Zielorganismus bzw. eine Zelle davon (Abb. 4-8). Das genetische Experiment wird jedoch erst durch die funktionsfähige Integration des Fremdgenes in das Wirtsgenom und seine Stabilität über folgende sexuelle Phasen erfolgreich abgeschlossen. Letzteres ist bisher nur bei wenigen Pflanzen mit wenigen Modell-Genen (z. B. Kanamycin-Resistenz) gelungen. Aber noch andere Hemmnisse stehen einer praktischen Anwendung der Gentechnik heute noch bei vielen wichtigen Nutzpflanzen entgegen: bei manchen – wie etwa den meisten Getreidearten – fehlt es noch an geeigneten Übertragungssystemen (Vektoren), oder aber aus den gentechnisch veränderten (transformierten) Geweben oder Zellen gelingt es bisher häufig (noch) nicht, intakte Pflanzen zu regenerieren; unter den „großen“ landwirtschaftlichen Nutzpflanzen wurden erfolgreiche Transformationsexperimente lediglich für Kartoffel, Soja, Reis und Mais berichtet; Raps und Tomate als „kleinere“ Pflanzen wurden dagegen schon mit vergleichsweise großem Erfolg bearbeitet (Steinbiss, pers. Mitt., vgl. Kap. 1.2).

Mit gentechnischen Methoden erhofft man sich eine gezieltere und schnellere, d. h. letztlich noch effizientere Veränderung agronomisch wichtiger Eigenschaften als das mit den beschriebenen, bewährten Züchtungsmethoden bisher möglich war. Hinsichtlich der gentechnisch veränderten Eigenschaften haben sich die Experimente bisher neben der erwähnten Antibiotika-Resistenz vor allem auf Herbizid-Resistenzen konzentriert (vgl. Steinbiss, 1988). Allerdings war die Züchtung von Sorten, die gegen den Photosyntheseapparat angreifende Herbizide resistent sind, vor allem wegen der Lokalisation der Resistenz im Chloroplasten bisher kaum erfolgreich, wie Schreier et al. (s. Kap. 1.2) betonen.

Hinsichtlich anderer, züchterisch relevanterer Eigenschaften verhindern bisher andere Ursachen – insbesondere die mangelnde Verfügbarkeit entsprechender physikalischer Gene (DNA-



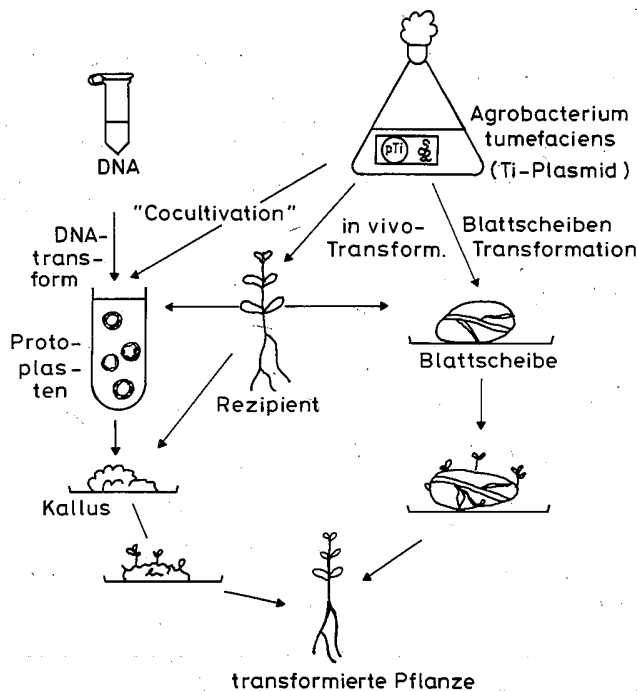


Abb. 4-8. Verschiedene experimentelle Systeme zur Transformation von Pflanzen („Gentechnik“) mit Hilfe von *Agrobacterium tumefaciens* als Vektor (nach Schilperoort, 1986).

Sequenzen) – eine breite, praktische Anwendung der Gentechnik in der Pflanzenzüchtung. Dies gilt vor allem auch für die beiden wesentlichsten Zuchtzielkomplexe neben dem Ertrag, der Krankheitsresistenz und der Produktqualität. Aufgrund intensiver Forschungstätigkeit sind hier jedoch mittlerweile schon Ansätze für zukünftige, raschere Fortschritte vorhanden. So gelang es beispielsweise Murai et al. (1983), Gene für Phaseolin, des Vorratsproteins der Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris*), mit Hilfe von tumorinduzierenden Plasmiden des Bodenbakteriums *Agrobacterium tumefaciens* in das Genom der Sonnenblume zu inserieren. Auf ähnliche Weise waren Matzke et al. (1984) in der Übertragung eines Gens für Zein, des Haupt-Vorratsproteins von Mais, in das Genom der Sonnenblume erfolgreich. So spektakulär diese Genübertragung zwischen verschiedenen Gattungen – d. h. über große genetische Distanz – auch ist, es bleibt abzuwarten, ob eine sexuell stabile Integration und Funktion so fremdartiger Gene in einem anderen Milieu möglich ist. Diesbezüglich sind die Aussichten zweifellos wesentlich günstiger, wenn Gene zwischen Genotypen einer Art oder wenigstens Vertretern einer Gattung transfertiert werden. In diesem Sinne erfolversprechender sind daher Experimente wie etwa das von Rosahl et al. (1986). Hier gelang die Isolation und Charakterisierung eines Gens für Patatin, des Hauptspeicherproteins der Kartoffel (*Solanum tuberosum*), das in veränderter Form wieder in das Genom der Kartoffelpflanze eingebaut wurde. Auf diese oder ähnliche Weise sollten in nähere Zukunft wesentliche Veränderungen an Genen für Qualitätsmerkmale in den verschiedensten Nutzpflanzen möglich sein, vorausgesetzt, daß die o. g. technischen Voraussetzungen geschaffen werden. So wäre auch an eine gezielte Manipulation von Reaktionsschritten in der

Fettsäurebiosynthese zu denken. Hier spielen Enzyme, wie Elongasen, Hydroxylasen oder Desaturasen eine direkte Rolle (vgl. Abb. 4-2). Wenn es gelingt, diese Enzyme zu isolieren und ihren genetischen Code zu identifizieren, dann wird gentechnisches Instrumentarium auch für eine gezielte Veränderung der Öl- und Fettqualität anwendbar. Mit Hilfe der Gentechnik könnten so neue Ölpflanzensorten z. B. mit deutlich erhöhtem bzw. drastisch reduziertem Anteil einzelner C18-Fettsäuren o. a. wesentlich schneller, einfacher und damit effizienter geschaffen werden, als mit herkömmlichen Methoden.

## 4.4 Schlußfolgerungen

Anhand verschiedener Beispiele von unterschiedlichsten Pflanzarten wird gezeigt, daß bereits in der Vergangenheit mit „klassischen“ oder „konventionellen“ Züchtungsmethoden gezielte züchterische Verbesserungen – z. B. des Fettgehaltes oder positive Veränderungen der Fettsäurezusammensetzung von Ölpflanzen bzw. der Proteinqualität von Getreide – realisierbar waren. Die außerordentlich erfolgreichen züchterischen Aktivitäten mit dem Ziel einer optimierten, d. h. dem jeweiligen Verwendungszweck besser entsprechenden Inhaltsstoffzusammensetzung zeugen von der Brauchbarkeit der bewährten Züchtungsmethoden, wie z. B. der Kombinationszüchtung bei Selbstbefruchtern, der Klonzüchtung bei vegetativ vermehrbaren Arten und der Züchtung von Hybriden oder „Synthetics“ bei Fremdbefruchtern. Dennoch ist unbestritten, daß diese eingeführten Methoden verbesserungswürdig aber auch verbesserungsfähig sind. Neue Techniken und Methoden – zusammengefaßt unter dem Begriff „Biotechnologie“ – können schon heute dazu beitragen, das angestrebte Zuchtziel – „verbesserte Qualität der Inhaltsstoffe“ – mit weniger Aufwand und schneller zu erreichen als bisher; dies setzt voraus, daß Biotechniken sinnvoll in bestehende Verfahren integriert werden. Die wesentlichste Voraussetzung für eine effizientere Qualitätszüchtung ist ein noch besseres Verständnis der molekularbiologischen Grundlagen der Bildung und Regulation von Qualitätseigenschaften. Mit Hilfe moderner molekularbiologischer Methoden kann möglicherweise eine schnellere „Anpassung“ gut adaptierter, d. h. leistungsstarker und stabiler Genotypen (Klone, Linien oder Sorten), an die Nachfrage nach veränderter Produktqualität realisierbar werden. Rasche Fortschritte in der molekularbiologischen Forschung lassen erwarten, daß die bewährte pflanzenzüchterische Methodik hierdurch außerordentlich nützliche Ergänzungen erfahren wird.

## 4.5 Literatur

- Anand, I. J., Downey, R. K., A study of erucic acid alleles in digenomic rapeseed (*Brassica juncea* L.), *Can. J. Plant Sci.* 61, 199–203 (1981).
- Axtell, J. D., Breeding for improved nutritional quality, in: Frey, K. J. (Hrsg.) *Plant Breeding II*. Iowa Univ. Press. 1981.
- Beckmann, J. S., Soller, M., Restriction fragment length polymorphisms in genetic improvement: methodologies, mapping and costs, *Theor. Appl. Genet.* 67, 35–43 (1983).
- Bohorova, N., Atanassov, A., Georgieva-Todorova, J., *In vitro* organogenesis, androgenesis and embryo culture, in the genus *Helianthus*, *Z. Pflanzenzüchtg.* 95, 35–44 (1985).

- Bushuk, W., Environment and grain quality components, in: Forbes, S. M. (ed.): *Grains and Oilseeds, Handling, Marketing, Processing*. Canadian International Grains Institute, Winnipeg, MB 1982.
- Chandler, J. M., Beard, B. H., Embryo culture of *Helianthus* hybrids, *Crop Sci.* **23**, 1004–1007 (1983).
- Coe, E. H., Neuffer, M. G., The genetics of corn. in: Sprague, G. F. (ed.): *Corn und Corn Improvement*. Agronomy Monograph 18, Am. Soc. Agron., Madison, Wisc., 111–223, 1977.
- Cramer, M. M., Beversdorf, W. D., Effect of genotype x environment interactions on selection for low linolenic acid soybeans, *Crop Sci.* **24**, 327–330 (1984).
- Diepenbrock, W., Wilson, R. F., Genetic regulation of linolenic acid concentration in rapeseed, *Crop Sci.* **27**, 75–77 (1987).
- Downey, R. K., Genetic control of fatty acid biosynthesis in rapeseed (*Brassica napus* L.), *J. Am. Oil Chem. Soc.* **41**, 475–478 (1964).
- Downey, R. K., Harvey, B. L., Methods of breeding for oil quality in rape, *Can. J. Plant Sci.* **43**, 271–275 (1963).
- Dudley, J. W. (Hrsg.): *Seventy generations of selection for oil and protein in maize*. Crop Sci. Am., Madison, Wisc. 1974.
- Fick, G. N., Inheritance of high oleic acid in the seed oil of sunflower. *Proc. Sunflower Res. Workshop*. Bismarck, ND., Natl. Sunfl. Assoc., Bismarck ND 1984.
- Friedt, W., Biotechnology in breeding of industrial oil crops – The present status and future prospects, *Fat Sci. Technol.* **90**, 51–55 (1988).
- Friedt, W., Breun, J., Züchner, S., Foroughi-Wehr, B., Comparative value of androgenetic doubled haploid and conventionally selected spring barley lines, *Plant Breeding* **97**, 56–63 (1986).
- George, L., Abraham, V., Suryavanshi, D. R., Sipahimalani, A. T., Srinivasan, V. T., Yield, oil content and fatty acid composition evaluated in androgenetic plants in *Brassica juncea*, *Plant Breeding* **98**, 72–74 1987.
- Georgieva-Todorova, J., Interspecific hybridization in the genus *Helianthus* L., *Z. Pflanzenzüchtg.* **93**, 265–279 (1984).
- Glimelius, K., Fahleson, J., Sjödin, C., Sundberg, E., Djupsjö-Jöbacka, M., Somatic hybridization and cybridization as potential methods for widening of the gene-pools of crops within *Brassicaceae* and *Solanaceae*, in: Horn, W., Jensen, C. J., Odenbach, W., Schieder, O. (Hrsg.) *Genetic Manipulation in Plant Breeding*, 663–682. Proc. Int. Symp. Eucarpia, 1985. W. de Gruyter, Berlin 1986.
- Green, A. G., A mutant genotype of flax (*Linum usitatissimum* L.) containing very low levels of linolenic acid in its seed oil, *Can. J. Plant Sci.* **66**, 939–940 (1986a).
- Green, A. G., Genetic control of polyunsaturated fatty acid biosynthesis in flax (*Linum usitatissimum* L.) seed oil, *Theor. Appl. Genet.* **72**, 654–661 (1986b).
- Harvey, B. L., Downey, R. K., The inheritance of erucic acid content in rapeseed (*Brassica napus* L.), *Can. J. Plant Sci.* **44**, 104–111 (1964).
- Hoffmann, W., Mudra, A., Plarre, W.: *Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen*, Bd. 2. Spezieller Teil. Verlag Paul Parey, Berlin 1985.
- Hoffmann, F., Thomas, E., Wenzel, G., Anther culture as a breeding tool in rape. II. Progeny analyses of androgenetic lines and induced mutants from haploid cultures, *Theor. Appl. Genet.* **61**, 225–232 (1982).
- Howell, R. W., Brim, C. A., Rinne, R. W., The plant geneticists's contribution toward changing lipid and amino acid composition of soybeans, *J. Am. Oil Chem. Soc.* **49**, 30–32 (1972).
- IAEA, *Manual on mutation breeding*. International Atomic Energy Agency, Vienna 1977.
- IAEA, *Selection in mutation breeding*. International Atomic Energy Agency, Vienna 1984.
- Jain, R. K., Chowdhury, J. B., Sharma, D. R., Friedt, W., Genotypic and media effects on plant regeneration from cotyledon explant cultures of some *Brassica* species, *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* **14**, 197–206 (1988a).
- Jain, R. K., Chowdhury, J. B., Friedt, W., Organogenesis and plant formation from cotyledon explant cultures of wild turnip rape (*Brassica tournefortii* L.), *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* **15**, 107–111 (1988b).
- Jain, R. K., Sharma, D. R., Chowdhury, J. B., High frequency regeneration and heritable somaclonal variation in *Brassica juncea*, *Euphytica* **40**, 75–83 (1988c).
- Jain, R. K., Brune, U., Friedt, W., Plant regeneration from *in vitro* cultures of cotyledon explants and anthers of *Sinapis alba* and its implications on breeding of crucifers, *Euphytica*, i. Druck 1989.
- Jönsson, R., Erucic-acid heredity in rapeseed (*Brassica napus* L. and *Brassica campestris* L.), *Hereditas* **86**, 159–170 (1977).
- Kappert, H., Erbliche Polyembryonie bei *Linum usitatissimum*, *Biol. Zentralblatt* **53**, 276–307 (1953).
- Kasha, K. J., Reinbergs, E., Recent developments in the production and utilisation of haploids in barley. Barley Genetics IV, *Proc. 4th Int. Barley Genet. Symp.*, Edinburgh, 655–665, 1981.
- Kharchenko, L., Soldatov, K. I., Accumulation of fatty acids in the lipids in the seeds of a mutant rich in oleic acid during ripening (russ.), *Fiziologiya i Biokhimiya Kulturnykh Rastenii* **8**, 508–513 (1976).
- Knowles, P. F., Modification of quantity and quality of safflower oil through plant breeding, *J. Am. Oil Chem. Soc.* **46**, 130–132 (1969).
- Knowles, P. F., Recent research on safflower, sunflower and cotton, *J. Am. Oil Chem. Soc.* **52**, 374–376 (1975).
- Kondra, Z. P., Stefansson, B. R., A maternal effect on the fatty acid composition of rapeseed oil (*Brassica napus* L.), *Can. J. Plant Sci.* **50**, 345–346 (1970).
- Kräuter, R., Friedt, W., Goals and results of interspecific hybridization in sunflower breeding. *Proc. 12th Int. Sunflower Conf.*, Novi Sad, Jugoslawien, 265–266, 1988.
- Krüger, W., Marquard, R., Schösser, E., Pflanzenkrankheiten-Produktqualität. II. Einfluß von Rapskrebs (*Sclerotinia sclerotiorum* (LIB.) DE BARY) auf die Qualität des Rapskornes, *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* **45**, 147–152 (1980).
- Lein, K. A., Quantitative Bestimmungsmethoden für Samenglucosinolate in *Brassica*-Arten und ihre Anwendung in der Züchtung von glucosinolatarmem Raps, *Z. Pflanzenzüchtg.* **63**, 137–154 (1970).
- Marquard, R., Der Einfluß von Standortfaktoren und spezifischen Klimakonstellationen auf Fettgehalt, Fettsäurezusammensetzung und Tocopherolgehalt von Raps, Sonnenblumen, Soja und Lein. *Habilitationschrift, Univ. Gießen* 1980.
- Matzke, M. A., Susani, M., Binns, A. N., Lewis, E. D., Rubinstein, J., Matzke, A. J. M., Transcription of a zein gene introduced into sunflower using a Ti plasmid vector, *EMBO Journal* **3**, 1525–1531 (1984).
- Miller, J. F., Zimmermann, D. C., Vick, B. A., Genetic control of high oleic acid content in sunflower oil, *Crop Sci.* **27**, 923–926 (1987).
- Murai, N., Sutton, D. W., Murray, M. G., Slightom, J. L., Merlo, D. J., Reichert, N. A., Sengupta-Gopalan, C., Stock, C. A., Barker, R. F., Kemp, J. D., Hall, T. C., Phaseolin gene from bean is expressed after transfer to sunflower via tumor-inducing plasmid vectors, *Science* **222**, 476–482 (1983).
- Namai, H., Sarashima, M., Hosoda, T., Interspecific and intergeneric hybridization breeding in Japan, in: Tsunoda, S., Hinata, K., Gomez-Campo, C. (Hrsg.) *Brassica Crops and Wild Allies – Biology and Breeding*. Japan. Sci. Soc. Press, Tokyo 1980.
- Narahari, P., Bhatia, C. R., Induced mutations for increasing protein content in wheat and rice. in: *Breeding for Seed Protein Improvement Using Nuclear Techniques* (Proc. Research Co-ord. Meeting Ibadan, 1973), IAEA, Vienna 1975.
- Nichterlein, K., Marquard, R., Friedt, W., Breeding for modified fatty acid composition by induced mutations in linseed (*Linum usitatissimum* L.), *Plant Breeding* **101**, 190–199 (1988).
- Nichterlein, K., Nickel, M., Umbach, H., Friedt, W., Recent progress and prospects of biotechnology in breeding of linseed (*Linum usitatissimum* L.), *Fat Sci. Technol.* **91**, 272–275 (1989).
- Pleines, S., Friedt, W. Breeding for improved C18-fatty acid composition in rapeseed (*Brassica napus* L.), *Fat Sci. Technol.* **90**, 167–171 (1988).
- Rakow, G., Selektion auf Linol- und Linolsäuregehalt in Rapsamen nach mutagener Behandlung, *Z. Pflanzenzüchtg.* **69**, 62–82 (1973).
- Rayner, C. J., Sang, J. P., Buzza, C. G., Screening rapeseed (*B. napus*) for low glucosinolate levels, *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* **15**, 561–565 (1975).
- Röbbelen, G., Biogenese und Verfügbarkeit pflanzlicher Fettrohstoffe, *Fette, Seifen, Anstrichmittel* **86**, 373–379 (1984).
- Röbbelen, G., Nitsch, A., Genetical and physiological investigations on mutants for polyenoic acids in rapeseed, *Brassica napus* L., *Z. Pflanzenzüchtg.* **75**, 93–105 (1975).
- Rosahl, S., Schmidt, R., Schell, J., Willmitzer, L., Isolation and characterization of gene from *Solanum tuberosum* encoding patatin, the major storage protein of potato tubers, *Mol. Gen. Genet.* **203**, 214–220 (1986).
- Schilperoort, R. A., Integration, expression and stable transmission through seeds of foreign genes in plants, in: Horn, W., Jensen, C. J., Odenbach, W., Schieder, O. (Hrsg.) *Genetic Manipulation in Plant Breeding*, 837–858. Proc. Int. Symp. Eucarpia, 1985. W. de Gruyter, Berlin 1986.

- Schmidt, L., Marquard, R. Friedt, W., Möglichkeiten der Züchtung von Sonnenblumen mit spezifischer Ölqualität für alternative Nutzungsrichtungen. *Bericht über die 38. Arbeitstagung der Saatzuchtleiter in Gumpenstein*, S. 205–214, 1987.
- Seetharam, A., Interspecific hybridization in *Linum*, *Euphytica* **21**, 489–495 (1972).
- Sengbusch, R. von, Süßlupinen und Öllupinen, *Landw. Jahrb.* **91**, 723–880 (1942).
- Soller, M., Beckmann, J., Genetic polymorphism in varietal identification and genetic improvement, *Theor. Appl. Genet.* **67**, 25–33 (1983).
- Stefansson, B. R., Hougen, F. W. Downey, R. K., Note on the isolation of rape plants with seed oil free from erucic acid, *Can. J. Plant Sci.* **41**, 218–219 (1961).
- Steinbiss, H.-H., Chancen für die Gentechnologie in der Landwirtschaft, in: Dohmen, K. (Hrsg.) *Gentechnologie – Die andere Schöpfung?* J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1988.
- Stuber, C., Edwards, M., Wendel, J., Molecular marker-facilitated investigations of quantitative trait loci in maize. II. Factors influencing yield and its component traits, *Crop. Sci.* **27**, 639–648 (1987).
- Stumpf, P. K., Pollard, M. R. Pathways of fatty acid biosynthesis in higher plants with particular reference to developing rapeseed, in: Kramer, J. K., F. D. Sauer and W. J. Pigden (Hrsg.): *High and Low Erucic Acid Rapeseed Oils*, 131–141, Academic Press Canada, Toronto 1983.
- Tanksley, S. D., Orton, T. J. (Hrsg.): *Isozymes in Plant Genetics and Breeding*. Elsevier, Amsterdam 1983.
- Thies, W., Schnelle und einfache Analysen der Fettsäurezusammensetzung in einzelnen Raps-Kotyledonen, *Z. Pflanzenzüchtg.* **65**, 181–202 (1971).
- Thompson, K. F., Higher oil yield of some homozygous diploid lines produced from naturally occurring haploids, *Aspects Appl. Biology* **6**, 49–58 (1984).
- Urie, A. L., Inheritance of high oleic acid in sunflower, *Crop Sci.* **25**, 986–989 (1985).
- Walther, H., Seibold, K.-H., Die Verwendbarkeit von induzierten Kleinmutanten im Vergleich zu Kreuzungsnachkommenschaften bei quantitativ vererbten Merkmalen der Sommergerste, *Z. Pflanzenzüchtg.* **80**, 230–240 (1978).