

Pflanzenzüchtung im Feld oder im Reagenzglas? : Klassische und biotechnische Methoden

Autor(en): **Schmid, J.E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg**

Band (Jahr): **79 (1990)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-308693>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Pflanzenzüchtung im Feld oder im Reagenzglas? Klassische und biotechnische Methoden

von J. E. SCHMID,
Institut für Pflanzenwissenschaften der ETH Zürich

1. Einleitung: Züchtung woher – wohin?

Literarische Werke aus alter Zeit sind Zeichen dafür, daß Veränderungen bzw. Verbesserungen von Pflanzen und deren Produkten schon immer im Zielfeld der menschlichen Kultur standen. Zitat von Varro (116–27 v. Chr.): «Vom größten und besten Getreide müssen die Ähren besonders für die Tenne ausgeschieden werden, damit man (daraus) bestes Saatgut erhält». Es ist erstaunlich, welche große Fortschritte bei der Inkulturierung von Wildformen unbewußterweise erzielt worden sind. Durch die bevorzugte Auswahl des Besten, Größten und Schönsten wurde der Schritt von der unbewußten Verbesserung der angebauten Pflanzenarten zur bewußten Einflußnahme vollzogen. Diese jahrhundertelange Verbesserung von Pflanzen kann als Pflanzenzüchtung aus Erfahrung bezeichnet werden. In manchen Schriften wird diese Art Pflanzenzüchtung als Kunsthandwerk charakterisiert, ist doch gerade in der Zierpflanzenzüchtung ein Feingefühl für Farbe und Form eine wichtige Voraussetzung für die Zuchtarbeit. In unserem Jahrhundert vollzog sich ein wichtiger Schritt, indem eine Kombination von Kunst und Naturwissenschaft die Arbeit der Züchter zu prägen begann. Seit der Wiederentdeckung der Vererbungslehre von G. Mendel im Jahre 1900 sind wesentliche Erkenntnisse der Genetik (Populations-, Cyto- und Molekulargenetik) erarbeitet worden. Damit ist ein Instrumentarium geschaffen worden, welches Möglichkeiten zur genauen Erfassung der Erbeigenschaften und deren gezielte Veränderung bzw. Übertragung auf Zielpflanzen bietet. Die Zielrichtung scheint damit abgesteckt zu sein, doch werden noch wesentliche Forschungsanstrengungen nötig sein, um eine sinnvolle Unterstützung der Züchtung und somit auch der Landwirtschaft leisten zu können. Mit dem Ausdruck «sinnvoll» soll denn auch zum Ausdruck gebracht werden, daß eine Überprüfung des «woher – wohin» und der geeigneten Methoden, Mittel und Ziele im Sinne einer umfassenden «Landwirtschaftsethik» von großer Bedeutung ist.

2. Zuchtziele

Die unbewußte wie auch die teilweise bewußte Züchtung hat grobe Zielrichtungen wie groß, schön und gut anvisiert. Daneben hat die Natur einen nicht zu unterschätzenden Einfluß durch klimatische Faktoren auf die Auswahl von bestimmten, örtlich gut angepaßten Pflanzenarten und Pflanzentypen ausgeübt. Mit Bezug auf die Entwicklungen in unserem Jahrhundert kann festgestellt werden, daß der Einfluß der Natur durch die starke Einflußnahme des Menschen verändert oder gar vermindert

worden ist. Die Bedürfnisse des Menschen haben sich geändert und mit ihm auch die Pflanzenbestände. Die moderne Entwicklung, das komplexe agrarpolitische und agrarwirtschaftliche Umfeld resultieren in einer enormen Dynamik und in einem gewaltigen Detaillierungsgrad der Zuchtzielsetzung. Es gehört zu den nicht leichten Aufgaben der Züchter, die Zuchtziele richtig zu erfassen und eine Zuchtstrategie aufzubauen, welche innert nützlicher Frist zu dem gewünschten Sortenspektrum führt. Dabei muß mit Zuchtzielergänzungen und Verschiebungen der Schwerpunkte gerechnet werden; eine Herausforderung und Aufgabenstellung, die vermehrt von interessierten Fachkreisen wahrgenommen bzw. mitgetragen werden sollte.

3. Zuchtmaterial

«Aus dem vollen schöpfen», ein Traum eines jeden Züchters, der nach Festlegung der Zuchtziele die Wahl der Elternlinien zu treffen hat. Die Erhaltung bzw. Schaffung einer genügend breiten Ausgangsvariation ist von großer Bedeutung. Wildformen, Landsorten, Mutanten sowie Kreuzungsnachkommenschaften von Zuchtsorten sind als Gen-Pool, als Reservoir von Eigenschaften, in vielen Genbanken und Züchtersammlungen weltweit verfügbar. Zurzeit genügt diese Variabilität für die meisten Zuchtprogramme. Die Erhaltung und Charakterisierung von solchen Genotypen sowie deren Aufarbeitung für die Züchtung ist eine wichtige Aufgabe, welche lange Zeit vernachlässigt worden ist. Biochemische und molekulargenetische Analyseverfahren bieten künftig Möglichkeiten zur Auffindung (Marker) einzelner Eigenschaften bzw. Gene in der Ausgangspopulation. Gelelektrophorese von Proteinkomplexen, Isoenzymbestimmung sowie RFLP (Restriktions-Fragment-Längen-Polymorphismen) und Gensonden sind moderne Instrumente, welche die Suche nach der «Stecknadel im Heuhaufen» erleichtern können. Der Einsatz dieser Techniken ist noch beschränkt, doch werden gewaltige Anstrengungen in der Forschung unternommen, um landwirtschaftlich interessante Eigenschaften früh und genau erkennen zu können. Falls diese «Frühdiagnose» mit vertretbarem Aufwand angewandt werden kann, wird der Züchter bei der Auswahl der Elternlinien viel gezielter vorgehen können und dabei in den nachfolgenden Selektionsarbeiten wesentlich entlastet werden.

Gehen wir davon aus, daß beispielsweise eine Resistenzeigenschaft in einer Weizen-Landsorte gefunden worden ist. Da Landsorten in der Regel Liniengemische mit einem geringen Anteil an Heterozygoten sind, muß der Züchter die gewünschte Linie herauselektieren. Diese aufwendige Arbeit kann durch den Einsatz einer *biotechnischen Methode (Antherenkultur)* wesentlich erleichtert werden. Durch die Kultur der unreifen Pollenkörner auf speziellen Nährmedien werden anstelle von reifen Pollen Embryonen erzeugt, welche zu haploiden Pflanzen (nur der einfache, haploide Chromosomensatz ist vorhanden) regeneriert und mittels Colchizin in einem Schritt (Zeitersparnis) wieder verdoppelt (=Doppelhaploide = DH) und normal fruchtbar gemacht werden können. Diese DH-Linien aus Landsorten helfen mit, die Landsorten zu charakterisieren und sie für den Züchter nutzbar zu machen, ohne daß die ursprüngliche Vielfalt eingeschränkt worden ist. Damit stehen reinerbige (homozygote) Ausgangslinien zur Verfügung, welche in Kreuzungsprogrammen eingesetzt werden können.

ten. Falls die Gentechnologie in der Lage wäre, die gewünschten Gene zu isolieren und direkt auf die zu verbessernden Sorten zu übertragen, wäre ein noch effizienteres System verfügbar.

Zum Zuchtmaterial gehört auch die Erzeugung bzw. die Sammlung von Mutanten, welche für gewisse Eigenschaften wie Frühreife, Halmlänge, Knolleneigenschaften etc. einen interessanten Ausgangspool darstellen. In jüngster Zeit sind sogenannte «weite Kreuzungen» zwischen relativ weit verwandten Pflanzenarten wieder aktuell geworden. Kreuzungen zwischen Abstammungs- oder Wildformen mit Zuchtsorten sollen die Übertragung von interessanten Eigenschaften ermöglichen. Vielfach sind solche Kreuzungen erfolglos, da die Befruchtung wohl möglich ist, die Entwicklung vom Embryo zum Korn jedoch gestört wird. Werden die kleinen Embryonen jedoch auf einem spezifischen Nährmedium kultiviert (Embryokultur), ist es möglich, solche Kreuzungen zu retten und interessante Neukombinationen und damit wichtiges Zuchtmaterial zu erzeugen.

In aktuellen Zuchtprogrammen liegen die Schwerpunkte nach wie vor auf der Verwendung von Zuchtsorten als Ausgangsmaterial für neue Kreuzungsprogramme, da die gewünschte Variabilität vorhanden ist und das Niveau betreffend Ertrag, Qualität und Resistenzen in Kombination am höchsten ist.

4. Zuchtverfahren

Ausgehend von den Methoden der Auslesezüchtung über die Kreuzungs-, Hybrid- und Mutationszüchtung bis hin zu den kombinierten Zuchtverfahren einschließlich bio- und gentechnologischer Methoden hat sich in relativ kurzer Zeit ein außerordentlich großer züchterischer Wandel vollzogen. Auf der Basis der Zuchtzielsetzung sind botanische und genetische Voraussetzungen der zu bearbeitenden Kulturpflanzen nach wie vor ausschlaggebend für die Wahl des Zuchtverfahrens:

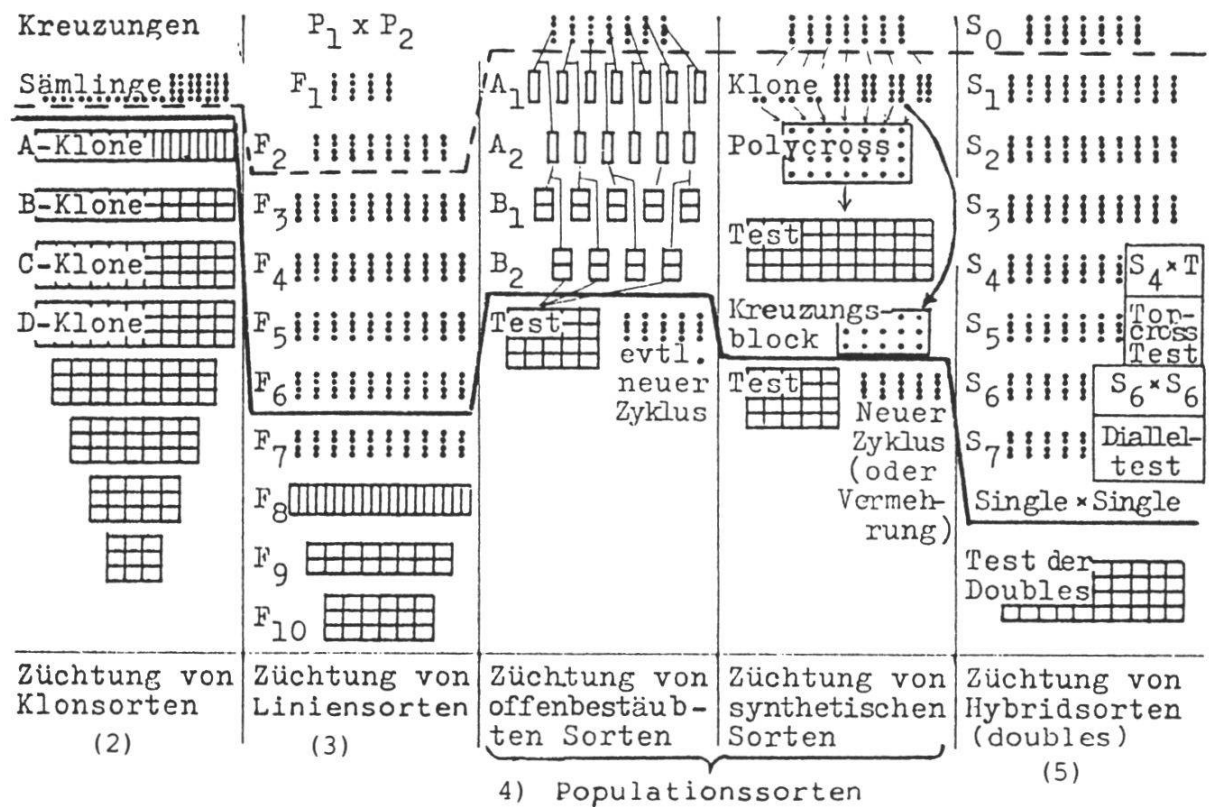
- sommer- oder winteranuell, zwei- oder mehrjährig,
- Selbst- oder Fremdbefruchter,
- vegetativ oder generativ vermehrbar,
- Nutzung der Zielorgane vor oder nach der Blüte,
- Chromosomenzahl,
- Polyploidiegrad (Genomkonfiguration).

Die *Zuchtmethode* ist als *wichtiger Faktor des Züchterfolges* zu gewichten (Fig. 1). In der klassischen Kreuzungszüchtung werden für die folgenden Sortentypen verschiedene Zuchtmethoden angewandt: *Klonsorten*, *Liniensorten*, *Populationsorten* und *Hybridsorten*.

Die dargestellten Zuchtmethoden lassen sich in drei Phasen einteilen: 1. *Phase der Herstellung der Ausgangsvariation*; 2. *Phase der Bildung der Sorteneltern*; 3. *Phase der Prüfung der Experimentalsorten*. Bei der *Klonsortenzüchtung* (z. B. Kartoffeln) fällt auf, daß mit der Kreuzung und der Sämlingsanzucht die ersten beiden Phasen in kürzester Zeit durchlaufen werden. Da mit der Möglichkeit der vegetativen Vermehrung (Klonierung) die Erbanlage konstant weitergegeben wird, liegt die Hauptaufgabe in der Prüfung der erzeugten Klone. Viel ausgewogener erscheint das Verfahren der

Züchtung von Liniensorten (z. B. Weizen), indem die zeitlichen Aufwendungen für jede der drei Phasen etwa gleich ist. Je nach Zuchtprogramm und Zuchtmaterial können Abweichungen entstehen, indem die gezielte Selektion ab der F_2 (Stammbaumzüchtung) oder erst relativ spät durchgeführt wird (Ramschzüchtung). Die Rückkreuzungszüchtung ist eine weitere Möglichkeit, um Eigenschaften, welche nur auf wenigen Genen beruhen und phänotypisch gut erfaßbar sind, beispielsweise von einem Resistenzträger auf die Zielsorte zu übertragen. Die Züchtung von Liniensorten dauert in der Regel recht lange, weshalb biotechnische Methoden (z. B. Antherenkultur) eingesetzt werden, um eine Zeitersparnis zu erreichen.

Die Erzeugung der Ausgangsvariation ist bei Fremdbefruchtern relativ schnell hergestellt, weshalb bei der Züchtung von Populationssorten (z. B. Roggen) der Hauptaufwand für die Bildung der Sorteneltern bzw. für Testkreuzungen (synthetische Sorten, z. B. Gräser) geleistet werden muß. Die Arbeit mit Fremdbefruchtern ist im Zuchtgarten erschwert und bedarf umfassender Schutzmaßnahmen (Isolationsstreifen, Käfige mit Netzen) gegen ungewollte Fremdbestäubung. Da Populationssorten genetisch recht komplex zusammengesetzt sind, ist die Prüfung der Sorten und deren genaue Beschreibung erschwert.



- 6) Einteilung der Züchtmethoden in Phasen :
- 7) Phase der Herstellung der Ausgangsvariation
 - 8) Phase der Bildung der Sorteneltern
 - 9) Phase der Prüfung der Experimentalsorten

Fig. 1: Die Züchtungsmethode als Faktor des Züchterfolges. Nach SCHNELL, F. W.: Angewandte Genetik und Pflanzenzüchtung. Vorlesung Univ. Hohenheim 1983.

Die *Hybridzüchtung* (z. B. Mais) ist im Gegensatz zu allen andern Zuchtmethoden durch die dominierende Phase der Bildung der Sorteneltern gekennzeichnet. Nach der Wahl der Gen-Pools werden in jahrelanger Arbeit Inzuchtlinien hergestellt und die Prüfung auf ihre allgemeine und spezifische Kombinationsfähigkeit vorgenommen. Nach der Wahl der geeignetsten Partner muß je nach den fortpflanzungsbiologischen Gegebenheiten der Pollenakzeptor (Samenträger) mechanisch, genetisch (cytoplasmatische und/oder genische männliche Sterilität) oder chemisch (Gametozide) vor der Befruchtung mit dem eigenen Pollen geschützt werden. Der Pollendonator soll genügend (Anzahl und Qualität) Pollen bilden können. Die Entwicklung der beiden Partner muß genau aufeinander abgestimmt werden, damit eine optimale Befruchtung möglich ist. Diese Probleme überschneiden sich schon sehr stark mit der eigentlichen Saatgutproduktion, müssen jedoch in der Zuchtmethode frühzeitig mitberücksichtigt werden. Bei Einsatz von cytoplasmatischer männlicher Sterilität ist auf gefährliche bzw. erschwerende Kopplungen, beispielsweise mit Krankheitsanfälligkeit (Mais: *Helmithosporium maydis*; Roggen: Mutterkorn, Farbtrieurreinigung nötig) zu achten.

Die Methoden der *Mutationszüchtung* beschränken sich auf gewisse Pflanzenarten und Anwendungsziele. Neue Anwendungsperspektiven sind durch die Kombination von Mutationsinduktion und Zellkulturen im Reagenzglas gegeben. Damit kann eine riesige Zahl von Zellen auf kleinem Raum dem Mutationsdruck (z. B. chemische Mutagenzien) ausgesetzt und nach einer in vitro-Selektion zu positiv mutierten Pflanzen regeneriert werden. Diese neue Zuchtmethodik steht noch am Anfang; überzeugende Resultate liegen noch nicht vor.

Aus den obigen Beschreibungen der Zuchtmethodik wird klar, daß von der *Biotechnologie* (inkl. *Gentechnologie*) vor allem erwartet wird, daß sie schneller, gezielter und mit größerer genetischer Basis zur Realisierung der Zuchtziele beiträgt. Ähnlich wie bei der Wahl des Zuchtverfahrens aufgrund der botanischen Voraussetzungen wird für den Züchter, welcher biotechnische Verfahren einsetzen will, ein zusätzlicher Fragenkatalog aufgestellt werden müssen:

- Welche Zell- und Gewebekulturmethoden sind anwendbar?
- Welche Gene (Kern und Cytoplasma) sind bekannt (Genkartierung)?
- Sind genetische Marker vorhanden (RFLP etc.)?
- Gentransfer ins und Genexpression im Zielorgan möglich? (Optimale Promotoren verfügbar?)
- Interaktionen des Fremdgens mit vorhandenen Genen?

Dieser Katalog kann und wird beliebig zu ergänzen und vor allem mit der botanischen «Checkliste» zu kombinieren sein.

In den drei wichtigen Stufen der Züchtung (*Variation, Selektion, Propagation*) sind folgende Einsatzmöglichkeiten der Biotechnologie denkbar bzw. in Anwendung:

Zur *Erhaltung bzw. Schaffung von Variabilität* könnte, wie oben erwähnt, die *in vitro-Mutationsinduktion* eingesetzt werden. Durch die Induktion der somaklonalen Variation (ausgehend von Zellen, Geweben etc.) können *Somaklone* erzeugt werden, welche sich von der Spenderpflanze unterscheiden. Schon gut eingeführte Methoden sind die *Embryokultur* für die Realisierung von weiten Kreuzungen sowie die *Induktion von Haploiden* (Androgenese, Gynogenese) zur schnellen Fixierung von Eigen-

schaftskombinationen. Mit Hilfe der *Protoplastenfusion* (Protoplast = Zelle ohne Zellwand) sind Möglichkeiten zur Kombination von ganzen Genomen gegeben; problematisch bleibt die Realisierbarkeit (Regenerationsfähigkeit) und genetische Komplexität solcher Individuen, da auch viele unerwünschte Kombinationen auftreten können. Spezifischere Einsatzmöglichkeiten der Protoplastenfusion sind die Neukombinationen von Erbinheiten aus dem Cytoplasma (z. B. cytoplasmatisch männliche Sterilität) mit einem anderen Kerngenom.

Für die gezielte Schaffung von Variabilität kann vermehrt der *Gentransfer* eingesetzt werden. Viele Voraussetzungen müssen stimmen, um diese komplizierte Technologie nutzbringend anwenden zu können. Angefangen mit dem Auffinden (Marker), der Charakterisierung und Isolierung eines Gens folgt die Herstellung eines Genkonstruktes mit entsprechenden Einheiten (Promotoren etc.), welche die Aufnahme des Fremdgenes und die Expression und Regulation im Zielorgan der Pflanze gewährleisten sollen. Die Methoden der Genübertragung werden gegenwärtig intensiv erforscht und entwickelt; es bestehen Möglichkeiten mit Vektorsystemen (*Agrobacterium tumefaciens* etc.) oder mit direkteren Übertragungsmethoden (Baden in Genlösung; Mikroinjektion; Genpistole).

Im Bereich der *Selektion* kann die *Erzeugung von Doppelhaploiden* (z. B. Anthenkultur) durch die Homozygotierung in einem Schritt die Auswahl der Zielpflanzen wesentlich erleichtern. Rezessive Gene können an den doppelhaploiden Pflanzen direkt erkannt und damit die Selektionsmöglichkeiten verbessert werden. Durch die im Zuchtablauf sehr früh erreichte Homozygotie wird die Beurteilung der Parzellen (z. B. Bonitierung der Krankheitsresistenzen) vereinfacht.

Durch den Einsatz von Zell-Suspensionskulturen und der Möglichkeit zur Regeneration von Pflanzen aus einer Einzelzelle sind bei gewissen Kulturpflanzen Möglichkeiten zur *in vitro-Selektion* gegeben. Unter Einwirkung von Faktoren wie Temperatur, Licht, Dunkel oder durch Beigabe von Toxinen (aus Pilzen), Salz, Schwermetallen etc. kann ein *in vitro*-Selektionsdruck erzeugt werden, der zu resistenten Regeneraten führen kann. Die Kenntnisse über die physiologischen Reaktionsweisen auf der Ebene der Zellen, der Gewebe und der Ganzpflanze sind vielfach mangelhaft, weshalb viele Experimente nicht die gewünschten Ergebnisse lieferten. Resistenzverhalten gegen bestimmte Toxine können wohl bei gewissen Zellen festgestellt werden, doch ist es ohne weiteres möglich, daß die Pflanze wieder die ursprüngliche Anfälligkeit zeigt.

Im letzten der drei Schritte, der *Propagation oder Vermehrung*, wird das riesige Potential an regenerationsfähigen Zellen oder Geweben genutzt. Über *Meristemkultur* kann nebst dem Vermehrungsschritt gleichzeitig eine Virusbefreiung realisiert werden. Viele Teile einer Pflanze (Stengelteile, Blätter, Achselknospen, div. Bildungsgewebe, unreife Körner etc.) eignen sich für die *in vitro*-Vermehrung. Dabei kann eine Kallusphase eingeschaltet oder eine direkte Embryobildung aus normalem Gewebe (somatische Embryonen) induziert werden. Grundsätzlich wäre es möglich, aus allen Zellen wieder ganze Pflanzen zu regenerieren, was auf das enorme Potential solcher Methoden für die Vermehrung hinweist.

In der Praxis der Biotechnologie ist man jedoch noch weit weg von der Realisierung der theoretischen Möglichkeiten. Jede Kulturart hat ihre eigenen Ansprüche, und letztlich muß jeder Genotyp besonders behandelt oder mit entsprechenden Methoden

bearbeitet werden. Damit ist die Faszination und zugleich Spannung der Forschung im Bereich Biotechnologie aufgezeigt, indem Wunsch und Wirklichkeit nicht sehr leicht zusammenzubringen sind. Wichtig scheint mir zu erwähnen, daß mit jedem Eingriff ins Erbgut von Lebewesen die Frage nach dem Sinn und nicht nur nach der Machbarkeit gestellt werden muß, damit die Verantwortung gegenüber der Schöpfung im richtigen Sinn wahrgenommen werden kann.

5. Zusammenfassung – Résumé – Summary

Zusammenfassung

Die Natur hat eine große pflanzliche Vielfalt geschaffen und Pflanzen mit spezifischen Eigenschaften an die entsprechenden Standorte angepaßt (natürliche Selektion). Der Mensch hat unbewußt und später auch bewußt Pflanzen ausgewählt, welche seinen Bedürfnissen (Zuchtziele) entsprochen haben. Die planmäßige Veränderung der Erbanlagen wurde hauptsächlich durch die Kreuzung und Selektion zu erreichen versucht. Je nach Pflanzenart kommen ganz unterschiedliche Zuchtverfahren zur Anwendung, welche zum Teil sehr zeitaufwendig und arbeitsintensiv sind. In der modernen Züchtungsforschung wird nun versucht, Methoden zu entwickeln, die es erlauben sollen, die Zuchtziele gezielter und schneller erreichen zu können. Die gewünschten Eigenschaften sollten schon bei den Kreuzungseltern eindeutig identifiziert werden können (molekulare Marker, Genkartierung, Gensonden). Moderne Züchtung könnte sich vermehrt auf der Zellebene und vor allem auf der Ebene der Erbsubstanz (DNS, Gene) abspielen. Die Kreuzung von Pflanzen könnte durch die direkte Neukombination von Genen im Zellkern und den Cytoplasmaeinheiten ergänzt werden. Dieses molekulare «Kunsthandwerk» (Gentechnologie) verfügt noch lange nicht über alle nötigen Werkzeuge und Kenntnisse. Ausgehend von der genetisch gezielt veränderten Zelle ist es bei immer mehr landwirtschaftlichen Nutzpflanzen möglich, durch biotechnische Methoden ganze Pflanzen zu regenerieren. Diese Pflanzen müßten vermehrt und wie bis anhin mehrjährige Feld- und Labortests durchlaufen, um als Sorten in die Praxis Eingang finden zu können. Zusätzliche Auflagen betreffend Prüfung gentechnisch veränderter Pflanzen sind in Diskussion. Die Zukunft wird zeigen, in welchem Umfang biotechnische Verfahren in der Züchtung eingesetzt werden können und sollen.

Résumé

La nature a créé une grande diversité de végétaux et adapté leurs caractères spécifiques aux milieux correspondants (sélection naturelle). L'homme a sélectionné, inconsciemment puis consciemment, des plantes qui correspondent à ses besoins (à ses buts de sélection). La modification planifiée des caractères a principalement été approchée par croisement et sélection. Selon les espèces végétales, on utilise des méthodes de sélection très différentes, souvent très exigeantes en temps et en travail. La recherche en amélioration des plantes essaie maintenant de développer des métho-

des qui permettent d'atteindre plus directement et plus vite les buts de sélection. Les caractères désirés devraient déjà pouvoir être clairement identifiés sur les parents d'un croisement (marqueurs moléculaires, cartographie génétique, sondes génétiques). L'amélioration des plantes modernes pourrait se jouer davantage au niveau de la cellule et surtout de son patrimoine génétique (ADN, gènes). Le croisement de végétaux pourrait se faire par la combinaison directe de gènes du noyau puis addition des éléments cytoplasmiques. Cet «artisanat» génétique (génie génétique) ne dispose encore de loin pas de tous les outils et de toutes les connaissances nécessaires. Partant de cellules génétiquement transformées, il est, chez un nombre toujours croissant d'espèces agricoles, possible de régénérer biotechniquement des plantes entières. Ces plantes devraient, comme c'est le cas jusqu'ici, encore subir des essais de plusieurs années en champ et en laboratoire avant de pouvoir devenir des variétés cultivées. Des exigences supplémentaires sont en discussion quant à l'examen de plantes génétiquement transformées. L'avenir montrera dans quelle mesure la biotechnologie peut et doit être intégrée dans l'amélioration des plantes.

Summary

Nature has created a large variety of plants possessing characteristics which render them adaptable to their different locations (natural selection). At first, man selected plants randomly and later with an awareness of his special needs (breeding goals). The desired changes in the genome were achieved mainly by crossing and selection. According to the species, different breeding methods are applied, some of which are rather time-consuming and require intensive work. Modern breeding research is trying to find methods which are more efficient and rapid. Desired properties should be identified clearly (molecular markers, gene mapping, gene probes) in the crossing partners. Modern breeding could already occur in the cell and especially at the DNA level. Additionally, conventional breeding by crossing could be supplemented by new combinations of genes in the nucleus and the cytoplasmic organelles. This kind of molecular «handicraft» (gene technology) does not yet possess all the necessary knowledge and experience. The regeneration of genetically transformed plants is now possible with a restricted number of agriculturally important crops. Such plants have to be propagated and tested for several years in the laboratory and under field conditions before being placed on the seed market. Plants which are transformed by means of gene technology should undergo a variety of tests which are still under discussion. The future will show to what extent biotechnology could and should be introduced into breeding programmes.