

# Biotechnologie in der Züchtung nachwachsender Rohstoffe

## Stand und Perspektiven dargestellt am Beispiel von Ölpflanzen

Von Wolfgang Friedt und Regina Kräuter

Die eindrucksvollen Ertragssteigerungen der zurückliegenden Jahrzehnte bei Getreide und anderen „klassischen“ landwirtschaftlichen Nutzpflanzen, wie etwa der Zuckerrübe, haben zu einer Überschubproduktion von Nahrungsmitteln geführt; etwa ein Sechstel der Weltgetreide-Produktion kommt dabei aus Europa (Tabelle 1).

Die Forderung nach einer Reduktion der Produktion bei den Überschuberzeugnissen wirft gleichzeitig die Frage nach Alternativen für die Landwirtschaft auf. Diesem Dilemma auf der Seite der herkömmlichen Pflanzenproduktion steht auf der Seite der industriellen Verwertung eine erhebliche und zunehmende Nachfrage nach Industriegrundstoffen pflanzlichen Ursprungs gegenüber. Hierbei ist für die verschiedensten Inhaltsstoffe eine technische Verwertung denkbar. Einige der wichtigsten Pflanzenarten für die Gewinnung von Stärke, Zucker, Ölen, Fetten oder Proteinen sind in Tabelle 2 aufgeführt. Gerade die große Gruppe der Ölpflanzen bietet hier vielfältige und unmittelbare Chancen einer industriellen Verwertung.

Hinsichtlich der Produktion von Ölpflanzen (s. Abb. 1) nimmt Europa, d. h. vor allem die Europäische Gemeinschaft, heute schon eine dominierende Stellung ein. Mehr als ein Viertel der Weltproduktion an Sonnenblumensamen und mehr als ein Drittel der Rapssaat werden in Europa erzeugt; eher unbedeutend ist dagegen der europäische Anteil an der Sojabohnen- und Lein- und Flachs-Weltproduktion (vgl. Tabelle 1). Trotz gewisser Einfuhrverpflichtungen der EG an Ölsaaten bestehen in diesem Bereich zweifellos noch Möglichkeiten der Produktionsausdehnung, allein schon für eine Speiseöl-Erzeugung. Um so mehr könnten hier noch neue Märkte erschlossen werden, wenn es gelänge, pflanzliche Öle in stärkerem Maße als bisher industriell zu verwerten.

Jede Ölpflanze ist durch ein spezifisches Fettsäuremuster charakterisiert; dementsprechend kommt für jede Pflanze eine spezifische industrielle Verwertung in Frage. Soja- und Sonnenblumen-Öl ist im allgemeinen durch einen besonders hohen Anteil an Linolsäure charakterisiert, Leinöl enthält dagegen Linolensäure als Hauptfettsäure (Tabelle 3).

Darüber hinaus zeigen zahlreiche Arbeiten, daß eine züchterische Manipulation der Fettsäuremuster durchaus möglich ist. Ein besonders eindrucksvolles Beispiel dafür ist

die Eliminierung der Erucasäure aus dem Rüböl (Raps-Öl), das damit für eine Verwertung in Speiseölen erst zugänglich wurde. Seit kurzem sind nun auch Raps- und Sonnenblumen-Sorten mit züchterisch ma-

nipuliertem, erhöhtem Ölsäureanteil (bis zu 80% im Fettsäuremuster) verfügbar. Verschiedene pflanzliche Öle stehen damit für unterschiedlichste industrielle Verwendungszwecke zur Verfügung. Die Forde-

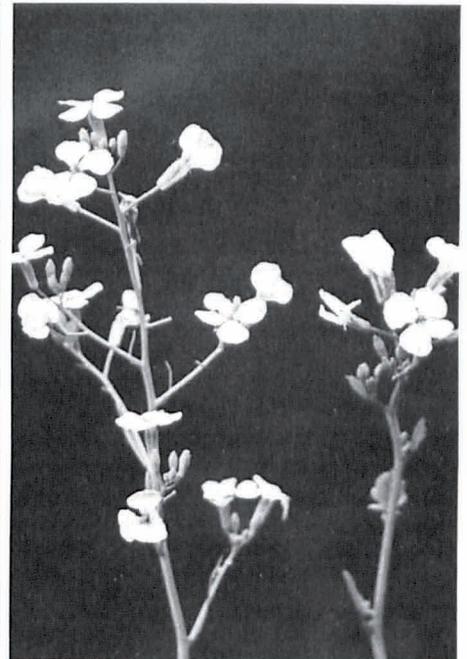


Abb. 1: Ölpflanzen im Bild: Raps (oben links), Ölrettich (oben rechts), Lein/Flachs (unten links), Sonnenblume (unten rechts).

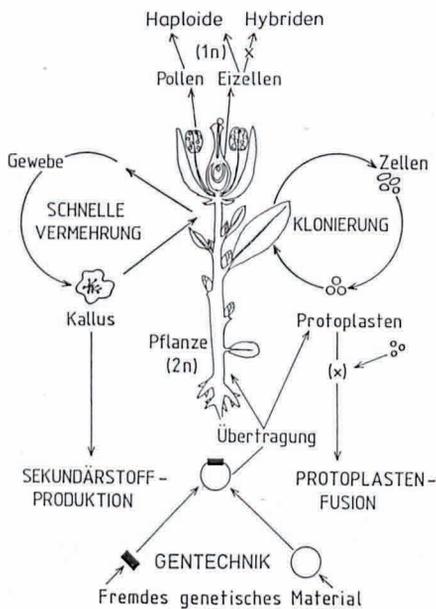


Abb. 2: Möglichkeiten der Züchtung mit Hilfe moderner „Biotechniken“ (Original Wenzel, erweitert).

Der Nachfrager der Industrie nach spezifischen, komplexen Naturstoffen ist daher in diesem Bereich bereits weitgehend erfüllt. Weitere Modifizierungen der Inhaltsstoffe, neuen Anforderungen entsprechend, sind züchterisch durchaus realisierbar.

Die industrielle Verwertung pflanzlicher Rohstoffe, wie etwa der Öle und Fette, ist jedoch nur eine Seite ihrer ökonomischen Attraktivität. Für die landwirtschaftlichen Erzeuger muß auch der Ertrag aus einer Feldfrucht zufriedenstellen, d. h. mit entsprechenden Erlösen aus den heute noch dominierenden Fruchtarten – wie Getreide oder Zuckerrübe – vergleichbar sein. Dies trifft für den Raps (*Brassica napus*) aufgrund verbesserter Erträge, aber auch wegen massiver Stützung in der EG, heute zu. Weitere Ertragssteigerungen sind hier zweifellos zu erwarten, so daß in absehbarer Zeit ein Ertrag von 50 dt/ha Rapssaat realisierbar sein dürfte (Tabelle 4). Auch bei anderen Kreuzifern (Kreuzblütler), wie etwa den Senfarten, können durch intensivere züchterische Bearbeitung Ertragsverbesserungen erwartet werden. Bei industrieller Nachfrage nach spezifischen Ölen, z. B. mit Erucasäure (C 22:1), kann hier durchaus ein Anreiz zum Anbau für die Landwirtschaft entstehen. Gleiches gilt für den Öllein (*Linum usitatissimum*) oder die Sonnenblume (*Helianthus annuus*), während dagegen die Sojabohne (*Glycine max*) noch eine längerfristige, intensive züchterische Bearbeitung braucht, ehe sie vielleicht für günstigere Standorte in Deutschland anbauwürdig werden kann (Tabelle 4). Für andere Pflanzenarten, wie etwa die Nachtkerze, *Oenothera biennis*, ist eine Anbauwürdigkeit im Bereich der Arzneipflanzen teilweise heute

Tabelle 1: Anbau und Erzeugung wichtiger Nutzpflanzen (Stand 1984)

		Welt	Europa (%)*	BRD
Rapssaat (Raps und Rübsen)	a)	13606	2717 (20,0)	254
	b)	16368	5802 (35,4)	662
Leinsaat	a)	4928	236 (4,8)	–
	b)	2574	130 (5,1)	–
Sonnenblumensamen	a)	13431	2915 (21,7)	–
	b)	15941	4385 (27,5)	–
Sojabohne	a)	52056	577 (1,1)	–
	b)	89893	946 (1,1)	–
Zum Vergleich: Getreide	a)	730011	69867 (9,6)	4993
	b)	1801684	306952 (17,0)	26064

\* In Prozent der Weltproduktion; a) 1000 ha, b) 1000 t

Tabelle 2: Nachwachsende Rohstoffe und ausgewählte Rohstoffpflanzen

Naturstoffe	Pflanzenarten
Polysaccharide	Getreide, Beta-Rüben, Kartoffel, Karotte, Zuckerhirse, Topinambur
Öle und Fette	Raps, Rübsen, Senf, Lein, Leindotter, Sonnenblume, Sojabohne, Nachtkerze ( <i>Oenothera</i> )
Proteine	Ackerbohne, Erbse, Lupine, Sojabohne u. a. „Ölpflanzen“

schon gegeben. Das Samenöl dieser Pflanze hat aufgrund des Gehaltes an  $\gamma$ -Linolensäure, einer Vorstufe der Prostaglandine, schon Anwendung in der Medizin und Kosmetik gefunden. Weitere züchterische Bearbeitung ist jedoch erforderlich, um diese interessante Pflanze einer breiteren Nutzung zugänglich zu machen.

Weitere züchterische Fortschritte können in Zukunft durch die Integration moderner molekularbiologischer Techniken in der Züchtungsforschung erwartet werden (vgl. Abb. 2). Heute schon stellen Gewebe- oder Einzel-Zellkulturen wesentliche, zusätzliche Hilfsmittel für die Züchtungsforschung dar. Gerade Einzelzell-Systeme können in Zukunft auch als Grundlage für die Anwendung von „Gentechniken“ in der Pflanzenzüchtung dienen. Etwa bei Raps und anderen *Brassica*-Arten sind dazu in jüngster Zeit schon wesentliche Fortschritte gemacht worden. Mit Hilfe der Meristemkultur werden schon seit geraumer Zeit routinemäßig Viruseliminierungen – z. B. bei Kartoffeln – durchgeführt; die virusfreien Pflanzen können dann durch sogenannte „schnelle Vermehrung“ *in vitro* vervielfältigt werden. Für die praktische Züchtung bedeutet die Anwendung dieser Technik eine Zeitersparnis von bis zu zwei Jahren. Die Kultur von Einzel-Zellsystemen, wie Mikrosporen (junge Pollenkörner) oder Protoplasten (Zellen ohne feste Wand), ist Voraussetzung für die Anwendung der

Tabelle 3: Fettsäuremuster von Sonnenblumen- und Lein-Öl

Fettsäure	Sonnenblumen-Öl (Anteile in %)	Lein-Öl (Anteile in %)
C 14:0 Myristinsäure	Spuren	–
C 16:0 Palmitinsäure	8	5
C 18:0 Stearinsäure	4	4
C 18:1 Ölsäure	28	22
C 18:2 Linolensäure	61	17
C 18:3 Linolensäure	Spuren	52
C 22:0 Arachinsäure	< 1	Spuren
C 22:0 Behensäure	< 1	–

„Gentechnik“ in der Pflanzenzüchtung. Vor allem beim Raps, aber auch beim Lein sind dazu in jüngster Zeit wesentliche Fortschritte gemacht worden. So ist es bei diesen beiden Arten, aber auch bei der Sonnenblume u. a. Spezies, heute möglich, mit Hilfe der Mikrosporen- oder Antheren (Staubbeutel)-Kultur haploide Pflanzen zu erzeugen, die lediglich den einfachen (gametischen) Chromosomensatz aufweisen. Durch Verdopplung der haploiden Chromosomenzahl mit Hilfe von Colchicin, einem Alkaloid aus der Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*), entstehen „doppelhaploide“, das sind homozygote (reinerbige) diploide Pflanzen. Homozygote Linien („Inzuchtlinien“) werden bei allogamen Pflanzen (Fremdbefruchter, z. B. Mais und Sonnenblume) für die Züchtung von „Hybriden“ gebraucht; das sind Kreuzungsprodukte zweier oder mehrerer Inzuchtlinien, die im allgemeinen deutliche Leistungssteigerungen („Heterosis“) erkennen lassen. Bei autogamen Pflanzen (Selbstbefruchter, z. B. Weizen, Gerste oder Lein) stellen reine Linien das Endprodukt der Züchtung nach mehrjähriger, zeitraubender Auslese dar. Daher können die Methoden zur Induktion haploider Pflanzen zu einer insgesamt deutlichen Verringerung des pflanzenzüchterischen Aufwandes beitragen. Eine andere interessante züchterische Alternative, gerade im Hinblick auf die Selektion krankheitsresistenter Pflanzen und die Ver-

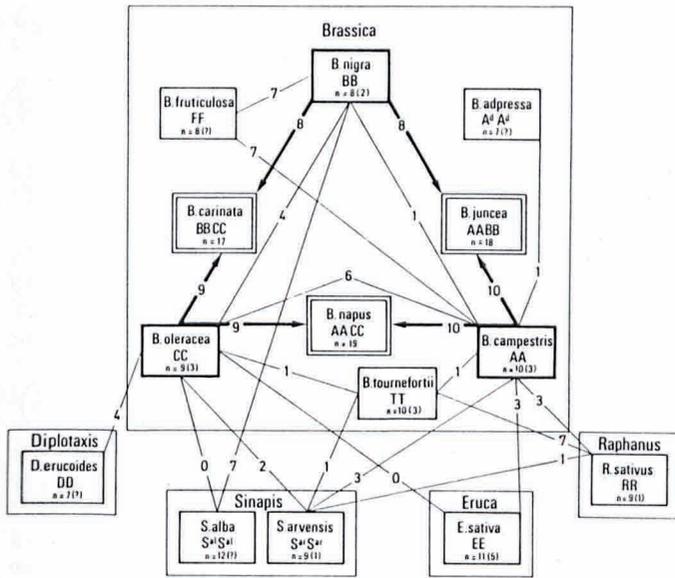


Abb. 3: Verwandtschaftsbeziehungen der Brassica-Arten und nahe-stehender Gattungen; nach Röbbelen, aus Fischbeck et al., 1985.

änderung der Fettsäurezusammensetzung von Ölpflanzen, stellt die „interspezifische oder intergenerische Bastardierung“ (Art- oder Gattungskreuzung) dar. Der Vorteil von Artkreuzungen besteht insbesondere darin, daß zunächst eine große genetische Variabilität erzeugt wird, die als Grundlage für die Auslese auf züchterisch angestrebte agronomische Merkmale genutzt werden kann.

Artübergreifende Kreuzungen sind beispielsweise bei den Kreuzblütlern schon in den verschiedensten Kombinationen erfolgreich durchgeführt worden; dabei konnte Einblick in die Verwandtschaftsverhältnisse dieser Arten gewonnen werden (vgl. Abb. 3). Aufgrund dieser Beziehungen ist es heute möglich, verwandte Arten als „Genquellen“ für die Verbesserung agronomischer Merkmale (Resistenzen u. a.) etwa beim Raps zu nutzen.

Auch die Gattungen *Linum* und *Helianthus* umfassen neben den Kulturformen jeweils eine Vielzahl verschiedenster Wildarten (vgl. Tabelle 5). Schon heute weiß man, daß zahlreiche *Helianthus*-Arten sowie wenigstens einige *Linum*-Spezies untereinander kreuzbar sind (vgl. Abb. 4 und 5). Jede Art zeichnet sich dabei durch besondere, individuelle Eigenschaften, wie z. B. Resistenz oder Toleranz gegen Krankheiten, spezifische Ölzusammensetzung und seltene Fettsäuren aus. Durch Kreuzung solcher Wildformen mit den Kulturarten lassen sich daher Neukombinationen hinsichtlich der verschiedensten, agronomisch wichtigen Merkmale erreichen. Allerdings gelingen Artkreuzungen mit herkömmlichen (sexuellen) Kreuzungstechniken oft nicht, sei es 1. wegen sexueller Unverträglichkeit („Inkom-

patibilität“), oder 2. wegen der Degeneration der befruchteten Eizelle bzw. des jungen Embryos. Um trotzdem zu intakten Artbastarden zu gelangen, verfügt man heute über zwei *in vitro*-Techniken: die Embryo-Kultur und die Protoplasten-Fusion; vgl. Abb. 2.

Der Embryokultur geht eine sexuelle Kreuzung der Ausgangseltern, d. h. Kastration der Mutterpflanzen und nachfolgende Handbestäubung mit Pollen der Vater-

Zellen, d. h. ihre (angenommene) Eigenschaft, daß jede Zelle das gesamte Erbmateriale für Aufbau und Entwicklung eines vollständigen Individuums enthält, wächst aus dem Fusionsprodukt auf einem geeigneten Nährmedium eine neue Pflanze heran, die die Erbanlagen beider Eltern in sich vereinigt. Dieses Verfahren der Zellfusion ist bisher besonders bei Raps und seinen Verwandten erfolgreich angewendet worden. Aber auch für einige *Linum*-Arten, das sind Verwandte des Leins oder Flachs, sind inzwischen die Voraussetzungen gegeben, um Fusionen durchführen zu können.

Oft wird bei Fusionen lediglich eine Vermischung des Zellplasmas, aber keine Verschmelzung der Zellkerne erreicht; nur in letzterem Fall entstehen vollständige Fusions-Hybriden, während man in ersterem Fall von sog. „Cybriden“ spricht. Neben dem Zellkern ist jedoch auch im Plasma, insbesondere in den Chloroplasten und Mitochondrien, genetische Information vor-

Tabelle 4. Anbau- und Verwertungsmöglichkeiten wichtiger Ölpflanzen

Art	Eignung für mitteleuropäische(s)			Korntrag (dt/ha)
	Klima	Landwirtschaft	Verwertung	
Raps	++	++	++	25→50
Rübsen	++	++	+	15→30
Senf-Arten	++	++	+	10→25
Öllein	++	++	++	10→20
Sonnenblumen	○	+	++	15→40
Sojabohne	○	○	++	20→30

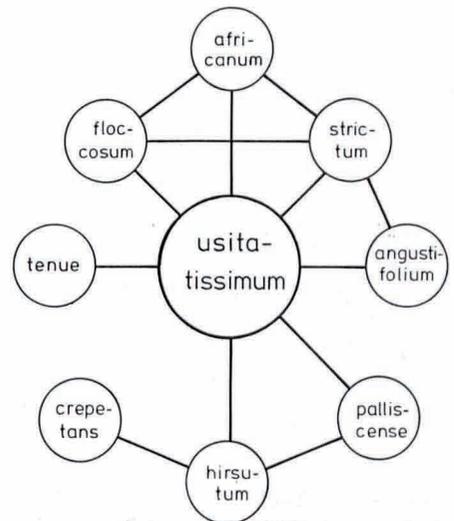
++ = sehr gut, + = gut, ○ = verbesserungsfähig

pflanzen, voraus. Etwa 1–2 Wochen nach der Befruchtung der Eizelle wird der junge Embryo aus dem Fruchtknoten herauspräpariert und auf ein Nährmedium gelegt, auf dem er dann zur intakten Pflanze heranwachsen kann. Auf diese Weise wird die Degeneration des jungen Embryos verhindert.

Mit Hilfe der Embryokultur wurde z. B. die Resistenz gegen *Phoma lingam*, einer gefährlichen Pilzkrankung bei Raps, von einer verwandten Senfart (*Brassica juncea*) in den Kulturrap (B. napus) übertragen.

In den Fällen, in denen es auf herkömmlichem, d. h. sexuellem Weg (Kreuzung der Eltern) nicht zu einer Befruchtung der Eizelle kommt, gibt es die Möglichkeit der somatischen Hybridisierung (Zellfusion). Hierbei werden Gewebezellen der Ausgangseltern mit speziellen Enzymen, z. B. PEG (Polyethylenglycol), oder mit Elektroschock behandelt, wodurch sie sich aneinanderlagern und schließlich verschmelzen (fusionieren) können. Dabei kommt es im Idealfall zu einer vollständigen Durchmischung des Erbmaterials beider Eltern. Aufgrund der Totipotenz (Omnipotenz) der

Kreuzbarkeit verschiedener *Linum*-Spezies (2n = 2x = 30)



Arten mit unterschiedlicher Chromosomenzahl sind inkompatibel (nach SEETHARAM, 1972)

Abb. 4: Erfolgreiche Artkreuzungen in der Gattung *Linum*; nach verschiedenen Literaturangaben.

Art	2n=	C 18:3 (%)
<i>L. altum</i>	30	4,7
<i>L. album</i>	18	5,7
<i>L. berlandieri</i>	30	20,6
<i>L. campanulatum</i>	28	16,4 17,0
<i>L. capitatum</i>	28	8,4 9,5
<i>L. cartharticum</i>	16	12,1 9,6
<i>L. flavum</i>	30	12,6 > 5,8
<i>L. floridanum</i>	36	4,2
<i>L. imbricatum</i>	30	6,5
<i>L. maritimum</i>	18	26,1 43,3
<i>L. mysorensense</i>	60	16,8
<i>L. puberulum</i>	30	4,7
<i>L. rupestre</i>	36	4,3
<i>L. schiedeanum</i>	36	5,3
<i>L. striatum</i>	36	8,0 -10,5
<i>L. strictum</i>	18	39,7
<i>L. sulcatum</i>	30	9,7 -16,9
<i>L. tenuifolium</i>	18	2,4

Nach verschiedenen Autoren zusammengestellt von Nichterlein, 1987

Tabelle 5. Chromosomenzahlen und Linolensäure-(C 18:3)-Gehalte von *Linum*-Wildarten

handen; beispielsweise enthalten die Mitochondrien gelegentlich Gene für Cytoplasmatische Männliche Sterilität (CMS) die ein wichtiges Hilfsmittel für die Züchtung von Hybridpflanzen ist. Daher sind auch solche Fusionen züchterisch interessant, die zu neuen Plasmakombinationen, also zu Cybriden führen.

Die bis hierher beschriebenen Techniken und Methoden sind mittlerweile bereits so weit entwickelt und optimiert worden, daß sie teilweise schon Eingang in die Züchtungspraxis gefunden haben. Aufgrund der damit erreichbaren Zeitersparnis und Optimierung der Selektion versprechen sie eine schnellere und sicherere züchterische Realisierung verschiedener Zuchtziele.

Auch für eine zukünftige Anwendung der „Gentechnik“ in der Pflanzenzüchtung sind



Abb. 6: Sonnenblumenpflanze aus Zellkultur in vitro.

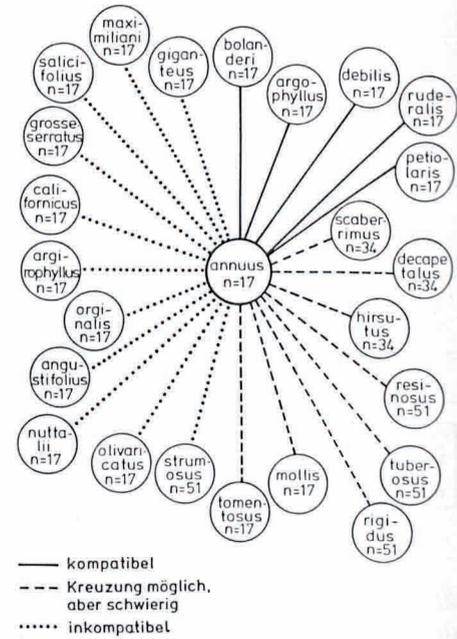


Abb. 5: Möglichkeiten der Züchtung mit „Interspezifischen Bastarden“ in der Gattung *Helianthus* (nach diversen Literaturangaben).

schon heute einige Voraussetzungen gegeben. So steht z. B. mit *Agrobacterium tumefaciens*, einem Bakterium, das Wurzelhalskrebs bei zweikeimblättrigen Pflanzen hervorrufen kann, für viele dicotyledone Pflanzen ein geeigneter Überträger („Vektor“) von genetischer Information (Gene) in eine Pflanzenzelle zur Verfügung. In jüngster Zeit sind darüber hinaus weitere Vektor-Systeme entwickelt worden; auch eine direkte, „vektorfremde“ Übertragung von fremden Genen in pflanzliche Protoplasten ist heute möglich. Somit ist die gezielte Übertragung von Genen für agronomische Merkmale, wie etwa Krankheitsresistenz und Inhaltsstoff-Qualität, heute schon keine Utopie mehr.