

Bio- und gentechnische Pflanzenzüchtung – Hemmnisse, Grenzen und Perspektiven

Professor Dr. Wolfgang Friedt
Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung, Justus-Liebig-Universität, Gießen

Pflanzenzüchtung und Biotechnologie

Generelles Ziel der Pflanzenzüchtung ist die Verbesserung der wesentlichen Merkmale von Nutzpflanzen, die Menge und Qualität der genutzten Pflanzenteile oder Organe bestimmen. Für die Expression solcher Merkmale sind jeweils wenige bis viele Erbanlagen (Gene) verantwortlich, deren Neukombination aufgrund genetischer Rekombination zu fortwährenden Leistungssteigerungen bei allen Nutzpflanzenarten geführt hat. Pflanzenzüchtung ist also letztlich stets eine Manipulation von Genen. Lediglich die Techniken und Methoden sind fortwährendem Wandel, dem technischen Fortschritt entsprechend, unterworfen. War Pflanzenzüchtung seit Jahrtausenden lediglich empirische, auf den Phänotyp (Erscheinungsbild) gerichtete »Kunst« der mehr oder weniger bewußten Auswahl der besten, d. h. leistungsfähigsten, tolerantesten, resistentesten, brauchbarsten Individuen, so wurde sie im 18. und 19. Jahrhundert aufgrund des einsetzenden biologisch-genetischen Erkenntnisfortschrittes zu einer professionellen Technik entwickelt. Das Erkennen natürlicher Selektionsvorgänge (DARWIN) und die Entdeckung der grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der Vererbung (MENDEL) schafften die Voraussetzungen für eine

mehr oder weniger bewußte pflanzenzüchterische Manipulation von Genen. Im 20. Jahrhundert wurde mit der Einführung biometrischer (GALTON) und quantitativ-genetischer Methoden eine weitere wichtige Voraussetzung dafür geschaffen, pflanzenzüchterisches Handeln kontrollierbarer zu gestalten (SIMMONDS, 1984). Damit wurde es erst möglich, die erblich bedingte (genotypische) Variation formal zu ermitteln und damit die wahre erbliche Leistungsfähigkeit (den »Zuchtwert«) aus der phänotypischen Leistung zu schätzen.

Die stoffliche Grundlage der Vererbung, die Gene als DNA-Sequenzen, kannte man damit zunächst noch nicht. Ihre Erfassung wurde erst in jüngerer und jüngster Zeit durch die Aufklärung molekularer Grundlagen der Vererbung, die Hand in Hand ging mit der Entwicklung raffinierter molekularbiologischer Techniken, ermöglicht. Damit wurde die Manipulation von Genen erstmalig im heutigen Sinne, als kontrollierte Identifikation, Isolierung, evtl. Veränderung, Multiplikation, Übertragung und Integration sowie anschließende Expression von DNA-Sequenzen in einem fremden genetischen »Hintergrund« realisierbar. Diese heute viel diskutierte, moderne »Gentechnik« kann als ein Teilbereich der »Biotechnologie« aufgefaßt werden; letzterer Begriff umfaßt dabei alle Arten biologischer Techniken und Methoden. In der pflanzenzüchterischen

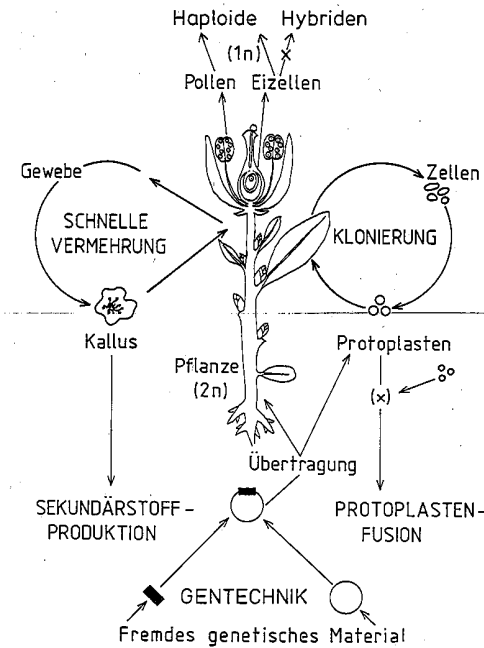
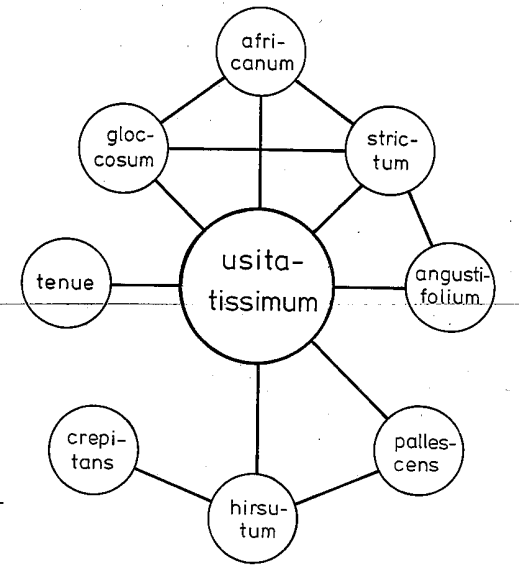


Abb. 1: Übersicht Bio- und Gentechnologie (nach WENZEL, 1983).

Forschung hat sich parallel zur Gentechnologie auf einem verwandten Gebiet eine erfolgversprechende Entwicklung vollzogen, nämlich eine praxisorientierte Weiterentwicklung von Zell- und Gewebekulturtechniken. Zusammenfassend lassen sich heute folgende für die Pflanzenzüchtung relevante Bio-Techniken unterscheiden (vgl. Abb. 1):

1. Somatische Gewebe- oder Zellkultur zur schnellen Vermehrung über die Regeneration von Pflanzen aus Meristemen oder über Kallus, z. B. bei der Kartoffel (WENZEL et al., 1985).
2. Antheren- oder Mikrosporenkultur zur Regeneration haploider Pflanzen, z. B. bei Kartoffel und Raps oder Gerste (WENZEL et al., 1985).



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

Abb. 2: Kreuzbarkeit von *Linum*-Arten (FRIEDT und KRÄUTER, 1987).

3. Embryonenkultur zur Erzeugung haploider Pflanzen aus weiten Kreuzungen, z. B. mit *Hordeum bulbosum* (»Bulbosum-Methode«) bei der Gerste (vgl. SNAPE et al., 1986).
4. Kultur von Hybrid-Embryonen aus »weiten« Kreuzungen mit verwandten Arten, z. B. in der Familie der *Poaceae* = Gramineen (*Triticum* × *Secale* = *Triticale*) und in den Gattungen *Brassica*, *Linum* (Abb. 2) und *Helianthus* (Abb. 3, 4).
5. Protoplasten-Kultur und Regeneration für die Herstellung »asexueller« Art- oder Gattungsbastarde, oder die gezielte Übertragung fremden genetischen Materials (»Gentechnik«), bisher v. a. in den Familien *Solanaceae* (Tabak, Kartoffel) und *Brassicaceae* = Kreuziferen (GLIMELIUS et al., 1986).

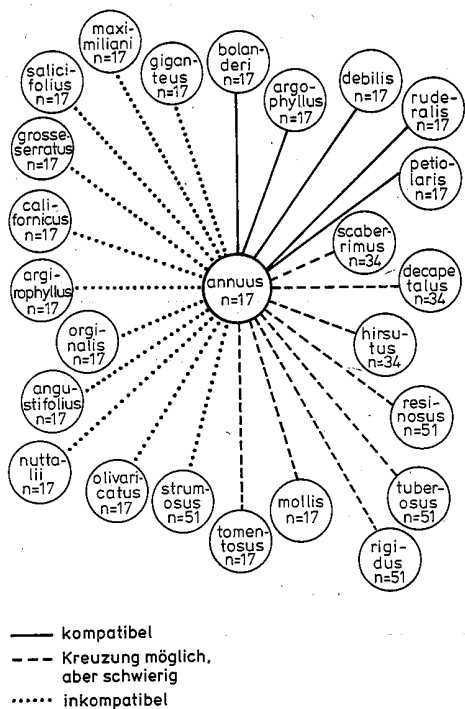


Abb. 3: Kreuzbarkeit und Inkompatibilität bei *Helianthus*-Arten (FRIEDT und KRÄUTER, 1987).

6. Anwendung der Gentechnik mit Hilfe bestimmter Vektorsysteme (z. B. *Agrobacterium tumefaciens*), bisher praktisch, ausschließlich bei dikotyledonen Pflanzen (*Solanaceae*, *Brassicaceae*).

Züchterischer Wert von Bio-Techniken

Die beschriebenen Biotechniken können zweifellos neue Möglichkeiten für die Züchtungsforschung eröffnen – im Sinne einer Weiterentwicklung der klassischen Zuchtmethoden.

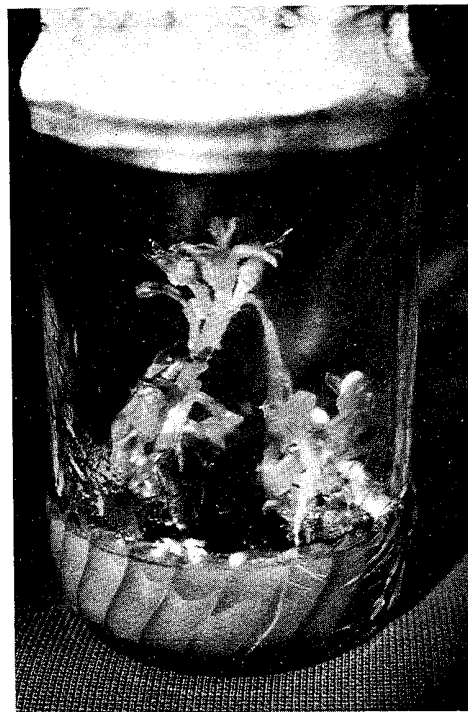


Abb. 4: *In vitro* Regeneration der Sonnenblume (FRIEDT und KRÄUTER, 1987).

Der Einsatz von Zell-/Gewebekultur-Techniken in der Pflanzenzüchtung wird daher zunehmend propagiert und teilweise auch schon praktiziert, bleibt aber noch immer durch genotypisch bedingte, unterschiedliche Sorten-Reaktionen eingeschränkt. Aufgrund zahlreicher Untersuchungsergebnisse scheint »Gewebekulturtauglichkeit« jedoch eine zwar komplexe, aber immerhin heritable (erbliche) Eigenschaft zu sein (z. B. FOROUGH-WEHR und FRIEDT, 1984). Deshalb sollten Zuchtfortschritte hinsichtlich dieses Merkmals in Kombination mit agronomischen Leistungseigenschaften möglich sein. Tatsächlich haben verschiedene Untersuchungen bei Gerste und z. T.

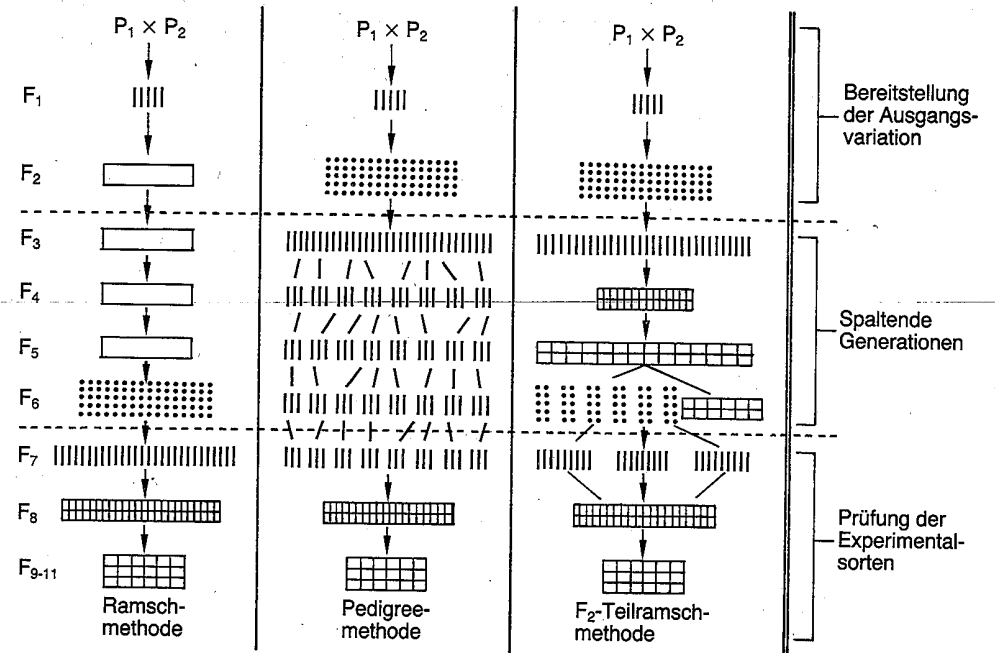


Abb. 5: Vergleich von Zuchtschemata bei Selbstbefruchtern (nach SCHNELL, 1985).

auch bei Weizen und Roggen gezeigt, daß hochleistungsfähige Sorten, wie die Wintergerste »Igri«, bereits eine sehr gute androgenetische (Antherenkultur-)Eignung aufweisen (FOROUGH-WEHR und FRIEDT, 1984). Doppelhaploide Linien aus Kreuzungen solcher Sorten können durchaus mit konventionell selektierten Stämmen konkurrenzfähig sein (FRIEDT und FOROUGH-WEHR, 1986).

Jüngste Fortschritte in Kultur und Regeneration von isolierten Mikrosporen bei Gramineen (z. B. Weizen, DATTA und WENZEL, 1987) könnten in Zukunft die Möglichkeit eröffnen, im Ein-Zell-Stadium eine *in vitro*-Selektion – z. B. auf Krankheitsresistenz – durchzuführen (BOLIK et al., 1986).

Solche Techniken können daher dazu beitragen, die Züchtung in jungen Generationen zu

beschleunigen und zu vereinfachen – z. B. durch Integration von Haploidie-Schritten (s. o.). Abgekürzt wird dabei jedoch bestenfalls die Phase der Selektion (Abb. 5, SCHNELL, 1985). Nicht verkürzt werden kann dagegen die Prüfungs-Phase der Sortenkandidaten; sie muß im Gegenteil möglicherweise noch intensiviert werden. Damit besteht nach wie vor ein wesentlicher Aufwand an Zeit und Kapazität in der wiederholten Testung der selektierten Linien an möglichst vielen verschiedenen Standorten in möglichst vielen Jahren, was stets einen wesentlichen Teil des Zuchtanges in Anspruch nimmt.

Kurzfristig bleiben die Anwendungsmöglichkeiten solcher genetischer Manipulationen ohnehin im wesentlichen auf die »klassischen« Objekte, d. h. vor allem *Solanaceae* (z. B. Tabak,

Kartoffel, Tomate) und *Brassicaceae* (z. B. Raps) beschränkt; unter den führenden Weltwirtschaftspflanzen (Tab. 1) ist also lediglich die Kartoffel einer »biotechnischen Züchtung« heute schon zugänglich. Selbst bei diesen sogenannten »in vitro Kultur-tauglichen« Pflanzen ist jedoch das Problem der genotypisch bedingten, unterschiedlichen in vitro-Reaktion verschiedener Sorten (Genotypen) wohl nach wie vor für die züchterische Praxis noch nicht voll zufriedenstellend gelöst.

Stand und Chancen der Gentechnik

Als aussichtsreichste Systeme für die Anwendung der Gentechnik, d. h. die direkte Übertragung fremder genetischer Information (DNA), bei Nutzpflanzenarten kommen heute wohl in erster Linie drei Vektoren (Übertragungssysteme) in Betracht (vgl. Beitrag STEINBISS):

1. T-DNA (Ti-Plasmid) von *Agrobacterium tumefaciens* (vgl. u. a. HERRERA-ESTRELLA et al., 1984),
 2. DNA pflanzlicher Viren (v. a. Cauliflower Mosaic Virus, CaMV, und Gemini-Viren),
 3. transponierbare DNA-Sequenzen (Transposone oder Kontrollelemente).
- Es gibt noch immer grundlegende Probleme,

welche die Anwendungsmöglichkeiten von Biotechniken und damit auch der »Gentechnik« in der Züchtung wirtschaftlich wichtiger Nutzpflanzen, wie der Getreidearten, einschränken. Dazu gehört die nach wie vor nicht reproduzierbare Regeneration von intakten Pflanzen aus Protoplasten. Immerhin wurde in jüngerer Zeit wiederholt über die erfolgreiche Regeneration von Protoplasten beim Reis berichtet (z. B. ABDULLAH et al., 1986), so daß hier generell Fortschritte auch bei unseren einheimischen Getreidearten möglich sind. Damit könnte letztlich auch eine praktische Anwendung der Gentechnik, beispielsweise durch »vektorfreien« Transfer (POTRYKUS et al., 1985), realisierbar werden.

Für eine Transformation mit Hilfe von Agrobakterien schienen die Getreidearten zunächst nicht zugänglich zu sein, da sie wie fast alle Monokotyledonen (Ausnahme z. B. HOYKAAS-VAN SLOGTEREN et al., 1984) bisher nicht als Wirtspflanzen für *Agrobacterium tumefaciens* bekannt waren. Nun ist vor kurzem zwar eine Transformation von Mais (*Zea mays*) mit *A. tumefaciens* berichtet worden (GRAVES und GOLDMAN, 1986), die stabile Integration des Fremdgens in das Mais-Genom bleibt jedoch nachzuweisen. Eine praktische Anwendung der Gentechnik in der Züchtung unserer Getreidearten bleibt daher vorerst noch Wunschgedanke.

Tab. 1: Die wichtigsten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen der Erde (FAO Food Prod. Yearbook Vo. 39, 1986)

Pflanzenart	Welt-Anbaufläche		Weltproduktion	
	1979-81 Mio. ha	1985	1979-81 Mio. t	1985
Weizen	235	230	443	510
Reis	144	145	396	466
Mais	127	133	423	490
Gerste	81	79	158	178
Hirse	89	93	93	109
Soja	51	52	86	101
Kartoffel	21	20	291	299

Quantitativ-genetische Grenzen für den Einsatz der Gentechnik

Grenzen ganz anderer, grundsätzlicherer Natur sind der praktischen Anwendung der Gentechnik in der Pflanzenzüchtung wohl auch in Zukunft durch die quantitativ-genetische Struktur vieler züchterischer Zielmerkmale, wie Ertragshöhe und Ertragszusammensetzung, vorgegeben. Zweifellos ist die qualitative und quantitative Ausprägung vieler morphologischer und physiologischer Merkmale durch nachweisbare Haupt-Effekte einzelner Gene

bestimmt. Viele solche »Majorgene« sind mit Hilfe klassisch-genetischer Methoden den betreffenden Chromosomen zugeordnet und z. T. dort in ihrer genetischen Position relativ genau lokalisiert worden; so konnten recht umfangreiche und detaillierte Gen- oder Chromosomenkarten für Tomate, Mais oder Gerste (Abb. 6) zusammengestellt werden. Nur wenigen dieser Genloci kommt jedoch eine wesentliche Bedeutung für die agronomische Leistung der Pflanzen zu, wie es z. B. für die Gene, die die Reaktion gegen Krankheiten beeinflussen, zutrifft (z. B. Reg-Gene für Reaktion auf *Erysiphe graminis*). Die Mehrzahl der Gene ist lediglich

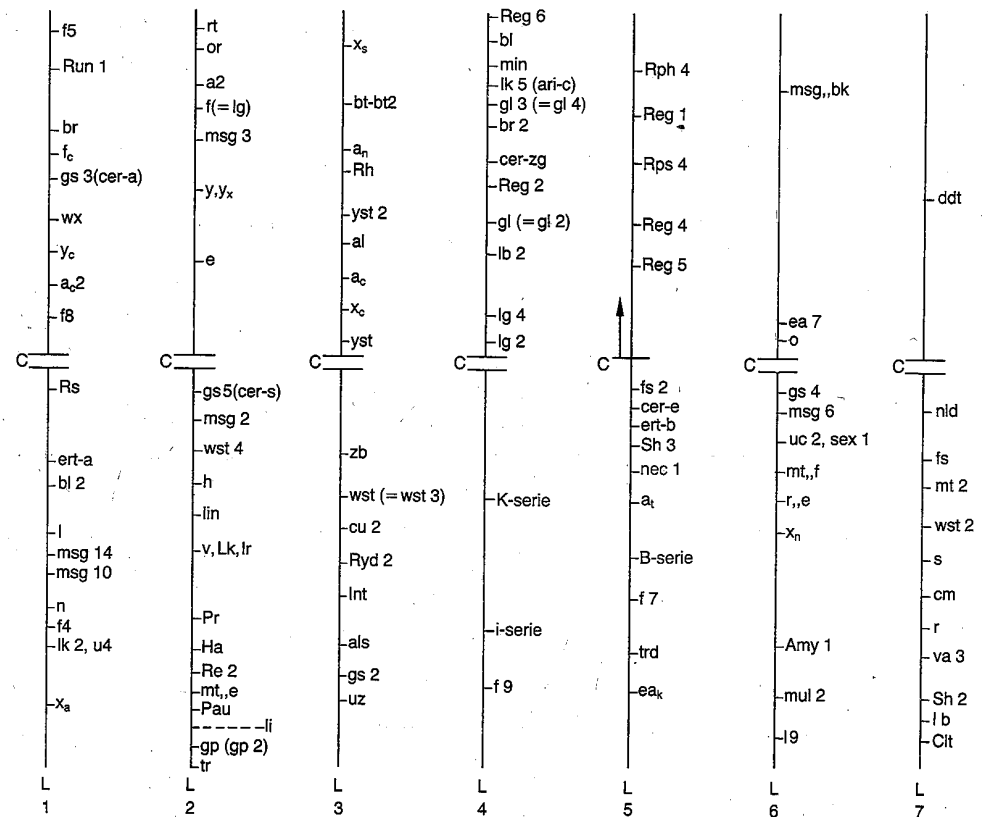


Abb. 6: »Genkarte« der Gerste (Tsuchiya, 1986).

pischen Wert, der selbst nach wiederholter Auslese auf den Phänotyp nur annähernd erreicht wird (Abb. 9).

Der genotypische Wert kann nur mit Hilfe quantitativ-genetischer Methoden aus mehrortigen und mehrjährigen Leistungsprüfungen geschätzt werden, und zwar mit zunehmender Zahl von Umwelten (Orte, Jahre) genauer. Das gilt für jedes quantitative Merkmal bei beliebigen Pflanzenarten und unabhängig davon, mit welcher Züchtungsmethode sie entwickelt worden sind. Für die Züchtung auf solche Merkmale läßt der Einsatz der Gentechnik auf absehbare Zeit keine entscheidenden Vorteile gegenüber konventionellen Zuchtmethoden erwarten.

Zusammenfassung und Perspektiven

Obwohl die Einführung molekularbiologischer Techniken in Form von "genetic engineering" in die pflanzenzüchterische Praxis seit geraumer Zeit propagiert wird und heute zunehmend mehr realisierbar erscheint, konnte dieser »Technologie-Transfer« aus den geschilderten Gründen noch nicht vollzogen werden.

Im wesentlichen wird der Einsatz von Bio- und Gentechniken in der Pflanzenzüchtung heute noch durch folgende technische Hindernisse gehemmt bzw. durch grundsätzliche Grenzen limitiert:

1. Mangelnde Regenerierbarkeit von Geweben, vor allem aber von Einzel-Zellen und Protoplasten bei Monokotyledonen, insbesondere bei *Poaceae* (inkl. Getreidearten);
2. Nicht-Infektiosität von Agrobakterien bei Poaceen (»Gräsern«);
3. polygenische Natur vieler Leistungseigenschaften;

4. Erfordernis der Prüfung in mehreren Umwelten, d.h. Jahren und Lokalitäten, zur Schätzung erblich bedingter versus umweltabhängiger Varianzanteile.

Kommerzielle Pflanzenzüchtung wird daher heute noch weitgehend »konventionell« praktiziert – und zwar äußerst erfolgreich. Die grundlegenden biologisch-genetischen und biometrischen Gesetzmäßigkeiten sind den Pflanzenzüchtern dabei wohlbekannt, werden jedoch in der Praxis selten gebraucht. Nach wie vor basiert Pflanzenzüchtung, als mehr oder weniger routinemäßig betriebene Sortenzüchtung wie sie seit etwa einem Jahrhundert praktiziert wird, auf klassischer Manipulation von Genen *en masse*, also ganzer Genome, ohne daß dabei die Wirkung einzelner Gene auf die wichtigen quantitativen Merkmale (Kornertrag etc.) im einzelnen erfassbar wäre. Für diese Art von Merkmalen, die in der züchterischen Bearbeitung vorrangig zu behandeln sind, wird dies wohl auch auf absehbare Zeit so bleiben.

Dagegen dürfte die gentechnische Manipulation mono- oder oligogen vererbter Merkmale, wie etwa von Krankheitsresistenzen, in näherer Zukunft durchaus auch in der praktischen Pflanzenzüchtung realisierbar werden, so wie sie sich heute schon bei *Solanaceae* (Kartoffel, ROSAHL et al., 1986) oder bei *Brassicaceae* (z. B. Raps) abzeichnet.

Die Einsatzmöglichkeiten der Biotechnologie in der Getreidezüchtung bleiben zunächst zwar auf Gewebe- und Zellkulturtechniken (s. o. Pkt. 1–4) beschränkt. Da die technischen Hemmnisse jedoch überwindbar scheinen, dürfte es auch bei den Getreidearten eine Frage der Zeit bleiben, bis beispielsweise hoch-heritabile (monogenische) Krankheits- und Streß-Resistenzen gentechnisch gezüchtet werden können. Für die schwierige Züchtung auf polygenisch vererbte, quantitative Merkmale mit geringer Heritabilität ist dagegen auf absehbare Zeit wenig Hilfe durch die Gentechnik zu erwarten.

Literatur

- ABDULLAH, R.; COCKING, E. C. and THOMPSON, J. R. (1986): Efficient plant regeneration from rice protoplasts through somatic embryogenesis. *Biotechnology* 4, 1087–1090.
- BOLIK, M.; FOROUGHI-WEHR, B.; KÖHLER, F.; SCHUCHMANN, R. and WENZEL, G. (1986): In vitro selection for disease resistance in potato and barley. In: *Nuclear Techniques and In Vitro Culture for Plant Improvement*, 275–285. IAEA, Wien.
- CHAE, Y.-A. and FISCHBECK, G. (1979): Genetic Analysis of Powdery Mildew Resistance in Wheat Cultivar »Diplomat«. *Z. Pflanzenzüchtg.* 83, 272–280.
- DATTA, S. K. and WENZEL, G. (1987): Isolated microspore derived plant formation via embryogenesis in *Triticum aestivum* L. *Plant Science* 48, 49–54.
- DEUTSCHER BUNDESTAG (Hrsg.) (1987): Chancen und Risiken der Gentechnologie. Ber. Enquete-Kommission, 10. Deutscher Bundestag, 405 S., Bonner Univ. Druckerei.
- FISCHBECK, G.; PLARRE, W. und SCHUSTER, W. (1985): Lehrbuch der Züchtung Landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Bd. 2: Spezieller Teil. P. Parey Verlag, Berlin u. Hamburg.
- FOROUGHI-WEHR, B. and FRIEDT, W. (1984): Rapid production of recombinant barley yellow mosaic virus resistant *Hordeum vulgare* lines by anther culture. *Theor. Appl. Genet.* 67, 377–382.
- FRIEDT, W. and FOROUGHI-WEHR, B. (1986): Agronomic value of androgenetic doubled haploid lines as compared to conventionally selected spring barley. In: *Genetic Manipulation in Plant Breeding* (HORN, W.; JENSEN, C. J.; ODENBACH, W.; SCHIEDER, O. (Eds.)), 299–302. W. de Gruyter, Berlin/New York.
- FRIEDT, W. und KRÄUTER, R. (1987): Biotechnologie in der Züchtung nachwachsender Rohstoffe: Stand und Perspektiven dargestellt am Beispiel von Ölpflanzen. *Spiegel der Forschung. Justus-Liebig-Universität, Gießen*, 5, 5–8.
- FRIEDT, W.; LIND, V.; WALTHER, H.; FOROUGHI-WEHR, B.; ZÜCHNER, S. and WENZEL, G. (1983): The value of inbred lines derived from *Secale cereale* × *S. vavilovii* via classical inbreeding and androgenetic haploids. *Z. Pflanzenzüchtg.* 91, 89–103.
- GALE, M. D. and YOUSSEFIAN, S. (1985): Dwarfing genes in wheat. In: *Progress in Plant Breeding* (RUSSEL, G. E., Hrsg.), 1–35. Butterworths, London.
- GLIMELTUS, K.; FAHLESSON, J.; SJÖDIN, C.; SUNDBERG, E. and DJUPSJÖBACKA, M. (1986): Somatic hybridization and cybridization as potential methods for widening the gene-pools within *Brassicaceae* and *Solanaceae*. In: *Genetic Manipulation in Plant Breeding* (HORN, W.; JENSEN, C. J.; ODENBACH, W.; SCHIEDER, O.; Eds.), 663–682. W. de Gruyter, Berlin/New York.
- GRAVES, A. C. F. and GOLDMANN, S. L. (1986): The transformation of *Zea mays* seedlings with *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Molecular Biology* 7, 43–50.
- HERRERA-ESTRELLA, L.; VAN DEN BROEK, G.; MAENHAUT, R.; VAN MONTAGU, M. and SCHELL, J. (1984): Light-inducible and chloroplast-associated expression of a chimaeric gene introduced into *Nicotiana tabacum* using a Ti plasmid vector. *Nature* 310, 115–120.
- HOOPYKAAS-VAN SLOGTEREN, G. M. S.; HOOPYKAAS, P. J. J. and SCHILPEROORT, R. A. (1984): Expression of Ti plasmid genes in monocotyledonous plants infected with *Agrobacterium tumefaciens*. *Nature* 311, 763–764.
- JONES, I. T.; SETHAR, H. and DAVIES, I. J. E. R., (1981): Genetics of partial resistance to barley mildew. In: *Barley Genetics IV*, 449–457. *Proc. 4th Int. Barley Genet. Symp.*, Edinburgh 1981.
- POTRYKUS, I.; SHILLITO, R. D.; SAUL, M. W. and PASZKOWSKY, J. (1985a): Direct gene transfer – state of the art and future potential. *Plant Molec. Biol. Rep.* 3, 117–128.
- POTRYKUS, I.; PASZKOWSKI, J.; SAUL, M. W.; PETRUSKA, J. and SHILLITO, R. D. (1985): Molecular and general genetics of a hybrid foreign gene introduced into tobacco by direct gene transfer. *Mol. Gen. Genet.* 199, 169–177.
- ROSAHL, S.; SCHMIDT, R.; SCHELL, J. and WILLMITZER, L. (1986): Isolation and characterization of gene from *Solanum tuberosum* encoding patatin, the major storage protein of potato tubers. *Mol. Gen. Genet.* 203, 214–220.
- SCHNELL, F. W. (1985): Zuchtmethodische Prinzipien und Probleme bei vegetativer Vermehrung. *Vortr. Pflanzenzüchtg.* 8, 5–15.
- SCHWARZBACH E. and FISCHBECK, G. (1981): Die Mehltreueristenzfaktoren von Sommer- und Wintergerstensorten in der Bundesrepublik Deutschland. *Z. Pflanzenzüchtg.* 87, 309–318.
- SIMMONDS, N. W. (1979): *Principles of Crop Improvement*. Longman, London/New York, 408 S.
- SIMMONDS, N. W. (1984): Gene manipulation and plant breeding. In: *Gene Manipulation in Plant*

- Improvement (GUSTAFSON, J.P. Ed.). Plenum Press, New York.
- SNAPE, J.W.; SIMPSON, E. and PARKER, B.B.; FRIEDT, W. and FOROUGH-WEHR, B. (1986): Criteria for the selection and use of doubled haploid systems in cereal breeding programs. In: Genetic Manipulation in Plant Breeding (HORN W., JENSEN C.J., ODENBACH W., SCHIEDER O., Eds.), 217-229. W. de Gruyter, Berlin/New York.
- Tsuchiya, T. (1986): Linkage maps of barley. Barley Genet. Newsl. 16, 40-43.
- WENZEL, G. (1983): Neue Wege der Pflanzengenetik. In: Bio-Technologie (Karin Dohmen, Hrsg.), 77-84. J.B. Metzler, Stuttgart.
- WENZEL, G.; FOROUGH-WEHR, B.; FRIEDT, W.; KÖHLER, F. and T.OO (1985): Cell and tissue culture as supplementary tools in plant breeding exemplified in potato, oilseed rape and barley. Hereditas Suppl. 3, 15-25.