

# Trends und Anwendungsfelder der Biotechnologie in der Pflanzenzüchtung der nächsten 10 bis 15 Jahre

WOLFGANG FRIEDT

## Einführung

Bevor der Versuch unternommen wird, die Möglichkeiten der Anwendung von Biotechniken in der Pflanzenzüchtung in den nächsten Jahren zu prognostizieren, soll zuvor in Erinnerung gerufen werden, was die sogenannte "konventionelle" Pflanzenzüchtung schon bisher erreicht hat und wo die neuen Methoden eine sinnvolle Ergänzung darstellen können.

Historisch betrachtet war Pflanzenzüchtung zunächst einfache Auslese in verfügbarem Ausgangsmaterial. Diese Selektion in lokalen Landsorten ("Auslesezüchtung") wurde seit Jahrtausenden mit unterschiedlicher Intensität praktiziert. Diese eher extensive Vorgehensweise hat schließlich im vergangenen Jahrhundert zunehmend an Bedeutung verloren, weil man verstärkt dazu übergegangen ist, mit Hilfe von Kreuzungen verschiedener Varietäten oder Herkünfte gewünschte Eigenschaften gezielt zu kombinieren ("Kombinationszüchtung"). Schon vor Gregor Mendel hatte man erkannt, daß auf diese Weise neue Variation geschaffen werden kann. Und die "Kreuzungszüchtung" ist trotz zwischenzeitlicher Entwicklung anderer Techniken bis heute die mit Abstand bedeutendste Methode zur Schaffung neuer genetischer Vielfalt in der "klassischen" Pflanzenzüchtung geblieben. Im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts hat man zunehmend begonnen, auch artfremdes, exotisches Material als Kreuzungseltern zu verwenden. Artkreuzungen eröffneten

die Möglichkeit, ganz "neue" Gene in Kulturpflanzen einzuführen. Im Grunde wurde so bereits eine Art angewandter "Gentechnik" praktiziert, lange bevor eine genetische Manipulation auf molekularer Ebene denkbar war.

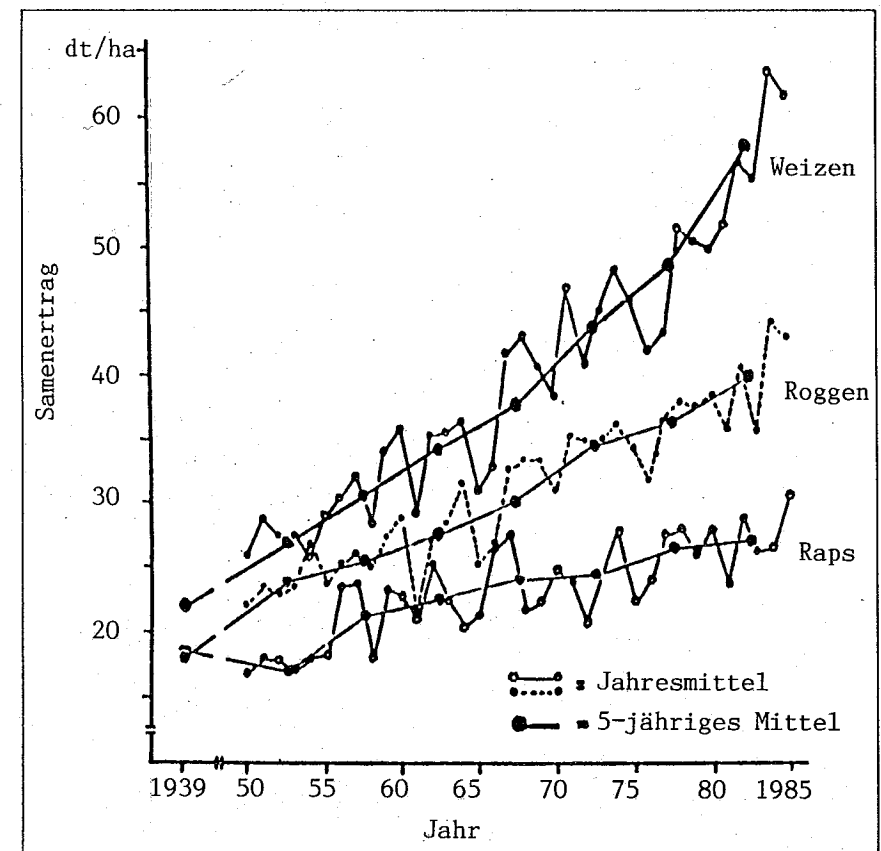
In der Zwischenzeit sind viele neue Züchtungstechniken entwickelt worden. Als ein spektakuläres Beispiel sei nur auf die "Mutationszüchtung" verwiesen, die sich die chemische oder Strahlen-Mutagenese zunutze machte. Lange Zeit in ihrer Bedeutung für die Pflanzenzüchtung überschätzt stellt diese Technik heute eher eine Kuriosität denn eine im breiten Sinne nutzbare Züchtungstechnik dar. Heute – kurz vor dem Jahr 2000 – wird angenommen, daß nun die Biotechnologie für die Pflanzenzüchtung zunehmend an Bedeutung gewinnen und Früchte tragen wird. Bevor ihre Chancen und Perspektiven näher erörtert werden, ist es angebracht zu definieren, was in diesem Zusammenhang unter Biotechnologie verstanden werden soll. Der Begriff "Biotechnologie" steht hier als ein übergeordneter Sammelbegriff für alle Methoden und Techniken der Zell- und Molekularbiologie (vgl. Abbildung 5). Diese Techniken sind teilweise bereits heute für die angewandte Pflanzenzüchtung relevant. Wie weitreichend wird aber ihre Wirkung auf die Pflanzenzüchtung der Zukunft sein – oder wird sie gar die herkömmliche Züchtungsmethodik völlig verdrängen?

### Züchtungsziele und bisheriger Züchtungsfortschritt

Welche Ziele haben wir als Züchter vor Augen? Es sind im wesentlichen drei Zielkomplexe: (1) einmal die Krankheits- und Schädlingsresistenz, die heute generell hohe Priorität genießt und als wichtige Komponente der (2) Ertragshöhe und -stabilität gesehen wird. Schließlich ist (3) die Optimierung der Inhaltsstoffzusammensetzung (z.B. Öl- und Proteinqualität) ein weiterer, für die Verwertung der Züchtungsprodukte – d.h. der Sorten – wesentlicher Zielkomplex. In diesem Bereich sind m.E. auch die unmittelbarsten Anwendungsmöglichkeiten für gezielte, molekulare Veränderungen von Genen – also für Gentechnik – zu sehen. Für Züchter und Landwirte stand die Ertragssteigerung seit jeher immer an erster Stelle ihrer Ziele. Selbst wenn die Ertragssteigerung heute nicht mehr absolute Priorität hat, so ist es doch unverzichtbar, die Erträge auf dem erreichten hohen Niveau zu stabilisieren. Da in der Vergangenheit vor allem Ertragssteigerungen im Vordergrund standen, soll zunächst dargelegt werden, wie sich in den vergangenen Jahrzehnen

ten die Erträge, u.a. bedingt durch pflanzenzüchterische Fortschritte, entwickelt haben. Betrachtet man die Ertragsentwicklung bei den drei ausgewählten Fruchtarten Weizen, Roggen und Raps, dann sind überall deutliche Ertragsfortschritte erkennbar (Abbildung 1).

**Abbildung 1:** Ertragsentwicklung bei drei ausgewählten Fruchtarten – Weizen, Roggen und Raps – in der Bundesrepublik Deutschland (Quelle: FAO Production Year-Book, verschiedene Jahrgänge)



Auffallend ist die hohe Steigerungsrate bei der selbstbefruchtenden Getreideart Weizen. Ein deutlich geringerer Zuwachs ist etwa bei dem

fremdbefruchtenden Roggen erkennbar. Diese unterschiedliche Entwicklung hat sicherlich verschiedene – z.B. physiologische – Ursachen. Sie ist aber auch maßgeblich auf die unterschiedliche Intensität der züchterischen Bearbeitung der Arten zurückzuführen. Es steht außer Frage, daß der Winterweizen in der Vergangenheit züchterisch am intensivsten bearbeitet worden ist, daß er unter den Körnerfrüchten aber wohl auch das höchste physiologische Ertragspotential aufweist. Die Frage der Intensität stellt sich vor allen Dingen beim Roggen, der als Fremdbefruchter im Vergleich zu den Selbstbefruchtern Weizen oder Gerste in der Vergangenheit weit weniger intensiv bearbeitet worden ist. Dies hat in jüngerer Zeit mit der Einführung der Hybridzüchtung begonnen, sich zu ändern, so daß in Zukunft auch beim Roggen größere Ertragssteigerungen erwartet werden können. Darüber hinaus dürften durch den Einsatz von Bio- und Gentechnik in der Züchtung von Roggen ebenso wie bei anderen Pflanzenarten noch weitere Ertragsreserven erschließbar sein (s.u.). Betrachtet man weiter die Ertragskurven in Abbildung 1, so fällt der nur geringe Ertragsanstieg bei dem partiellen Fremdbefruchter Raps auf.

Worauf ist das zurückzuführen? Bei Winterraps wurde über den Zeitraum 1952–81 eine durchschnittliche jährliche Ertragssteigerung von lediglich 0,4 Dezitonnen (dt) pro Hektar erzielt, also deutlich weniger als bei Weizen oder anderen Hauptgetreidearten. Ebenso wie beim Roggen dürfte dies dadurch bedingt sein, daß der Raps weniger intensiv züchterisch bearbeitet wurde und daß dabei die Verbesserung von Qualitätseigenschaften Vorrang vor Ertragsverbesserungen hatte. Andererseits sollten gerade deswegen hier noch deutliche Reserven der Leistungsfähigkeit gegeben sein. Worauf aber noch besonders hingewiesen werden muß ist die Tatsache, daß zwischen den jährlichen Durchschnittserträgen erhebliche Schwankungen auftreten (vgl. Abbildung 1). Das ist darauf zurückzuführen, daß der Ertrag ein sehr komplexes, sogenanntes quantitatives Merkmal ist, das von der Wirkung vieler Gene abhängt und dadurch bedingt sehr umweltsensitiv ist. Daher stellt sich die Frage, ob wir unter diesen Voraussetzungen zu einem bestimmten Zeitpunkt (z.B. heute) eine bestimmte Ertragsentwicklung *sicher* voraussagen können. Anhand eines simplen, retrospektiven "Rechen-spieles" möchte ich die Schwierigkeiten einer Vorhersage aus kurzfristigen Trends aufzuzeigen versuchen. Das Ergebnis von Trendberechnungen für den Samenertrag von Winterraps aufgrund unterschiedlicher Refe-

**Tabelle 1:** Ertragssteigerung und Züchtungsfortschritt – ermittelt aus Wertprüfungsergebnissen des Bundessortenamtes 1952–1981

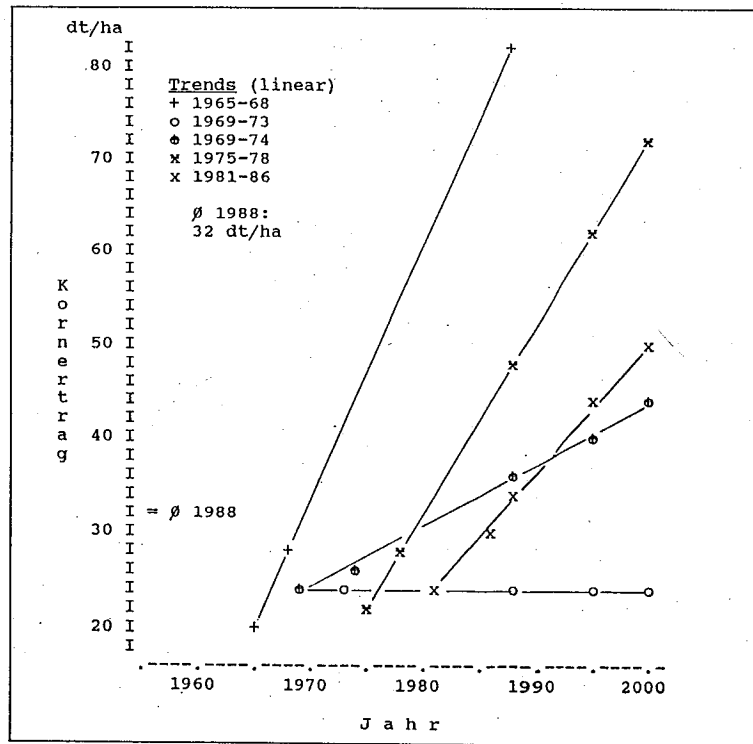
Pflanzenart	Ertragssteigerung dt/ha/Jahr *)	Züchtungsfortschritt relativ in % **)
Winterweizen	1,0	38
Sommerweizen	0,9	36
Wintergerste	1,1	24
Sommergerste	0,6	42
Hafer	0,6	36
Winterroggen	0,8	1
Körnermais früh	1,5	48
Körnermais mittelspät	1,7	36
Kartoffeln mittelfrüh	5,5	0
Kartoffeln mittelspät	3,9	48
Zuckerrüben	7,1	24
Winterraps	0,4	14

\*) lineare Regression (b), \*\*) Mehrertrag von Neuzüchtungen im Verhältnis zur Gesamtsteigerung des Sortimentes in %

renzzeiträume ist in Abbildung 2 dargestellt.

Wie die Abbildung verdeutlicht hätte eine Trendberechnung aufgrund der Ergebnisse von 1965–68 in einer Schätzung für 1990 von mehr als 80 dt/ha Rapssaat resultiert; tatsächlich haben wir aber heute im Durchschnitt erst 32 dt/ha Samenertrag beim Winterraps erreicht. Wären dagegen die Jahre 1969–73 für die Prognose verwendet worden, so hätte man überhaupt keinen Ertragsanstieg erwartet. Und wäre schließlich der Zeitraum von 1969 bis 1974 zugrunde gelegt worden, dann hätte die Prognose für das Jahr 1988 31 dt/ha betragen – eine Ertragshöhe also wie sie auch tatsächlich erreicht worden ist. Das gleiche Ergebnis resultiert für 1988, wenn die Ergebnisse der Jahre 1981–86 verwendet werden; indes wird ersichtlich, daß die Erwartung für den Zeitraum nach 2000 in diesem Fall deutlich höher ausfällt. Danach ist es also ganz entscheidend für das Ergebnis einer Prognose,

**Abbildung 2: Ertragsvorhersage bei Winterraps: Ergebnisse von Trendberechnungen für den Kornertrag aufgrund unterschiedlicher Referenzzeiträume (1965-68, 1969-73, 1969-74, 1975-78, 1981-86)**



welchen Referenzzeitraum man für die Vorhersage wählt. Trendberechnungen können so zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen, selbst wenn reale Zahlen vorliegen, und meistens treffen sie die Realität nicht. Da solche realen Zahlen für den Bereich der Bio- und Gentechnik bis heute wenig oder garnicht verfügbar sind, ist es in dieser Hinsicht besonders schwierig, vorherzusagen, was diese Techniken für die züchterische Verbesserung von Nutzpflanzenarten in der Zukunft werden leisten können. Man kann hier also lediglich spekulieren. Generell haben wir es im Falle von Ertragszunahmen mit Wachstumskurven, d.h. mit nicht-linearen Beziehungen zu tun. Solche Funktionen sind charak-

terisiert durch einen zunächst zunehmenden und dann abnehmenden Grenzzuwachs, beginnend am Wendepunkt der Kurve. Damit muß in jedem Fall gerechnet werden – bei einer bestimmten Ertragshöhe beginnt der Ertragszuwachs zwangsläufig abzunehmen. Die wesentliche Frage, die sich heute stellt, ist daher: was kann die Züchtung in Zukunft noch dazu beitragen, Erträge bei abnehmendem Grenzzuwachs zu stabilisieren? Manche Autoren beziffern den heutigen Anteil der Pflanzenzüchtung am Ertragsfortschritt mit 50%, für die Zukunft werden mit Unterstützung der Biotechnologie sogar 60% prognostiziert. Meines Erachtens sind diese Schätzungen zu hoch gegriffen, und ich meine, daß auch ein Beitrag der Züchtung von bisher 30% an der Produktivitätssteigerung ein erheblicher und durchaus akzeptabler Beitrag zur Sicherung einer rentablen pflanzlichen Produktion ist. Allerdings bin ich auch der Meinung, daß der relative Beitrag der Pflanzenzüchtung in Zukunft bei zu erwartenden Einschränkungen in der Produktionstechnik, d.h. vor allem bei Düngung und Pflanzenschutz, eher an Bedeutung gewinnen wird.

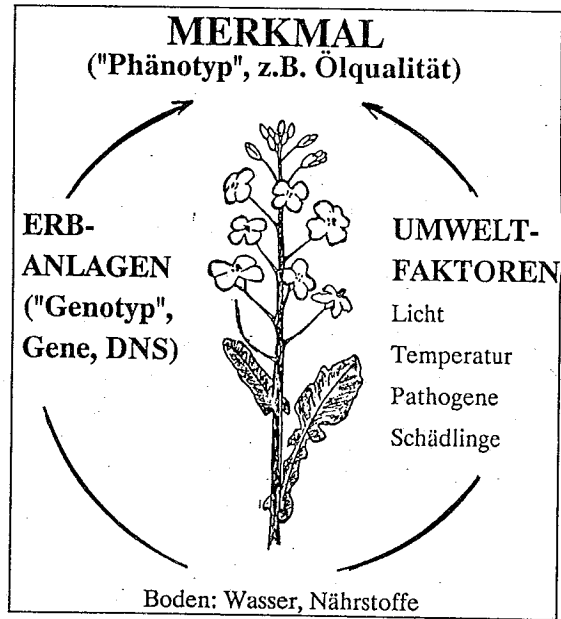
### Der Phänotyp als Ergebnis von Genotyp- und Umwelt-Effekten

Im Prinzip gilt für *alle* Eigenschaften, daß sie nicht allein vom Genotyp (den Genen oder "Erbanlagen"), sondern in mehr oder weniger starkem Maße von Umweltfaktoren mitgeprägt werden. Ergebnis dieser Wechselwirkungen ist der Phänotyp – das "Erscheinungsbild" (vgl. Abbildung 3).

Eine besonders starke Umweltmodifikation zeigt der Samenertrag, aber auch Merkmale wie Ölqualität oder Resistenz sind davon betroffen. Allerdings haben wir es hierbei mit Merkmalen zu tun, die eine höhere Erbllichkeit ("Heritabilität") besitzen als der Ertrag. Je höher die Heritabilität ist – davon dürfen wir ausgehen – desto weniger Gene sind an der Merkmalsprägung beteiligt. Deswegen wird es dort auch leichter sein, mit Hilfe von gezielten Maßnahmen Veränderungen der Gene und damit letztlich Verbesserungen der Merkmalsausprägung herbeizuführen (Abbildung 4).

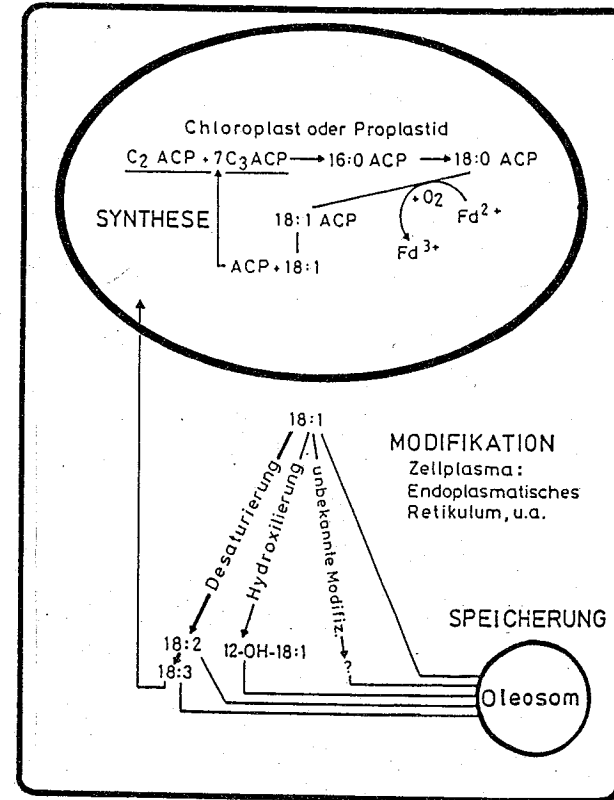
Die Abbildung 4 zeigt stark vereinfacht, welche Vorgänge in einer pflanzlichen Zelle ablaufen, wenn Fette synthetisiert werden. Die Primärbiosynthese findet in den Chloroplasten statt. Anschließend kommt es im Zytoplasma zu Modifikationen, die zu den verschiedensten

**Abbildung 3:** Zustandekommen eines Merkmales (Phänotyp) aufgrund der Wirkung von "Erbanlagen" (Genotyp) und von Umweltfaktoren



spezifischen Fettsäuren führen können, z.B. zu Linolensäure (C18:2) oder zu Erucasäure (C22:1). Bei den verschiedenen Modifikationsschritten – wie Elongation, Hydroxylierung oder Desaturation – sind jeweils bestimmte Enzyme beteiligt (vgl. RÖBBELEN et al. 1989). Vereinfacht gesagt sind für diese Enzymsysteme jeweils definierte Gene zuständig. Wenn man die betreffenden Enzyme kennt, dann ist es mit modernem molekularbiologischem Instrumentarium möglich, aufgrund der Aminosäurezusammensetzung des Enzyms (Proteins) die Genstruktur, d.h. die DNS-Sequenz abzuleiten (s.u.). Grundsätzlich stehen bereits heute für alle der Hauptfettsäuren definierte Genotypen mit maximalen Anteilen dieser Fettsäuren zur Verfügung – erstellt mit Hilfe konventioneller oder klassischer Züchtungsmethoden. Wir erwarten, daß solche Varianten in Zukunft mit Hilfe von Biotechniken schneller und effizienter gezüchtet werden können, als es bisher möglich ist.

**Abbildung 4:** Vereinfachte schematische Darstellung der Fettsäurebiosynthese in einer Pflanzenzelle (nach RÖBBELEN et al. 1989, modifiziert)

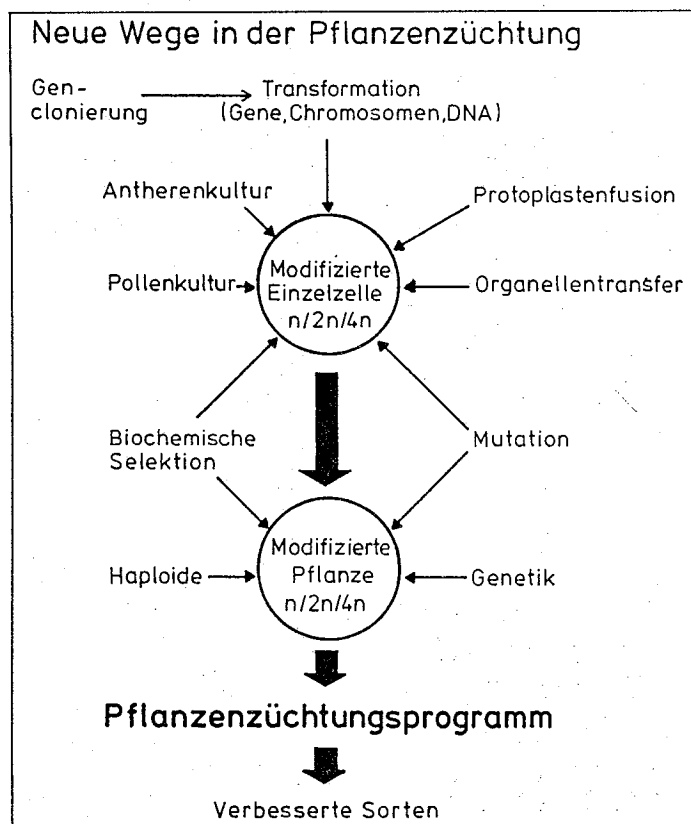


### Zellbiologische Methoden – Zell- und Gewebekulturtechniken

Ausgehend von dem Beispiel "Fettsäure-Biosynthese Ölqualität" stellt sich nun die Frage, was Bio- und Gentechnik hier für die Pflanzenzüchtung konkret leisten können. Das Schaubild in Abbildung 5 faßt zusammen, was hier mit Bio- und Gentechnik gemeint ist.

Es handelt sich einerseits um den Bereich der Gewebekultur *in vitro*. Die hier angesprochenen Techniken haben in der heutigen Züchtungspraxis bereits ihren festen Platz gefunden – insbesondere bei *in vitro* leicht kultivierbaren Arten wie etwa Kartoffel (*Solanaceae*) oder Raps (*Brassicaceae*); vgl. FRIEDT (1988), WENZEL et al. (1984). Zum Bei-

**Abbildung 5: Neue Techniken in der Pflanzenzüchtung als Ergänzung der bewährten, "konventionellen" Zuchtmethodik**



spiel die Meristemkultur als eine elegante Methode zur Eliminierung von Viren in wachsenden Pflanzen ist in der Klonzüchtung der Kartoffel ein praktisch unentbehrliches Hilfsmittel geworden. Andererseits stehen heute bei verschiedenen Pflanzenarten – u.a. wiederum bei *Brassicaceae* und *Solanaceae* – auch schon Einzelzellen als Ausgangsmaterial zur Verfügung. Mit Hilfe bestimmter Enzyme gelingt es, die Zellen von ihren festen Wänden zu befreien; man erhält dadurch sogenannte Protoplasten. Diese "nackten Zellen" können nun ihrerseits entweder zu intakten Pflanzen regeneriert werden, oder man versucht, Fusionen ("asexuelle Kreuzungen") mit anderen Arten herzustellen – Artkreuzungen,

die sonst sexuell nicht gelingen (vgl. NASRALLAH, 1989). Oder aber man verwendet diese Protoplasten als Empfänger (Rezipient) für fremde Gene – für die Gentechnik also (s.u.). Ein Problem stellt dabei aber bei vielen Pflanzen nach wie vor die Regeneration dar, d.h. die Entwicklung in vitro von der Einzelzelle bis zur intakten Pflanze. Hier liegt für viele Arten derzeit noch ein wesentliches Hindernis. Im übrigen gilt dann auch bei den schon "erfolgreichen" Gattungen, daß nach wie vor deutliche Unterschiede zwischen Arten und sogar zwischen Genotypen einer Art hinsichtlich der Regenerierbarkeit zu überwinden bleiben.

Dennoch kann an dieser Stelle bereits schlußfolgernd festgestellt werden, daß dieser Teilbereich der Biotechnologie – also Gewebe- und Zellkulturen – sich nicht allein für die Züchtungsforschung als sehr nützlich erwiesen hat sondern sogar in vielen Fällen schon Anwendung in der praktischen Züchtung findet. Ein Beispiel dafür ist die heute weit verbreitete, systematische Nutzung der Antheren- oder Mikrosporenkultur. Höhere Pflanzen besitzen bekanntlich ein natürliches Einzelzellsystem – die Pollen oder Mikrosporen in den Staubbeuteln (Antheren). Solche Mikrosporen kann man mit oder ohne Antheren in vitro kultivieren und daraus intakte Pflanzen regenerieren; es handelt sich hierbei um haploide Pflanzen, die im Gegensatz zur Ausgangspflanze nicht den doppelten (2x) sondern nur den einfachen Chromosomensatz (x) besitzen. Deren experimentelle Verdopplung führt in einem Schritt zu homozygoten diploiden (2x) Linien – gewissermaßen Inzuchtlinien, wie sie in der Pflanzenzüchtung in vielfacher Weise genutzt werden. Diese Technik wird heute routinemäßig bei einer ganzen Reihe von Pflanzenarten – nicht nur bei Kreuzifern (wie Raps) oder Solanaceen (wie der Kartoffel) – genutzt (z.B. WENZEL et al. 1984). Auch bei den Getreidearten hat man hier jüngst wesentliche Fortschritte gemacht – speziell bei Wintergerste (FRIEDT et al. 1986). Für die Zukunft dürfen hier weitere Optimierungen auch bei anderen Pflanzenarten erwartet werden.

### Molekularbiologische Methoden – "Gentechnik"

Die bisher angesprochenen Techniken der in vitro-Kultur erlauben ebensowenig wie konventionelle Züchtungsmethoden eine gezielte Veränderung von Erbanlagen. Ein solcher direkter Zugriff zu den Genen als funktionelle Einheiten (DNS-Abschnitte) ist in der Tat sehr verlockend, denn bisherige pflanzenzüchterische Methoden können Genwirkungen

nur *indirekt* anhand ihrer Merkmalsausprägung erfassen; und letzere ist – wie schon erwähnt – in mehr oder weniger erheblichem Maße von Umweltwirkungen mitbestimmt.

Daher soll im folgenden der Bereich der "Gentechnik" – oder besser der Anwendung molekularbiologischer Methodik in der Pflanzenzüchtung – näher beleuchtet werden. Worauf beruht sie, was sind die Voraussetzungen für ihre Nutzung in der Züchtung? Als Gentechnik fassen wir eine Palette von Techniken und Methoden zusammen, die zur Identifizierung und Isolierung fremder Gene, deren Vervielfältigung ("Klonierung") und Übertragung mit Hilfe bestimmter Vektoren dienen. Letztere können bakterielle Plasmide sein, mit deren Hilfe man die Gene, das ist mittlerweile bei zahlreichen Pflanzenarten und -sorten gezeigt worden, in die pflanzliche Zelle überführen kann. Grundlage für die Gentechnik ist das molekularbiologische Dogma: DNA – macht RNA – macht Protein. In der Zelle einer lebenden Pflanze dient ein Gen, d.i. eine bestimmte DNS-Sequenz, als Vorlage für eine komplementäre Abschrift (Transkription) in eine RNS (mRNS), deren Basenfolge wiederum (Codon) als Vorlage für die Zusammensetzung der Aminosäurefolge (Translation) eines Proteins, d.h. eines Genproduktes, dient. Dieser Vorgang kann im Labor gewissermaßen umgekehrt werden, so daß grundsätzlich aus einem gegebenen Protein (z.B. ein Enzym) auf dessen verantwortliches Gen (bzw. Gene) rückgeschlossen werden kann. Das Gen kann dann für die Züchtung verwendet werden, beispielsweise um eine Pflanze mit einer stark angereicherten spezifischen Fettsäure im Speicherfett zu erhalten. Hier liegen m.E. die kurzfristig besten Anwendungsmöglichkeiten für Gentechnik generell. Wenn man z.B. wiederum den Raps (*Brassica napus L.*) betrachtet, so ist sein Fett – ebenso wie das anderer Ölpflanzen – durch eine spezifische Fettsäure-Zusammensetzung gekennzeichnet. Die häufigste Fettsäure in traditioneller Rapssaat oder generell bei den Kruziferen (*Brassicaceae*) ist die Erucasäure (C22:1). Die heutigen Rapssorten, die weitgehend frei sind von Erucasäure (00-Sorten), speichern dagegen im wesentlichen Ölsäure und Linolsäure (C18-Fettsäuren) im Fett.

Für eine praktische Anwendung der Gentechnik stehen derzeit i.w. drei Verfahren zur Verfügung (vgl. Tabelle 2):

- (1) das Agrobacterium-System, das heute bei vielen Dikotyledonen, in Einzelfällen aber auch bei monokotyledonen Pflanzen anwendbar ist. Dort wo dieses Verfahren (noch) nicht funktioniert, verspricht

man sich Erfolg mit Hilfe der

- (2) Mikroinjektion von Genen (DNS) in Einzelzellen (Protoplasten oder Mikrosporen) oder durch
- (3) sogenannten "direkten" Gentransfers auf dem Wege der Inkubation von Protoplasten in entsprechenden "DNS-Lösungen".

**Tabelle 2:** Techniken für den Gentransfer in Pflanzen [+ = verfügbar; – = nicht verfügbar]

	Zelle	Gewebe	Pflanze
Agrobacterium	+	+	+
Mikroinjektion	+	+	–
Direkter Transfer	+	–	–

Auch im zweiten und dritten Fall wird ein Gen mit Hilfe eines Plasmids kloniert, dann aber entweder injiziert oder durch Inkubation in isolierte Protoplasten übertragen, die aufgrund der Permeabilität ihrer Außenmembran auch große Moleküle (wie DNS) aufnehmen können. Wie schon angeführt, ist es erforderlich, aus den Protoplasten wieder intakte Pflanzen zu regenerieren, was bei vielen Pflanzenarten schwierig oder noch nicht gelungen ist. Andererseits besteht diese Möglichkeit bei vielen anderen Pflanzenarten heute schon. So gibt es bereits zahlreiche Beispiele für die erfolgreiche Anwendung genetischer Transformation – vor allem mit Hilfe des Agrobacterium-Systems (z.B. WILLMITZER et al. 1989). Aber auch die beiden anderen genannten Verfahren sind bereits in mehreren Fällen dafür genutzt worden, verschiedenste Gene in Pflanzen einzuführen, deren Protoplasten regenerierfähig sind. Hierbei stehen bisher noch Solanaceen (wie Tabak und Kartoffel) oder Kruziferen (wie Raps) wegen ihrer *in vitro*-Tauglichkeit im Vordergrund. Außerdem werden solche Experimente bisher praktisch ausschließlich mit sogenannten "Marker-" oder "Reporter-Genen" durchgeführt – wie etwa Antibiotika- oder Herbizid-Resistenz und molekulare Markierungen. Aufgrund der nach wie vor unzureichenden Kenntnis der molekulargenetischen Determination relevanter Nutzeigenschaften – wie etwa

die Qualität von Raps- oder Sonnenblumenöl – sind die betreffenden Gene heute noch nicht für gentechnische Experimente verfügbar. Gerade auf diesem Gebiet sind die Erwartungen an die Gentechnik sehr hoch. Beispielsweise sind Genotypen mit möglichst hoher Linolsäureausbeute wichtig für die Herstellung von Speiseölen, und andererseits liefern Genotypen mit möglichst hohen Ölsäuregehalten im Samenöl wertvolle Grundstoffe für die Oleochemie. Etwa das Samenöl heutiger Rapsorten (00-Typ) enthält vor allem Öl- und Linolsäure. Um den Ölsäureanteil noch weiter zu steigern, müßte versucht werden einen "genetischen Block" in der Fettsäurebiosynthese einzuführen, der – bedingt durch den Ausfall des Ölsäuredesaturase-Enzyms – eine Linolsäurebildung nicht mehr zuläßt (vgl. Abbildung 4); damit würde fast ausschließlich Ölsäure im Fett gespeichert werden. Es darf aufgrund unserer bisherigen Kenntnis erwartet werden, daß solche Genotypen mit Hilfe der Gentechnik schneller und effizienter gezüchtet werden können, als das mit konventionellen Züchtungsmethoden bisher möglich ist.

Wenn die technischen Voraussetzungen für die praktische Gentechnik vorhanden sind, so kann ein genetisches Experiment zur Übertragung eines oder mehrerer Gene in eine Pflanze (Transformation) indes erst dann als gelungen bezeichnet werden, wenn die Veränderung auch an sexuelle Nachkommenschaften einer transformierten Pflanze stabil weitergegeben und im relevanten Organ im richtigen Entwicklungsstadium exprimiert wird. Es ist also beispielsweise zu prüfen, ob ein "Fettsäuresynthese-Gen" auch dort "angeschaltet" ist, wo Öl gespeichert werden soll – im Samen – oder ob es unsinnigerweise in anderen Geweben wirksam ist. Eine ordnungsgemäße, gewebs- und entwicklungspezifische Expression des betreffenden Genes ist selbstverständlich eine unabdingbare Voraussetzung für seine sinnvolle Funktion. Hierzu ist festzustellen, daß über diesen Bereich der entwicklungs- und organspezifischen Genexpression gerade bei Höheren Pflanzen noch verhältnismäßig wenig bekannt ist. Außerdem sind Höhere Pflanzen – ebenso wie andere Eukaryonten – hinsichtlich ihrer Genstruktur wesentlich komplexer als etwa Bakterien (Prokaryonten); z.B. bestehen Strukturgene aus codierenden (Exons) und nicht-codierenden (Introns) Abschnitten. Darüberhinaus sind vielseitigere Steuerungsmechanismen für die Genexpression vorhanden, "Schalter" und "Modulatoren", die ein Gen an- und abschalten und seine Ausprägung modifizieren können. Hier liegen höchstwahrscheinlich auch Ursachen für die Modifikation

von Merkmalsausprägungen durch Umwelteffekte (Licht, Temperatur, "Streß"). Diese hier nur angedeuteten Komplikationen stellen zunächst noch Schwierigkeiten oder Hindernisse für die Anwendung gentechnischer Techniken aus der Bakteriengenetik in der Eukaryontengenetik – und damit auch der Pflanzengenetik – dar. Es bleibt die Frage, wie bald solche Hindernisse überwunden werden können. Ferner bleibt abzuwarten, was Bio- und Gentechnik konkret für die Züchtung in den kommenden 10 bis 15 Jahren leisten kann; das ist etwa der Zeitraum, der heute noch vergeht, bis eine neue Sorte fertig ist. Es ist gezeigt worden, daß Zell- und Gewebekulturtechniken heute schon dazu beitragen, den Züchtungsgang schneller und effizienter zu gestalten. Der wesentliche Beitrag zell- und molekularbiologischer Forschung wird in Zukunft weniger darin liegen, definierte Gene in Pflanzen zu übertragen und damit deren Eigenschaften – wie Ertrag, Qualität, Resistenz – unmittelbar zu verbessern. Vielmehr wird sie m.E. kurz- und mittelfristig vor allem dazu beitragen, mehr über Genstruktur und Genexpression sowie deren Regulation zu verstehen. Ein besseres Verständnis der Molekulargenetik der Pflanzen wird dann vor allem Grundlage für die Entwicklung effizienterer Selektionsmethoden sein, mit deren Hilfe letztlich schneller und erfolgreicher gezüchtet werden kann. Schon heute ist das notwendige molekularbiologische Handwerkszeug verfügbar, um die großen DNS-Moleküle mit Hilfe von Restriktionsenzymen an definierten Stellen (bestimmt durch die Basensequenz) zu schneiden, d.h. in Bestandteile unterschiedlicher Größe zu zerlegen. Aufgrund der Muster, die man durch elektrophoretische Auftrennung der Fragmente und ihre molekulare Markierung bekommt, wird es u.a. ermöglicht, auf Leistungseigenschaften zu selektieren, sofern gesicherte Zusammenhänge zwischen definierten DNS-Sequenzen (Restriktions-Fragmenten) und den Leistungseigenschaften bestehen. Da hierin auch kurzfristig berechnete und große Hoffnungen für die pflanzenzüchterische Selektion liegen, findet die Erforschung von Restriktions-Fragment-Längen-Polymorphismen (RFLP) und ihrer Beziehungen zu agronomischen Merkmalen der Pflanzen derzeit besondere Beachtung (z.B. KNAPP 1989, STUBER 1989). Mittel- und längerfristig werden diese Arbeiten auch Gene als strukturelle DNS-Einheiten für gezielten Gentransfer verfügbar machen.



## Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend darf festgestellt werden, daß mit Hilfe bio- und molekulargenetischer Forschung neue Techniken und Methoden entwickelt wurden und auch weiterhin erwartet werden, die in die Pflanzenzüchtungsforschung und zunehmend auch in die praktische Züchtung Eingang finden und dort ihren festen Platz behalten werden. Die angesprochenen Möglichkeiten der Biotechnologie – wie z.B. Antheren- und Mikrosporenkultur, Protoplasten-Kultur und -Fusion sind bereits in der Züchtungsmethodik verschiedener Pflanzenarten etabliert (Tabelle 3).

**Tabelle 3:** *Perspektiven von Zell- und Molekulargenetik im Vergleich mit der konventionellen Pflanzenzüchtung*

Pflanzenzüchtung	Zellbiologie	Molekulargenetik
1 Schaffung bzw. Erschließung von Variation	2 Gewebekultur-Techniken in vitro	3 Identifizierung der Gene als DNA-Sequenzen
1 Selektion über ein Reihe von Generationen	2 Zellkulturen (Mikrosporen, Protoplasten)	1 Vektor-Konstruktion für den Gentransfer
1 Erstellung von Sorten (Klone, Linien, Hybride)	2 Regeneration von intakten Pflanzen	4 Regulation der Gen(DNA)-Aktivität

1 = verfügbar, 2 = prinzipiell vorhanden, aber z.T. erhebliche Art- und Genotyp-Effekte, 3 = Anfänge vorhanden, jedoch noch keine wirtschaftlich relevanten Gene, 4 = im wesentlichen unbekannt, evtl. längerfristig lösbar.

Die Molekulargenetik wird voraussichtlich qualitativ und quantitativ eine weit darüber hinausgehende Bedeutung erlangen, zunächst wenigstens bei bestimmten Pflanzenarten und für bestimmte Ziele – wie etwa Virusresistenz (vgl. BAULCOMBE 1989). Kurzfristig besteht ihr

wesentlichster Nutzen in einem besseren Verständnis der Struktur (und Wirkungsweise) der Gene als Grundlage für die Entwicklung von Selektionsmethoden mit Hilfe biochemischer und molekulargenetischer Marker. Damit wird es indes erforderlich werden, daß auch praktische Züchter Molekularbiologie verstehen, um sie anzuwenden zu wissen. Damit kann schließlich aber auch sichergestellt werden, daß zell- und molekulargenetische Methoden *sinnvoll* in bewährte, "konventionelle" Züchtungsmethodik integriert werden.

## Literatur

- BAULCOMBE, D.C., 1989. Genetic engineering of virus resistance in plants. In: Science for Plant Breeding, Proc. XII. EUCARPIA Congr., Göttingen 1989. Vortr. Pflanzenzüchtg. 16, 243–252.
- FRIEDT, W., 1988. Biotechnology in breeding of industrial oil crops – the present status and future prospects. *Fat Sci. Technol.* 90, 51–55.
- FRIEDT, W., J. BREUN, S. ZÜCHNER und B. FEROUGHI-WEHR, 1986. Comparative value of androgenetic doubled haploid and conventionally selected spring barley lines. *Plant Breeding* 97, 56–63.
- KNAPP, S.J., 1989. Quasi-mendelian analysis of quantitative traits using molecular marker linkage maps – an overview of parameter estimation methods. In: Science for Plant Breeding, Proc. XII. EUCARPIA Congr., Göttingen 1989. Vortr. Pflanzenzüchtg. 16, 51–67.
- NASRALLAH, M.E., 1989. Molecular approaches to breeding hybrid *Brassica* crops. In: Science for Plant Breeding, Proc. XII. EUCARPIA Congr., Göttingen 1989. Vortr. Pflanzenzüchtg. 16, 391–396.
- RÖBBELEN, G., A. SPANIER und K. SPANIER, 1989. Genetic manipulation in crop improvement. In: Science for Plant Breeding, Proc. XII. EUCARPIA Congr., Göttingen 1989. Vortr. Pflanzenzüchtg. 16, 411–422.
- STUBER, C.W., 1989. Marker-based selection for quantitative traits. In: Science for Plant Breeding, Proc. XII. EUCARPIA Congr., Göttingen 1989. Vortr. Pflanzenzüchtg. 16, 31–49.
- WENZEL, G., B. FEROUGHI-WEHR, W. FRIEDT, F. KÖHLER und TH. OO, 1984. Cell and tissue culture as supplementary tool in plant breeding: exemplified in potato, rape seed and barley. *Hereditas Suppl.* 3, 15–25.
- WILLMITZER, L., A. BASNER, W.-B. FROMMER, R. HÖFGEN, M. KÖSTER, X.-Y. LIU, C. MIELCHEN, S. PRAT, C. RECKNAGEL,

M. ROCHA-SOSA, U. SONNEWALD, M. STRATMAN und G. VANCANNEYT, 1989. Expression of foreign genes in potato - promoters, RNA-stability and protein accumulation. In: Science for Plant Breeding, Proc. XII. EUCARPIA Congr., Göttingen 1989. Vortr. Pflanzzüchtg. 16, 423-439.