

Die Sonnenblume — eine „nachwachsende Rohstoffquelle“ mit Zukunft?

Professor Dr. Wolfgang Friedt
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I
der Justus-Liebig-Universität, Gießen

Am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I der Justus-Liebig-Universität werden seit mehr als vier Jahrzehnten verschiedene Ölpflanzen gezüchtet — darunter die Sonnenblume (*Helianthus annuus*). Seit fünf Jahren werden zell- und molekularbiologische Techniken — „ein methodisches Repertoire aus der Biotechnologie“ — für die Anwendung bei der Sonnenblume weiterentwickelt und in der Züchtung von „Basismaterial“ für nachwachsende Rohstoffe erprobt. Ziel ist es, neue Genotypen zu entwickeln, die als Grundstoffe für die oleochemische Entwicklung neuer Materialien auf pflanzlicher Basis geeignet sind.

Pflanzliche Öle finden bisher noch vor allem im Nahrungsmittelbereich Verwendung. Das Sonnenblumenöl ist dabei aufgrund seiner günstigen Fettsäurezusammensetzung als eines der wertvollsten Speiseöle zu betrachten. Inzwischen eröffnen sich für Pflanzenöl oder -fett auch zunehmend alternative Verwertungsrichtungen — besonders als Grundstoff für die Oleochemie (Tabelle 1). Auch für diese Zwecke ist die Sonnenblume, neben Raps und Ölein, die interessanteste Ölpflanze für mitteleuropäische Anbauverhältnisse [3]. Bei der Sonnenblume sind es vor allem die Öl-

säure (Kurzschreibweise C18:1) und die Linolsäure (C18:2), aus denen die Samenlipide (Triglyzeride) zusammengesetzt sind (Abb. 1 und 2). Die Fettsäurezusammensetzung des Öles — und hierbei insbesondere die jeweilige Hauptfettsäure — bestimmt den jeweiligen Verwendungszweck (Tabelle 1). Während für die Qualität des Speiseöles die Linolsäure — auch als Vitamin F bekannt — wertgebend ist, stellt für chemische Reaktionen und Weiterverarbeitungen die Ölsäure die wertbestimmende Fettsäure dar. In der o.g. Kurzschreibweise deutet sich an, daß es sich um Fettsäureketten mit 18 Kohlenstoffatomen handelt, wobei die Linolsäure zwei, die Ölsäure dagegen nur eine ungesättigte Doppelbindung auf-

weist. Der Grad der chemischen Sättigung ist maßgebend für die Reaktionsfähigkeit der Fettsäure und damit für die jeweilige Verwendung. Wie bereits angedeutet, sind neue Sonnenblumen-Sorten mit unterschiedlicher Ölqualität auf züchterischem Wege durchaus realisierbar. Primäres Ziel der Züchtung ist ein möglichst hoher Ertrag. Dafür ist auch eine ausreichende Stabilität notwendig, d.h., daß unter verschiedenen Bedingungen — also Standorten und Jahren mit variierendem Witterungsverlauf und Krankheitsbefall — etwa gleiche Erträge erwartet werden können. Und schließlich wird von dem erzeugten Erntegut eine zufriedenstellende Qualität z.B. des Öles verlangt, damit es von der weiterverarbeitenden Industrie und dem Endverbraucher akzeptiert wird.

Genetische Grundlagen für die Züchtung einer Sonnenblumensorte

Die Sonnenblumensaat für den landwirtschaftlichen Anbau besteht heute ausschließlich aus vitalen und leistungsfähigen Hybriden; das sind Sorten, die aus der gezielten Kreuzung zweier oder mehrerer geeigneter Linien resultieren. „Geeignete“ Linien sind solche, die eine gute Kombinationsfähigkeit, d.h. in der Kreuzung besondere Leistungsvorteile aufweisen. Die kommerzielle Erzeugung von Hybridsaatgut wird durch die Verwendung männlich steriler Mutterlinien ermöglicht; es handelt sich dabei um sogenannte CMS-Linien (CMS = cytoplasmatische männliche Sterilität). CMS führt dazu, daß in den Blüten keine funktionsfähigen Staubgefäße und damit keine befruchtungsfähigen Pollen gebildet werden. Wie wir heute wissen, kommt cytoplasmatische männliche Sterilität durch Wechselwirkungen zwischen Genen im Zellplasma — genauer in den Mitochondrien (den „Kraftwerken“ der Zelle) — und Erbanlagen im Zellkern (der „Schalt- und Steuerzentrale“) zustande (Abb. 3 und 4).

Die Art und Weise dieser Wechselwirkungen ist noch nicht genau geklärt; sicher ist nur, daß sowohl Gene aus dem Zellkern — d.h. der Kern-DNS (mDNA) — als auch mitochondriale Gene (mtDNA) an der Ausprägung der cytoplasmatischen männlichen Sterilität beteiligt sind. Neueste Befunde der Gießener Pflanzenphysiologen um Professor Klaus Zetsche (Fachbereich Biologie) verdeutlichen, daß die Erbsubstanz der Mitochondrien von CMS-Linien im Vergleich zu „normalen“ fertilen Linien strukturelle Unterschiede aufweist. Vermutlich ist das Produkt eines bestimmten Mitochondriengens, d.h. ein Protein, als Botenstoff an der Auslösung von CMS beteiligt [6]. Weitere molekularbiologische Untersuchungen im Rahmen eines Schwerpunktpro-

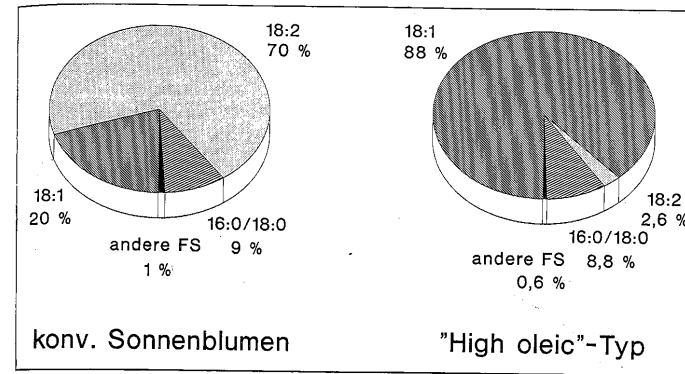


Abb. 1: Vergleich der Fettsäuremuster von herkömmlichen („konventionellen“) Sonnenblumen und „High oleic“-Typen

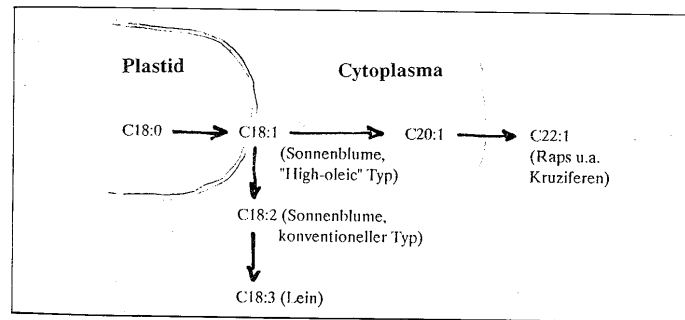


Abb. 2: Stark vereinfachtes Schema der Fettsäure(FS)-Biosynthese bei der Sonnenblume: Über zyklische Verlängerungsschritte in Plastiden entsteht letzten Endes die gesättigte FS-Stearinsäure (C18:0); daraus wird im Cytosol (Plasma) durch Desaturierung zuerst die Ölsäure, aus der durch weitere Desaturierung die Linol- und schließlich die Linolensäure entsteht

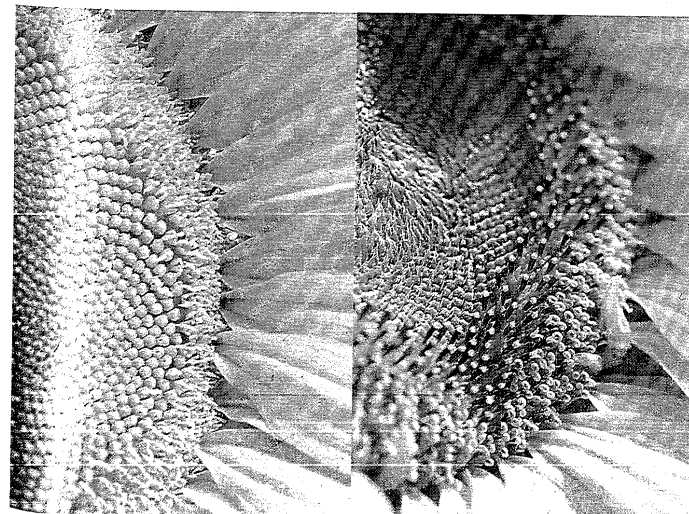


Abb. 3: Blütenkörbe rechts: fertile Pflanze — in den Röhrenblüten sind die dunkel erscheinenden Staubbeutel (Antheren) deutlich erkennbar; links: cytoplasmatisch männlich sterile (cms) Pflanze, im Blütenkorb sind nur Röhrenblüten mit entfalteten Narbenästen — jedoch keine Staubgefäße — zu sehen

Fotos: G. Scheuermann, Gießen

Tabelle 1: Verwendungsmöglichkeiten der Fettsäuren im Sonnenblumenöl

Hauptfettsäuren	Verwendungszwecke
Linolsäure (C18:2)	Speiseöle Diätmargarine
Ölsäure (C18:1)	Fritierfette Verwendung in der Oleochemie — kurzkettige Fettsäuren — Erdölersatz (Treibstoffe, Olefine)

Die Anwendung von Zell- und Gewebekulturtechniken im Laufe eines Züchtungsprogrammes trägt dazu bei, den Zuchtgang zu beschleunigen und damit die angestrebten Ziele schneller zu realisieren.

Beispielsweise erlaubt die sogenannte Embryokultur-Technik („embryo rescue“) eine erfolgreiche Aufzucht interspezifischer Bastarde — sogenannter „weiter Kreuzungen“. Hierbei werden heranwachsende, noch unreife Embryonen aus dem Fruchtknoten der befruchteten, mütterlichen Blüte in einem frühen Entwicklungsstadium herauspräpariert und unter keimfreien Bedingungen im Labor (*in vitro*) zur Pflanze herangezogen (Abb. 6a—d). Dieser „Umweg“ ist deshalb erforderlich, weil solche weiten Kreuzungen wegen geringer Vitalität und Lebensfähigkeit der Embryonen unter natürlichen Bedin-

gungen nur sehr schwer gewonnen werden können. Es treten Unverträglichkeitsreaktionen auf, die ein Ausreifen intakter Samen behindern. Ferner ist durch die Aufzucht der Embryonen *in vitro* die Möglichkeit gegeben, vier bis fünf Generationen pro Jahr zu erzeugen, wodurch der Zuchtgang erheblich verkürzt werden kann.

Weitere „Biotechniken“ können hierbei zusätzlich hilfreich sein [1, 2]. So erlaubt die *in vitro*-Kultur von Antheren oder Pollen (Mikrosporen) eine rasche Gewinnung reinerbiger („homozygoter“) Linien von heterozygoten (gemischterbigen) Spenderpflanzen aus Kreuzungen verschiedener Eltern. Aus den haploiden Pollenzellen der „normalen“ diploiden Pflanzen können wiederum haploide Pflanzen regeneriert werden. Die Zellen dieser Haploiden besitzen lediglich den einfachen Chro-

mosomensatz — im Gegensatz zu den diploiden Spenderpflanzen. Die experimentelle Verdoppelung der Chromosomenzahl der haploiden führt zu sogenannten „doppelhaploiden“ Pflanzen, die absolut reinerbig sind — also im Gegensatz zu den Ausgangspflanzen reine Linien darstellen; solche Linien sind das Basismaterial für die nachfolgende Züchtung der oben besprochenen Hybridsorten.

Obwohl die Antheren- oder Mikrosporenkultur bei verschiedenen Nutzpflanzenarten (wie Kartoffel und Raps) bereits eine breite Anwendung findet, ist gerade bei der Sonnenblume wegen der schwierigen Regenerierbarkeit von Einzelzellen das Ergebnis noch nicht zufriedenstellend [5].

Perspektiven für die Zukunft

Die Entwicklung von ertragreichen, an europäische Bedingungen angepasste Ölsonnenblumen-Sorten aus nordamerikanischen Wild- und Primitivformen hat wenigstens fünf Jahrzehnte intensiver züchterischer Arbeit erfordert. Bei systematischer Nutzung der heute verfügbaren zell- und molekularbiologischen Techniken (Abb. 7) und der darauf aufbauenden praktischen Züchtungsmethoden dürfte die züchterische Entwicklung neuer, geständerer Hybriden mit modifizierter Ölzusammensetzung in wesentlich kürzerer Zeit realisierbar sein.

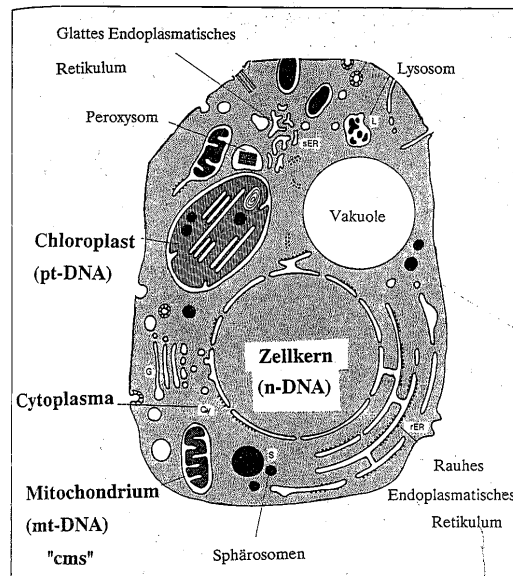


Abb. 4: Schematische Darstellung einer Zelle zur Verdeutlichung der möglichen genetischen Wechselwirkungen zwischen dem Zellkern und den Mitochondrien

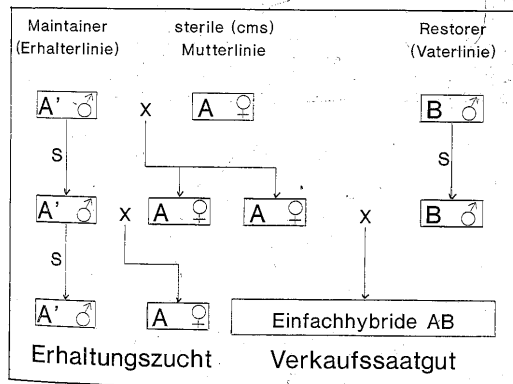


Abb. 5 (unten): Schema zur Züchtung einer Hybridsorte (Einfach-Hybride): Die kommerzielle Hybride entsteht aus der Bestäubung einer männlich-sterilen CMS-Mutterlinie (A) mit einem Restorer-Vater (B); während der Restorer durch Selbstung (S) bzw. Isolation erhalten werden kann, ist für die Erhaltung der A-Linie (CMS-Mutter) jeweils Bestäubung mit der kerngenetisch identischen, aber fertilen Maintainer-Linie A' (normales Plasma) erforderlich [3]

Hierbei werden zukünftig auch molekularbiologische Techniken die Auswahl geeigneter Linien als Sorteneltern erleichtern. Zum Beispiel ermöglicht die RFLP-Technik (RFLP = Restriktions-Fragment Längen-Polymorphismus) die Erfassung feinsten Unterschiede in der DNS verschiedener Genotypen. Hierzu wird die DNS mit Hilfe sogenannter Restriktionsenzyme verdaut; letztere können bestimmte Bausteinmuster (Basensequenzen) auf der DNS spezifisch erkennen. Aufgrund der Basenfolgen entstehen z.B. bei verschiedenen Sonnenblumen-Linien abweichende Fragmentmuster in einem elektrophoretischen Trennungsgel. Dieses Muster kann auf eine Trägerfolie geblotet und dort mit einer entsprechenden DNS-Probe als

Indikator (eine sogenannte „Sonde“) inkubiert werden. Eine Reaktion als Ergebnis einer Hybridisierung ist schließlich Hinweis auf die Übereinstimmung des betreffenden DNS-Fragmentes mit der Sonde. Auf diese Weise ist eine molekulargenetische Zuordnung dieses Fragmentes zu der bekannten Sonden-DNS möglich.

Abb. 8 gibt ein schematisches Beispiel für einen RFLP. Hier wird deutlich, daß die auftretenden Muster charakteristisch für den jeweiligen Genotyp sind — in diesem Falle Eltern, F₁ und F₂; es wird ein „genetischer Fingerabdruck“ hergestellt. Aber darüber hinaus können solche spezifischen Muster auch für die Identifizierung „besonderer“ erwünschter Eigenschaften verwendet

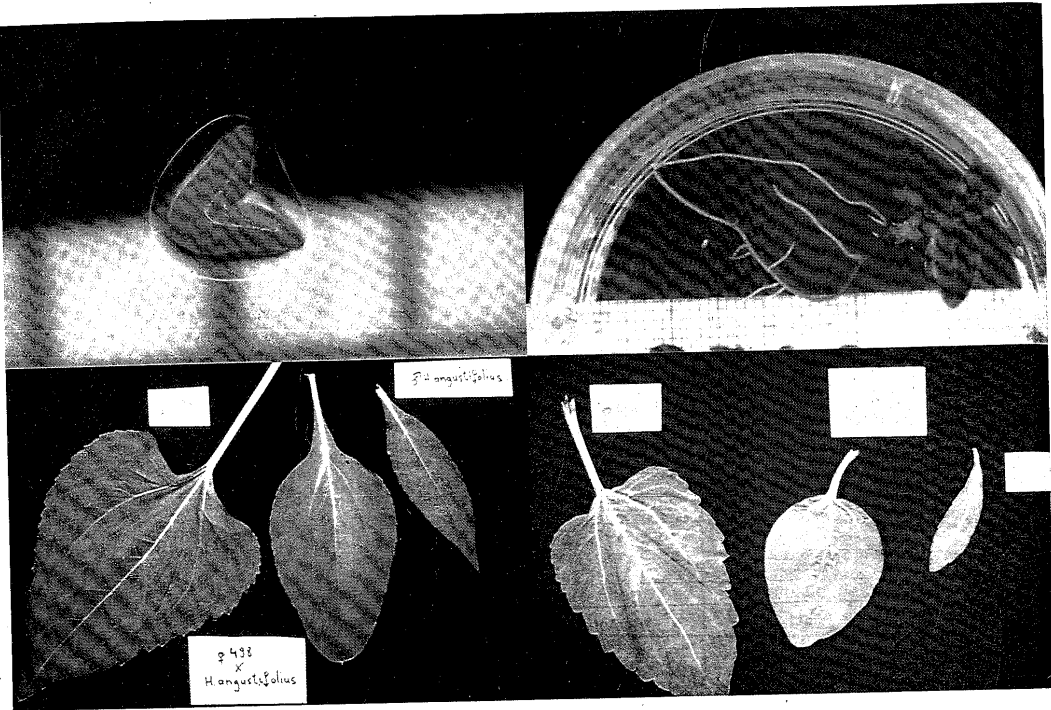


Abb. 6: Artkreuzungen mit Sonnenblumen; oben links: Embryo einer Artkreuzung in der Sterilkultur *in vitro*; oben rechts: junger Artbastard aus Embryokultur *in vitro*; unten links: Blattmorphologie eines Artbastardes und seiner Eltern — links: Sonnenblumen-Mutterlinie (*Helianthus annuus*, cms), Mitte: Kreuzungspflanze *H. annuus* x *H. angustifolius*, rechts: Wildform *H. angustifolius*; unten rechts: von links nach rechts — Blatt einer *H. annuus*-Mutterpflanze, der Artkreuzung *H. annuus* x *H. nuttallii* und der Wildform *H. nuttallii* (aus [7])

werden. Beispielsweise ist denkbar und auch schon nachgewiesen, daß Resistenz- und Qualitätseigenschaften und selbst komplexe Ertragsmerkmale durch „genetische Marken“ mit Hilfe der RFLP-Technik indirekt identifiziert werden können. Auch in der Sonnenblumenzüchtung können solche neuen molekularbiologischen Methoden in Zukunft die Selektion vereinfachen und beschleunigen helfen.

Literatur
 [1] Friedt, W., 1988: Bio- und gentechnische Pflanzenzüchtung — Hemmnisse, Grenzen und Perspektiven. In: Gentechnologie — Die andere Schöpfung? (K. Dohmen, Hrsg.), 68–78. J. B. Metzler, Stuttgart
 [2] Friedt, W., 1990: Trends und Anwendungsfelder der Biotechnologie in der Pflanzenzüchtung der nächsten 10 bis 15 Jahre. In: Die Zukunft der Nutzpflanzen (S. Albrecht, Hrsg.), Gentechnologie: Chancen und Risiken, Bd. 24, 223 S.
 [3] Friedt, W., und G. Scheuermann, 1991:

Stand und Perspektiven der Züchtung von „High-oleic“ Sonnenblumen für Mitteleuropa. Raps 9 (2), 96–103
 [4] Graner, A., 1988: Angewandte Gentechnologie in der Resistenzzüchtung am Beispiel der Spindelknollensucht der Kartoffel. Vortr. Pflanzenzüchtg. 13, 213–221
 [5] Gürel, A., K. Nichterlein, and W. Friedt, 1990: Plant regeneration from anther culture of sunflower (*Helianthus annuus*) and some interspecific hybrids as affected by genotype and culture procedure. Plant Breeding 106, 68–76
 [6] Köhler, R. H., R. Horn, A. Lössl und K. Zetsche, 1991: Cytoplasmic male sterility in sunflower is correlated with the cotranscription of a new open reading frame with the *atpA* gene. Molec. Gen. Genet. (im Druck)
 [7] Kräuter, R., 1990: Untersuchungen über interspezifische Hybridisierung in der Gattung *Helianthus* mit Hilfe von „embryo rescue“ Justus-Liebig-Universität Gießen, 130 S.
 [8] Kräuter, R., A. Steinmetz und W. Friedt, 1991: Efficient interspecific hybridization in the genus *Helianthus* via „embryo rescue“ and characterization of the hybrids. Theor. Appl. Genet. (im Druck)

Abb. 8 (rechts unten): Die RFLP-Technik kann es ermöglichen, in früheren Züchtungsgenerationen unabhängig vom Zielmerkmal (z.B. Resistenz) eine — indirekte — Selektion erfolgreich durchzuführen. In dem schematischen Beispiel unterscheiden sich die beiden Eltern (Pr, Ps) durch ein Krankheits-Resistenzgen. Der betreffende DNS-Abschnitt weist eine unterschiedliche Zahl von Schnittstellen (eine bzw. zwei) eines Restriktionsenzym (E) auf. Für diesen DNS-Bereich ist eine Sonde, eine DNA-Kopie (dDNA), verfügbar, die für die Selektion in der F2-Generation eingesetzt werden kann. Aufgrund der Größe der nach Restriktionsverdau erhaltenen DNS-Fragmente lassen sich diese elektrophoretisch auftrennen, so daß sich in der F2 bestimmte Muster, die Homozygotie (Elterntypen) oder Heterozygotie in dem betreffenden Gen (DNS-Abschnitt) anzeigen. Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung dieser Technik ist vor allem, daß eine ausreichende Zahl an DNA-Sonden für das „Screening“ zur Verfügung steht [4]

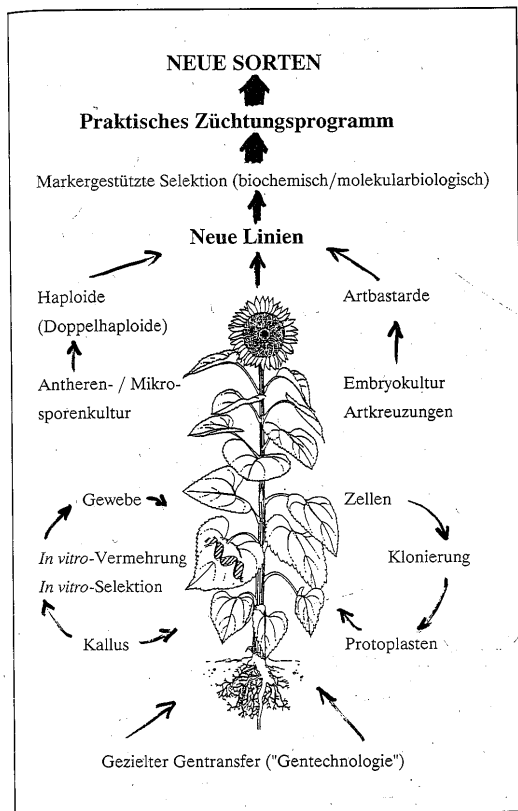


Abb. 7: Bio- und Gentechniken eröffnen dem Pflanzenzüchter neue Wege, d.h. eine Erweiterung seiner methodischen Möglichkeiten bei der Entwicklung von Ausgangsmaterial für die Selektion. Die eigentliche Züchtung und Prüfung der Sortenkandidaten erfolgt dabei nach wie vor im Feld, und zwar mehrjährig und mehrortig

