

## Sechs Jahrzehnte Züchtungsforschung – Wandel und Kontinuität\*)

Von W. Friedt

Eingang des Manuskripts: 3. 3. 1986

Die Züchtungsforschung ist zweifellos älter als 60 Jahre. Gewöhnlich wird der Beginn systematischer Pflanzenzüchtung etwa mit der Wiederentdeckung der MENDEL'schen Regeln datiert – also etwa um die Jahrhundertwende. Über die Entdeckung MENDEL's hinaus waren im 19. Jahrhundert eine Fülle weiterer, für die Züchtungsforschung wesentlicher biologischer Erkenntnisse (z. B. über Zellkern, Chromosomen und Befruchtung) gewonnen worden, auf deren Basis sich erst eine moderne Genetik und Pflanzenzüchtung entwickeln konnte. Die besondere Bedeutung der Entdeckung der Vererbungsgesetzmäßigkeiten ist darin zu sehen, daß sich mit ihrer Hilfe die Vorgänge bei der Neukombination von Merkmalen, der Rekombination, erstmals plausibel erklären ließen. Die formale Zuordnung von Merkmalen und Erbfaktoren – den Genen – schaffte die gedankliche Grundlage für Zuchtplanung und Kombinationszüchtung mit Hilfe von Kreuzung und Selektion.

Bis heute sind diese beiden Schritte, die Schaffung neuer Variation durch Bastardierung unterschiedlicher Ausgangsformen und die nachfolgende Auslese in den aufspaltenden Generationen, die grundlegenden Prinzipien der Pflanzenzüchtung geblieben. Allein schon in dieser Tatsache kommt eine erstaunliche Kontinuität der züchterischen Methodik zum Ausdruck. Ebenso bemerkenswert ist jedoch die Konstanz der grundlegenden züchterischen Ziele: von Anfang an ging es unseren Vorfahren darum, Erträge zu steigern, aber

auch darum, einen jährlich in etwa wiederkehrenden Ertrag zu sichern, d. h. die aus früheren Jahrhunderten oft berichteten Mißernten mit nachfolgenden Hungersnöten zu verhindern. Die Verbesserung der Ertragsleistung durch Züchtung ist in der Tat erstaunlich. Gerade zu Beginn unseres Jahrhundert's setzte eine fast explosionsartige Steigerung der Erträge ein (Abb. 1). Diese ist unschwer auf die nun erst in großem Stile einsetzende züchterische Aktivität zurückzuführen, die sich u. a. auch an der zunehmenden Zahl von Zuchtbetriebsgründungen in dieser Zeit ablesen läßt.

Die Untersuchungen von AUFHAMMER und FISCHBECK (1964) an den „Nürnberger Linien“ aus dem Grundstein des Nürnberger Stadttheaters lassen eine Verdoppelung der potentiellen Kornerträge seit 1832 von etwa 40 auf 80 dt/ha erkennen. In Gefäßversuchen zeigte sich im einzelnen, daß ein Großteil der Ertragssteigerung auf eine verbesserte Anpassung der neuen Sorten an unsere modernen Anbaubedingungen, d. h. höhere pflanzenbauliche Intensität, zurückzuführen ist; sie sind z. B. standfester und können daher höhere Düngergaben besser verwerten (Tab. 1).

Die Verbesserung der Leistungsfähigkeit unserer Nutzpflanzen ist daher zweifellos in erster Linie auf eine fortwährende Optimierung der Pflanzenproduktion insgesamt zurückzuführen. Aufgrund verschiedener Schätzungen ist es jedoch sicherlich nicht verfehlt, den Anteil der Pflanzenzüchtung an der gesamten Leistungsstei-

\*) Überarbeitetes Manuskript des Festvortrages anlässlich des festlichen Kolloquium's zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. G. Fischbeck.

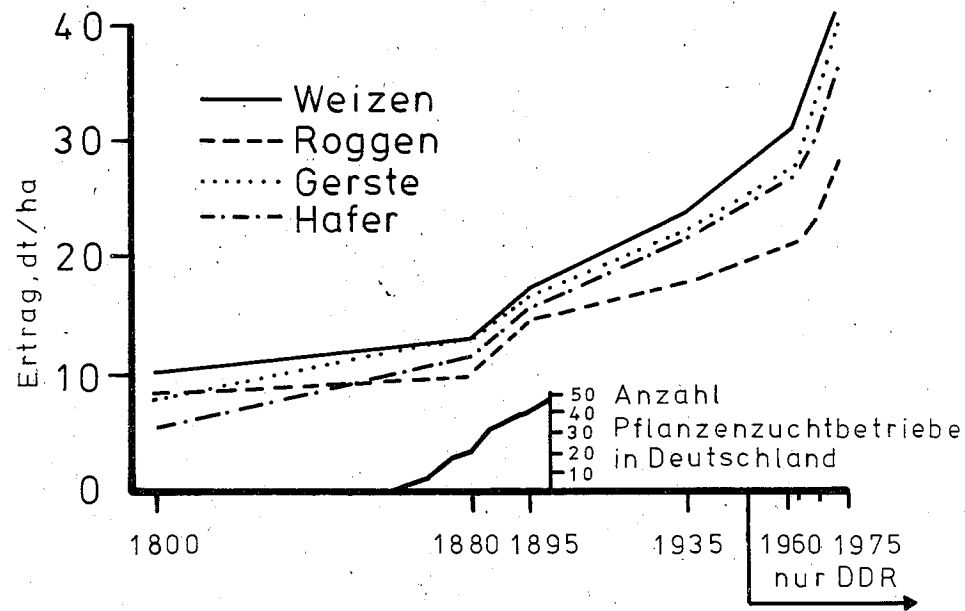


Abb. 1: Ertragsentwicklung bei Getreide in Deutschland (nach FUCHS 1980)

Tab. 1: Ertragsleistung jüngerer Gerste-Sorten im Vergleich zu den „Nürnberger Linien“ und Ursachen der erzielten Ertragssteigerungen (nach AUFHAMMER und FISCHBECK 1964)

	„Nürnberg“ abs.	„Donaria“ rel.	„Wisa“ rel.	„Union“ rel.	„Carlsberg“ rel.
Ertrag (g/Gefäß)	97,0	106,0	110,3	106,2	102,0
Stroh	51,7	102,7	102,8	100,0	93,7
Korn	45,3	110,6	119,6	113,2	110,9
Ursache der Leistungssteigerung					
Erhöhte Assimilation		6,0	10,3	6,2	2,0
Assimilate-Umlagerung		4,6	9,3	7,0	8,9
Anpassung an geänderte Kulturbedingungen		14,7	-	39,0	-

gerung unserer landwirtschaftlichen Nutzpflanzen auf 25% oder mehr zu beziffern. Aus den Untersuchungen mit den „Nürnberger Linien“ geht aber auch hervor, daß der Lauf der Zeit auch einen gewissen Wandel der Bewertung und Rangordnung der Zuchtziele im einzelnen mit sich ge-

bracht hat. Die landwirtschaftlichen Produktionstechniken sowie die Verzehrsgewohnheiten sind fortwährendem Wandel unterworfen, und mit ihnen ändern sich zwangsläufig die Anforderungen an die landwirtschaftlichen Erzeugnisse und damit letztlich die Zuchtziele. Kam es früher vor allem auf eine Steigerung der Produktion überhaupt an, so steht heute neben der Quantität insbesondere die Produktqualität im Vordergrund.

Diesem Wandel der Anforderungen an ihre Produkte konnte die Pflanzenzüchtung nur durch ein hohes Maß an Kreativität im Umgang mit der bereits vorhandenen, umfassenden genetischen Variation begegnen. Der genetischen Vielfalt innerhalb der Arten war man sich seit langem bewußt, und ihrer Kreuzung zur Schaffung neuer Kombinationen hatte man sich schon lange vor MENDEL gezielt bedient; nämlich schon in den orientalischen Hochkulturen des Altertums und bei uns spätestens seit dem 18. Jahrhundert (vgl. z. B. KÖLREUTER 1761). Die oft empfohlene Erweiterung der genetischen Variation durch Kreuzungen mit Wild- oder Primitivformen stößt beson-

ders heute bei steigendem Leistungsniveau auf immer größere Schwierigkeiten, denn die Einkreuzung solchen fremden Materials ist zunächst stets mit einer deutlichen Leistungsminderung verbunden. Erst im Laufe langjähriger Zuchtprogramme können verbesserte Stämme ausgelesen werden. Ein anschauliches Beispiel für die Problematik dieses Vorgehens gibt die Wintergerstensorte ‚Vogelsanger Gold‘, die auf eine Kreuzung mit *Hordeum spontaneum nigrum* zurückgeht, von der sie ihre Mehlauresistenz ererbt hat. Erst nach langjähriger Rückkreuzungszüchtung konnte diese Sorte ausgelesen werden (WIENHUES 1970). Trotz ihrer überragenden Ertragsleistung muß ‚Vogelsanger Gold‘ heute wegen ihrer schlechten Kornqualität als ein gewisser Rückschritt in der Wintergerstenzüchtung angesehen werden.

Die Züchtungsforschung trat in eine gänzlich neue Phase, als STADLER (1928 a, b), kurze Zeit nach MÜLLER (1927) bei *Drosophila*, erstmals auch bei Pflanzen über die Auslösung von erblichen Veränderungen – Mutationen – durch Gammastrahlen berichtete (Tab. 2). Nach 6 Jahrzehnten Erfahrung in der Auslösung und züchterischen Bearbeitung von Mutationen darf heute

Tab. 2: Einige Daten zur Entwicklung in Pflanzen-Genetik und Züchtung in den vergangenen 6 Jahrzehnten

1927, 1928	Mutationsauslösung durch X-Strahlen
1930	Erste kommerzielle Mais-Hybriden in USA
1932	Einführung der Hitzeschock-Methode
1937	Einführung der Colchicin-Methode
1944	Entdeckung der DNA als Träger genetischer Information
1953	Aufklärung der DNA-Struktur
1963	Entschlüsselung des genetischen Code
1968	Entdeckung der Restriktionsenzyme
1970	Induktion haploider Gerste
1971	Protoplastenregeneration
1973	Protoplastenfusion
1975	Entdeckung des Ti-Plasmid; SOUTHERN-Blotting: Nachweis rekombinanter DNA
1980	Gen-Transfer mit Ti-Plasmid
1984	Gen-Transfer mit CaMV
1985	Vektorfreier Transfer

festgestellt werden, daß der Nutzen von Mutationen für die praktische Züchtung auf relativ wenige Fälle beschränkt geblieben ist. Zweifellos gehen eine Reihe von Sorten auf Mutationen zurück; als herausragendes positives Beispiel ist etwa die Süßlupine (SENGBUSCH 1942) zu nennen. Dennoch ist es verfehlt, in der Züchtungssystematik von einer eigenständigen „Mutationszüchtung“ zu sprechen. Es handelt sich hierbei vielmehr um eine spezielle Methode zur Erweiterung der genetischen Variabilität. In dieser Hinsicht erhoffte man sich lange Zeit, eine erweiterte, neuartige genetische Vielfalt schaffen zu können, wie sie in der natürlichen Formenmannigfaltigkeit nicht anzutreffen ist. Besondere Anstrengungen haben sich auf die Induktion von Resistenzgenen, etwa gegen pilzliche Krankheitserreger, konzentriert. Gerade auf dem Gebiet der Mehlauresistenz wurden im Weihenstephaner Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung grundlegende und richtungweisende Arbeiten durchgeführt. Diese Arbeiten fanden einen bisherigen Höhepunkt in der Zusammenarbeit von G. FISCHBECK und E. SCHWARZBACH die u. a. in eine umfassende Analyse der Mehlauresistenzgene in unserem einheimischen Gerstensortiment mündete (SCHWARZBACH und FISCHBECK 1981, Tab. 3). Diese mit Hilfe der Virulenzanalyse gewonnene Übersicht ist von großem Nutzen bei der Wahl von Kreuzungseltern. Denn eine bereits große Verbreitung eines Gens macht seine baldige Überwindung

Tab. 3: Mehlauresistenz-Faktoren der Gerste (nach SCHWARZBACH und FISCHBECK 1981)

Gen-symbol	Resistenzquelle
Mla1	Algerian C. I. 1179
Mla6	<i>H. spontaneum</i> , Linie H204
Mla7	Lyallpur 3645 (HOR 3866)
Mla9	Monte Cristo C. I. 1017
Mla12	Arabische 47/16 C. I. 12113
Mla13	Rupee C. I. 16155
Mlg	Weihenstephaner CP 127422
Mlh	Ragusa b, ‚Hauters‘
ml-o	Mutanten, äthiop. Landformen
-	<i>Hordeum distichum laevigatum</i>
-	‚Wong‘

durch neue virulente Rassen (Pathotypen) absehbar. Aufgrund dieses Mechanismus war man in den zurückliegenden Jahrzehnten gezwungen, die Palette von Resistenzgenen fortwährend zu erweitern. Obwohl jedoch zweifellos eine große Zahl von induzierten Mutanten mit Krankheitsresistenz isoliert worden sind, so darf doch festgestellt werden, daß es auf diese Art grundsätzlich nicht möglich ist, die natürliche Formenmannigfaltigkeit zu erweitern. Ein Beispiel dafür ist der *ml-o* Locus bei der Gerste; mehlauresistente *ml-o*-Typen treten sowohl in natürlichen Populationen als auch in Mutationsrassen auf und in beiden Fällen ist ihr praktischer Nutzen durch die Kopplung mit unerwünschten Genen (z. B. für Blattflecken) eingeschränkt.

Unter den Mutationen i. w. S. kann man bekanntlich je nach Größe der betroffenen Erbsubstanz zwischen Gen-, Chromosomen- oder Genom-Mutationen unterscheiden; letztere betreffen Veränderungen der Chromosomenzahl. Seit langem ist be-

kannt, daß eine Erhöhung der Chromosomenzahl, als Polyploidie bezeichnet, oftmals mit einer Vergrößerung der Zellen und Organe einhergeht. Seit der Entdeckung der polyploidisierenden Wirkung von Colchicin (BLAKESLEE und AVERY 1937) können solche Formen praktisch nach Belieben hergestellt werden. Aufgrund der Organvergrößerungen (Abb. 2) erhoffte man sich analoge Zunahmen des Massenertrages, wie sie bei Pflanzen mit vegetativ genutzten Organen, etwa der Zuckerrübe, auch tatsächlich beobachtet werden. Bei Nutzung generativer Organe – der Samen – ist dies jedoch i. d. R. nicht der Fall. Bei identischer Verdopplung eines diploiden Chromosomensatzes liegen vier homologe, also gleiche Sätze (Genome) vor, die in den Reifungsteilungen aufgrund von Mehrfachpaarungen, sogenannten Multivalenten, Störungen verursachen. Diese führen letzten Endes zu partieller Sterilität (Abb. 2, 3). Gerade bei der selbstbefruchtenden Gerste sind die Aussichten einer durchgreifenden züchterischen Stabilisierung

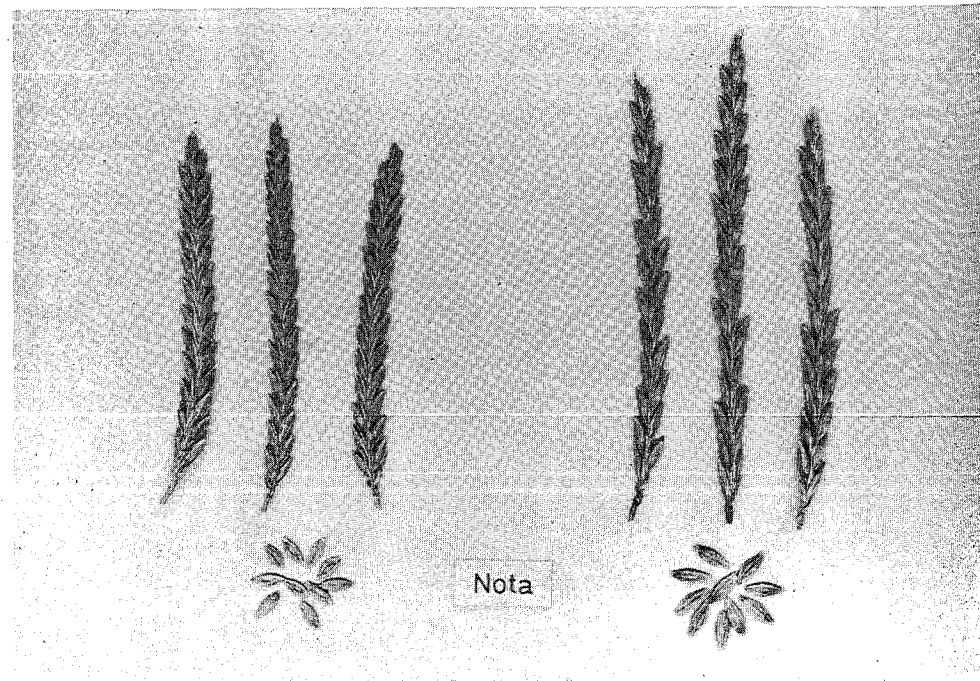
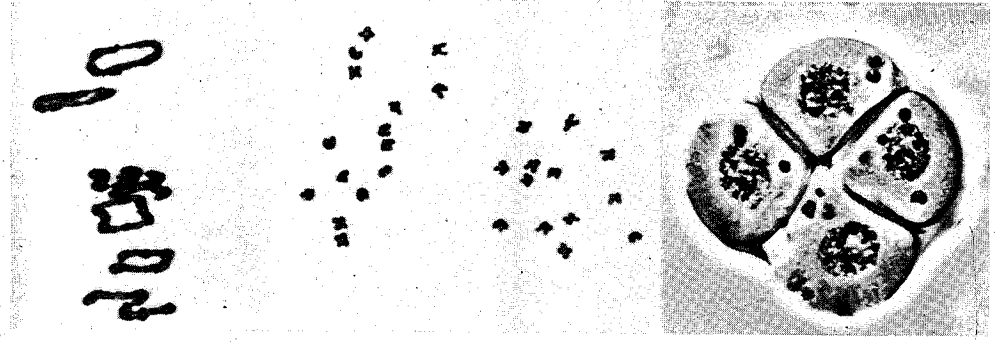


Abb. 2: Morphologische Veränderungen infolge einer induzierten Verdopplung der Chromosomenzahl bei Gerste: Ähren und Samen der Sorte „Nota“ ( $2n = 2x = 14$ , links) und einer colchicin-induzierten tetraploiden Form ( $2n = 4x = 28$ , rechts)

MEIOSE



METAPHASE I

ANAPHASE I

TETRADE

Abb. 3: Störungen des Ablaufs der Reifeteilungen als Ursache für partielle Sterilität bei autotetraploiden Pflanzen; Meiosestadien bei tetraploider Gerste: Metaphase I (7 Gruppen mit je 4 Chromosomen, links), Anaphase I (15:13 Verteilung der Chromosomen, Mitte), Tetradenstadium mit Chromatinfragmenten (Mikronuklei, rechts)

der Fertilität und des Kornertrages äußerst begrenzt. Trotz einer beträchtlichen Steigerung des Samenansatzes aufgrund regelmäßigerer Reifeteilungen bleibt der Kornertrag der selektierten tetraploiden Stämme deutlich hinter dem diploiden Sorten zurück (FRIEDT 1978, 1979, 1984).

Wesentlich günstiger als bei der Gerste sind zweifellos die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Polyploidiezüchtung beim fremdbefruchtenden Roggen. Das vielversprechende Material von KUCKUCK und PETERS (1977) wurde in Grünbach weiterbearbeitet und eingehend untersucht. Es hat sich gezeigt, daß die meiotischen Teilungen regelmäßiger verlaufen als bei der Tetragerste und demzufolge weniger aneuploide Pflanzen auftreten (FRIEDT u. a. 1985). Infolgedessen sind Tetraroggenstämme diploiden Sorten vielfach ertraglich ebenbürtig und können sogar Weizen übertreffen (Tab. 4). Weitere Ertragsreserven könnten hier möglicherweise mit der Züchtung von Hybriden erschlossen werden. Gerade beim Roggen werden derzeit besondere Anstrengungen zur Züchtung von Hybridsorten unternommen. Frühere Arbeiten u. a. von LUNDQUIST (1966) in Schweden hatten schon gezeigt, daß eine

Tab. 4: Relativerträge selektierter tetraploider Roggenstämme im Vergleich zum Tetraroggen ‚Tero‘ bzw. zum Weizen ‚Feldkrone‘; Feldversuche Grünbach (Dreisatzgitter) (aus FRIEDT 1984)

Material	Kornertrag, % von ‚Tero‘			
	1976	1977	1978	Mittel
S I	67,0**	83,3*	94,4*	81,6
B III	100,0	94,3	94,6*	96,3
F IV	71,8**	83,9*	87,5*	81,1
F VIII	99,0	103,5	105,6*	102,7
‚Tero‘	100,0	100,0	100,0 <sup>1)</sup>	100,0
‚Feldkrone‘	—	—	100,5	—

<sup>1)</sup> 100 = 40,8 dt/ha (1978)

\*, \*\* signifikant verschieden von ‚Tero‘ bei P = 0,05 bzw. P = 0,01

Maximierung der Heterosis in tetraploiden gegenüber diploiden Hybriden durchaus möglich ist.

Das Jahr 1944 hat eine besondere Bedeutung für die moderne Genetik und Züchtungsforschung, steht es doch für die Entdeckung der DNA als der für die Vererbung maßgeblichen Substanz (AVERY u. a. 1944, vgl. Tab. 2). Diese Erkenntnis eröffnete neue Wege, über die rein formale Genetik hinaus auf molekularer Ebene

direkt in die Erbsubstanz einzugreifen. Das Ende eines Kapitels rein klassischer Genetik deutete sich damit an. Ein knappes Jahrzehnt später fand es seinen endgültigen Abschluß mit einem Ereignis, das von bahnbrechender Bedeutung für die Entwicklung der modernen molekularen Genetik war: die Aufklärung der chemisch-physikalischen Struktur der DNA durch WATSON und CRICK (1953). In der Folgezeit wurden darüber hinaus Techniken der Gewebe- und Zellkultur entwickelt, die erst die Voraussetzungen für die Anwendung molekulargenetischer Methoden in der Pflanzenzüchtung schafften. Eine davon war die experimentelle Herstellung haploider Pflanzen aus Keimzellen (Abb. 4, vgl. NITZSCHE und WENZEL 1977). Erst heute findet diese Möglichkeit ein nennenswertes Echo von seiten der züchterischen Praxis, seitdem effiziente Techniken zur Auslösung und Regeneration von haploiden Pflanzen verfügbar sind: die heute gebräuchlichsten sind die Antherenkultur und die Art- oder Gattungskreuzung. Die Antherenkultur, d. i. die Kultur von unreifen Staubbeuteln, führt bei fast allen

pflanzlichen Objekten zur Entwicklung sogenannter androgenetischer Haploider, während bei Art- und Gattungskreuzungen i. d. R. die Eizelle zur parthenogenetischen Entwicklung stimuliert wird. Wichtige Schritte in der Entwicklung der Antherenkultur zu einer praxisreifen Methode wurden im Institut für Resistenzgenetik in Grünbach gemacht (vgl. FOROUGH-WEHR u. a. 1982, FRIEDT und FOROUGH-WEHR 1983, FRIEDT u. a. 1983). Die Tatsache, daß dabei neben haploiden gelegentlich auch diploide und polyploide Pflanzen entstehen, hat vielfach zu dem Verdacht veranlaßt, hierbei handele es sich um unerwünschte, gemischterbige Individuen. Neben anderen Untersuchungen hat jedoch gerade eine von FRANZONE u. a. (1984) in Grünbach durchgeführte Studie wesentlich zur Klärung dieser Frage beigetragen. Mit Hilfe geeigneter genetischer Systeme konnte zweifelsfrei gezeigt werden, daß die Häufigkeit von heterozygoten, diploiden androgenetischen Pflanzen bei Gerste mit Sicherheit sehr niedrig oder gleich 0 ist (Abb. 5).

Aufgrund der Erbllichkeit des Merkmals

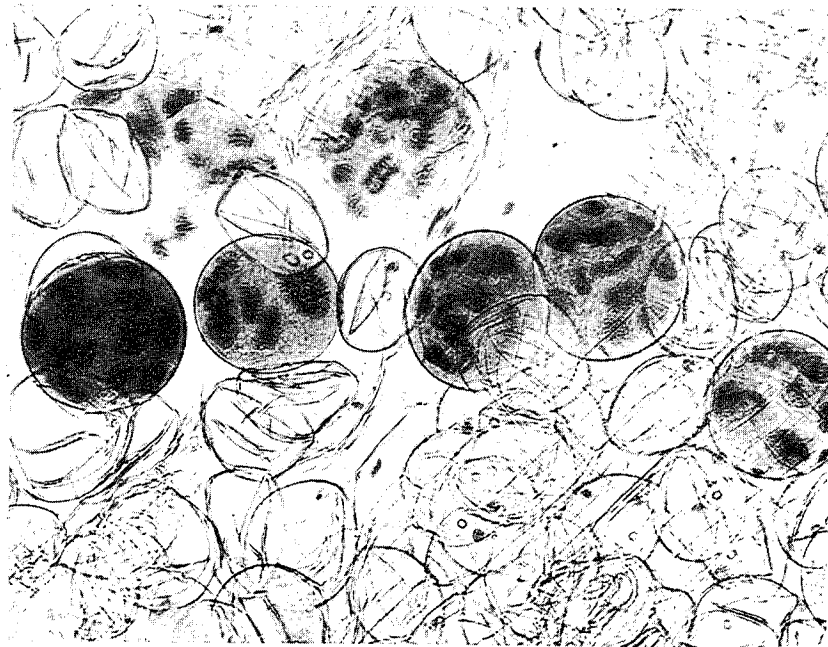


Abb. 4: Induktion von mehrkernigen Mikrosporen in vitro als erster Schritt in der Entwicklung von androgenetischen Pflanzen

### DOUBLE BALANCED LETHAL SYSTEM (FRANZONE et al. 1984)

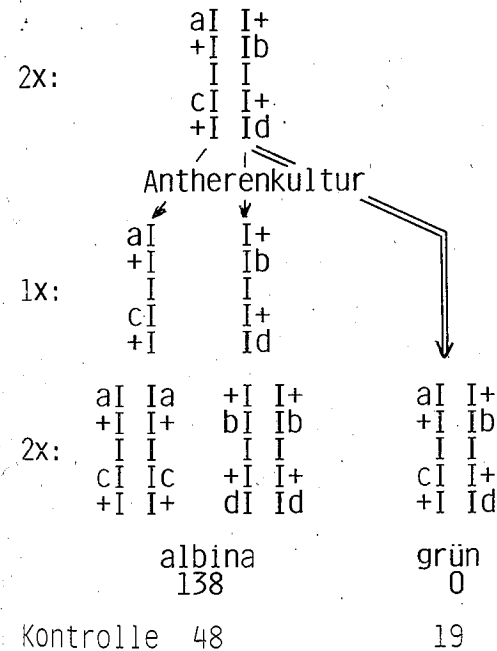


Abb. 5: Nachweis des androgenetischen Ursprungs von Antherenkultur-Nachkommen der Gerste mit Hilfe von balancierten Lethalgenen (nach FRANZONE et al. 1984).

Antherenkulturtauglichkeit ist es heute möglich, entsprechende Zuchtprogramme mit Hilfe der Antherenkultur durchzuführen. Aus der Kooperation mit mehreren Saatzüchtfirmen entstand erstmals eine ausreichende Zahl doppelhaploider Sommergerstenstämme, die heute konkrete Aussagen über den Wert der „Haploidmethode“ im Vergleich zu konventionellen Zuchtmethoden zulassen. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse von Leistungsprüfungen können wir feststellen, daß beide Verfahren grundsätzlich dazu geeignet sind, hochleistungsfähige Genotypen zu erstellen – wenigstens bei der Gerste (Abb. 6). Vor allem bei der Wintergerste liefern die laufenden Grünbacher Arbeiten besonders vielversprechende Ergebnisse (FOROUGH-WEHR und FRIEDT 1984). Der andere Weg zur Züchtung doppelhaploider Linien, die „Bulbosum-Methode“, hat sich dagegen bei der Sommergerste in

Kanada und England besonders gut bewährt und bringt dort hohe Ausbeuten an doppelhaploiden, reinerbigen Linien für die praktische Züchtung (SNAPE u. a. 1986). Das bestätigen u. a. auch die laufenden Arbeiten von ELHENNAWY und FISCHBECK (pers. Mitt.) am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung in Weihenstephan. Solche Kreuzungen zwischen *Hordeum vulgare* und *H. bulbosum* führen jedoch nur bei Verwendung ganz bestimmter Klone der Wildgerste zu Haploiden, verwendet man andere, so entwickeln sich echte diploide Artbastarde.

Die Art- und Gattungsbastardierung ist sicherlich so alt, wie die Versuche zu Kreuzung von Pflanzen überhaupt, denn die Kreuzbarkeit stellte ja eines der wesentlichsten Kriterien für die systematische Einordnung der Arten dar. Schon Jahrzehnte vor MENDEL wurde in Schottland von WILSON (1874) erstmals über die Herstellung von Bastarden zwischen Weizen und Roggen (*Triticum* × *Secale* = *Triticale*) berichtet. Damit wurde ein neuer Weg der artübergreifenden Züchtung eingeleitet, der erst ein ganzes Jahrhundert später seine Früchte in Form anbauwürdiger Triticale-Sorten tragen sollte (vgl. MÜNTZING 1979). Triticale als vollständiges Produkt von Weizen- und Roggen-Genen hat heute vor allem in England und Polen sowie auch in Deutschland in begrenztem Umfang Eingang in die landwirtschaftliche Praxis gefunden. Viel früher schon sind jedoch sekundäre oder tertiäre Produkte aus Weizen-Roggen Bastarden in der praktischen Züchtung verwendet worden. Gerade in Weihenstephan war aus den Arbeiten von KATTERMANN (1936) ein umfangreiches Material vorhanden, das sich offensichtlich auch durch das Vorhandensein von Roggenmerkmalen auszeichnete, wie etwa die Behaarung des Halmes („hairy neck“). Interessant war dieses Material für die Züchter jedoch primär wegen seiner Resistenzen gegen Mehltau und Rost. Von FISCHBECK (1963) wurden die Arbeiten initiiert, die letztlich zu den erfolgreichen und weltweit anerkannten Untersuchungen von F. J. ZELLER über Chromosomen-Additionen,

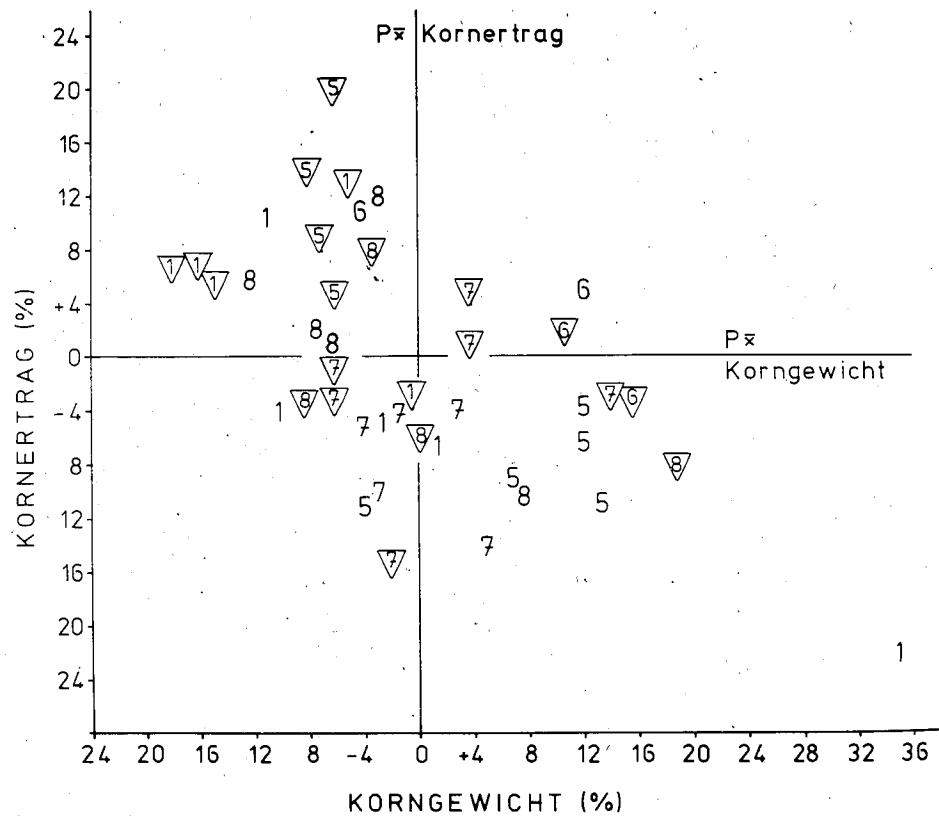


Abb. 6: Leistungsvergleich von androgenetischen doppelhaploiden Linien (Zahlen) und herkömmlich ausgelesenen Zuchtstämmen (Zahlen in Dreiecken); Dreisatzgitter, Grünbach 1984

Substitutionen und Translokationen in Weizen-Roggen Nachkommen geführt haben (vgl. ZELLER und FISCHBECK 1974). Hierbei hat sich gezeigt, daß in vielen Linien lediglich Roggenchromosom 1 oder ein Segment davon auffindbar ist. Dieses Segment besitzt offenbar einen besonderen Selektionsvorteil, u. a. aufgrund seiner Mehltau- und Rost-Resistenzgene. Leider trägt dieses Chromosom 1R aber auch unerwünschte Gene, die Veränderungen der Weizenproteine mit sich bringen und so seine Verwertung für Qualitätsmehle ausschließen. Auch hierüber ist im Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung in Weihenstephan viel gearbeitet worden, vor allem im Rahmen verschiedener Dissertationen. Es hat sich dabei gezeigt, daß Gene für die Hauptvorratsproteine, Glutenine und Gliadine, vor allem auf den homoeolo-

gen Chromosomen-Gruppen 1 und 6 lokalisiert sind, z. B. auf Chromosom 1B. Die Schwierigkeiten der Züchtung von Weizen mit guter Backfähigkeit bei Anwesenheit des Roggensegments 1R beruhen daher auf der engen Kopplung erwünschter Gene, etwa für Krankheitsresistenz, mit einem Komplex von Genen für unerwünschte Proteinvarianten. Mit der Manipulation von Chromosomen oder Chromosomensegmenten – ein Weg den man als „Chromosomen-Engineering“ bezeichnen könnte – konnte diese enge Kopplung bisher nicht aufgelöst werden. Was auf konventionellem Weg auch mit Hilfe langjähriger Rückkreuzungsprogramme bisher nicht erreichbar war, nämlich der Einbau einzelner, funktioneller Gene aus einer Sorte oder Art in eine andere, das erhofft man sich heute durch

die Gentechnik (genetic engineering). Darunter ist die gezielte Isolation, Manipulation und Übertragung physikalischer Gene in Form von DNA-Molekülen zu verstehen. Die Grundlagen dafür wurden seit der Aufklärung des genetischen Code (LEDER und NIRENBERG 1964, vgl. Tab. 2) in rascher Folge erarbeitet. Verschiedene molekular-genetische Systeme bieten sich heute auch bei Pflanzen für eine praktische Gentechnik an: solche, die den Einsatz geeigneter Vektoren erfordern – wie etwa das Ti-Plasmid von *Agrobacterium tumefaciens*, oder Cauliflower Mosaik Virus [CaMV], aber auch vektorfreie Systeme. Letztgenannter Weg hat gerade in jüngster Zeit

besonderes Aufsehen erregt. Beispielsweise ist es der Arbeitsgruppe um I. POTRYKUS in Basel gelungen, ein Gen für Kanamycin-Resistenz aus Bakterien in Tabak zu übertragen (Paszkowski u. a. 1984, POTRYKUS u. a. 1985a, b, vgl. Tab. 5). Eine genetische Transformation mit Ti-Plasmid hat den Vorteil, daß sie an der intakten Pflanze

Tab. 5: Transfer von Kanamycin-Resistenz (PASZKOWSKI u. a. 1984)

DNA-Behandlung	Tabak-Protoplasten	Resistente Klone
pABDI<APH(3')II>	ca. $6 \times 10^6$	5
Kontrolle	$3 \times 10^7$	0

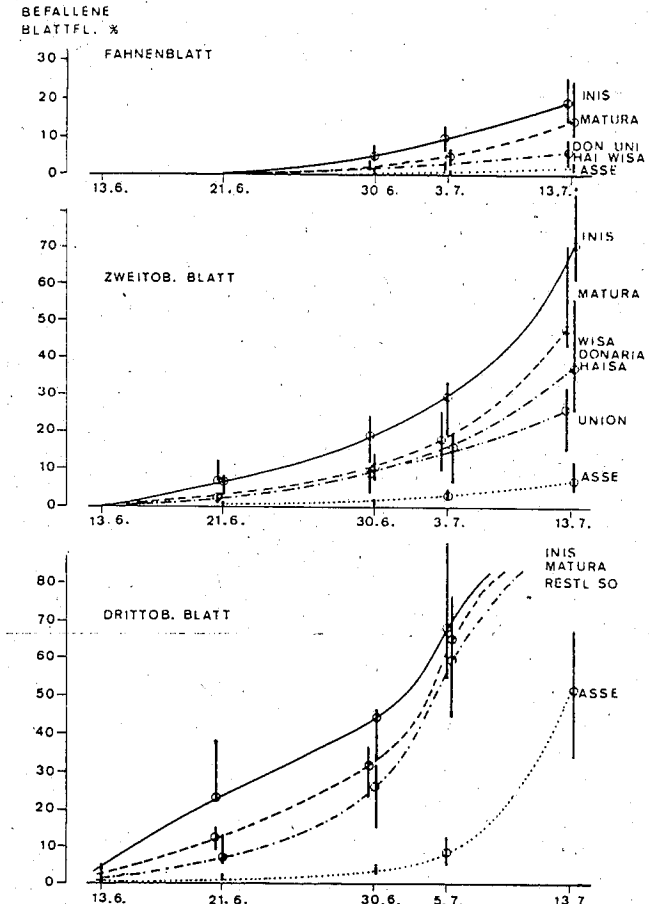


Abb. 7: Reaktion auf Mehltauinfektion bei verschiedenen Sommergerste-Sorten zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach der Inokulation (aus FRIMMEL et al. 1975)

durchgeführt werden kann, bisher aber eben praktisch nur bei Dikotyledonen (HERRERA-ESTRELLA u. a. 1984, HOOYKAAS-VAN SLOOTEREN u. a. 1984). Dagegen ist der vektorfreie Transfer bis dato nur mit „nackten“ Zellen (Protoplasten) möglich, die wiederum bei Monokotyledonen bisher nicht zu Pflanzen regeneriert werden können (Tab. 6). Dennoch ist unbestritten, daß beide Techniken grundsätzlich anwendbar sind, und so ist es möglicherweise nur eine Frage der Zeit, bis man die offenstehenden technischen Probleme z. B. bei den Gramineen wird lösen können. Das letztlich

Tab. 6: Transformierte, antibiotica-resistente *Lolium multiflorum* Kolonien (aus POTRYKUS u. a. 1985)

DNA-Behandlung	Lolium-Proto-plasten	Kolonien	
		6 Wo.	10 Wo.: 10 g
pABDI<APH(3')II>	$8 \times 10^6$	71	46
Kontrolle	$2 \times 10^6$	2	0

entscheidende Stadium der Ertragsprüfung ist jedoch bisher noch längst nicht erreicht worden.

Gerade aus der genetischen Struktur der wichtigsten Leistungsmerkmale und des

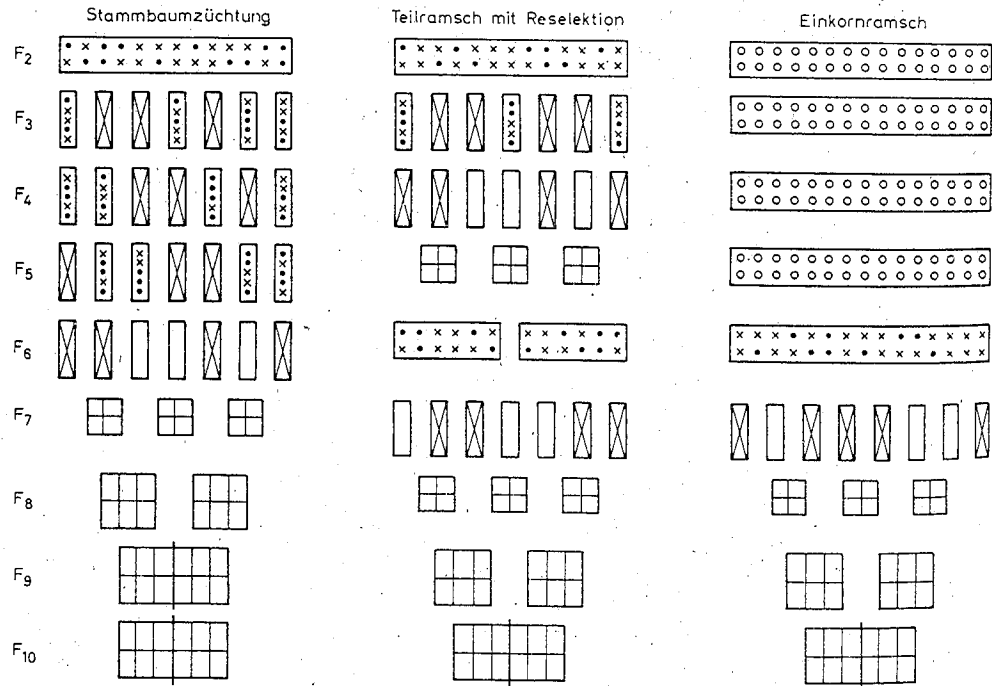
Ertrages ergeben sich möglicherweise weit größere Hemmnisse für eine praktische Anwendung des „genetic engineering“, als aus den rein technischen Schwierigkeiten. Denn es kann kein Zweifel bestehen darüber, daß viele, über das gesamte Genom verteilte Gene an der Expression dieser Merkmale beteiligt sind. Dies gilt sicherlich auch für sogenannte quantitative Krankheitsresistenzen. Untersuchungen wie diejenigen von FRIMMEL, SCHWARZBACH und FISCHBECK (1975) haben gezeigt, daß Getreide, wie etwa die Gerstensorte ‚Assé‘, eine ausgeprägte „horizontale“, „generelle“ oder „partielle“ Resistenz aufweisen kann, auch wenn keine eindeutig identifizierbaren Resistenzgene vorliegen (Abb. 7). Beim Weizen konnten CHAE und FISCHBECK (1979) für mindestens 14 Chromosomen eine Wirkung auf die ausdauernde Mehlauresistenz der Sorte ‚Diplomat‘ nachweisen. Auf absehbare Zeit erscheint es zweifelhaft, ob man solche komplex vererbten Eigenschaften mit Hilfe der Gentechnik einfacher wird rekombinieren können, als das auf konventionellem Wege über Kreuzungen möglich ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Pflanzenzüchtung in den zurückliegenden Jahrzehnten zweifellos Phasen durchlaufen hat, die erhebliche Verbesserungen der technischen Möglichkeiten gebracht haben: wie etwa die künstliche Mutagenese, die Polyploidisierung oder die Manipulation und Regeneration einzelner Zellen oder Organellen. Diese neuen Techniken haben Methodik und technischen Ablauf der Züchtung fortlaufend gewandelt, ihre Prinzipien und grundlegenden Ziele (Ertragshöhe, Ertrags-sicherheit und Qualität) dabei jedoch letztlich nicht verändert, sondern eher bestätigt. So werden auch heute noch die altbewährten Zuchtmethoden, wie etwa die Pedigree- oder Stammbaum-Methode (Abb. 8), in der Selbstbefruchterzüchtung praktiziert, mehr als 6 Jahrzehnte, nachdem sie in den ersten Hand- und Lehrbüchern (z. B. FRUWIRTH 1922) beschrieben worden sind. Wandel und Kontinuität sind in folgedessen gleichrangige Bedingungen

für den Fortschritt auch in der Pflanzenzüchtung: bei sich wandelnden technischen Möglichkeiten werden die essentiellen Ziele stets mit Beständigkeit weiter verfolgt.

#### Literaturverzeichnis

- Aufhammer, G. und Fischbeck G. (1964): Ergebnisse von Gefäß- und Feldversuchen mit dem Nachbau keimfähiger Gersten- und Haferkörner aus dem Grundstein des 1832 errichteten Nürnberger Stadttheaters. Z. Pflanzenzüchtg. 51, 354-373.
- Avery, O. T., Macleod, C. M. und McCarthy, M. (1944): Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from *Pneumococcus* Type III. J. Exp. Med. 79, 137-158.
- Blakeslee, A. F. und Avery, A. G. (1937): Methods of inducing doubling of chromosomes in plants by treatment with colchicine. J. Hered. 28, 393-411.
- Chae, Y.-A. und Fischbeck, G. (1979): Genetic analysis of powdery mildew resistance in wheat cultivar ‚Diplomat‘. Z. Pflanzenzüchtg. 83, 272-280.
- Fischbeck, G. (1963): Grundlagen der Identifizierung aneuploider Formen von *Triticum aestivum* und ihre Bedeutung für Weizengenetik. Z. Pflanzenzüchtg. 49, 107-121.
- , Plarre, W. und Schuster, W. (Hrsg.) (1985): Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Bd. 2, Spezieller Teil. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Foroughi-Wehr, B. und Friedt, W. (1984): Rapid production of recombinant barley yellow mosaic virus resistant *Hordeum vulgare* lines by anther culture. Theor. Appl. Genet. 67, 377-382.
- , - und Wenzel, G. (1982): On the genetic improvement of androgenetic haploid formation in *Hordeum vulgare* L. Theor. Appl. Genet. 62, 233-239.
- Franzone, P. M., Fischbeck, G., Foroughi-Wehr, B. und Friedt, W. (1984): Analysis of origin of androgenetic plants of *Hordeum vulgare* L. by the use of balanced lethal systems. Z. Pflanzenzüchtg. 93, 320-330.
- Friedt, W. (1978): Untersuchungen an autotetraploiden Gersten unter besonderer Berücksichtigung der Diploidisierung. I. Fertilität,



#### Zeichenerklärung:

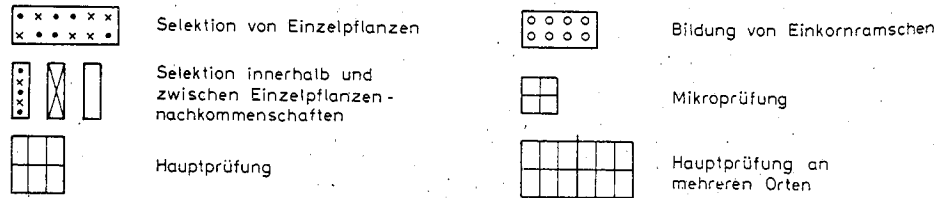


Abb. 8: Die gebräuchlichsten klassischen Zuchtverfahren bei Selbstbefruchtern (aus FISCHBECK et al. 1985)

- Vitalität und Kornertrag. Z. Pflanzenzüchtg. 81, 118–139.
- (1979): Untersuchungen an autotetraploiden Gersten unter besonderer Berücksichtigung der Diploidisierung. II. Meiosemerkmale. Z. Pflanzenzüchtg. 82, 311–339.
- (1984): Untersuchungen über die genetischen Auswirkungen von Chromosomen- und Genommanipulationen und deren Bedeutung für die Getreidezüchtung. Habil.-Schrift, Univ. Bayreuth.
- und *Foroughi-Wehr, B.* (1983): Field performance of androgenetic doubled haploid spring barley from F<sub>1</sub>-hybrids. Z. Pflanzenzüchtg. 90, 177–184.
- , *Yamagata, H.* und *Okamasa, H.* (1985): Agronomic performance under different environments of self-compatible tetraploid rye derived from a *Secale cereale* × *S. vavilovii* hybrid. Japan. J. Breed. 35, 275–284.
- , *Lind, V., Walther, H., Foroughi-Wehr, B., Züchner S.* und *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.
- Frimmel, G., Schwarzbach, E.* und *Fischbeck, G.* (1975): Quantitative Abstufung der Mehltauanfälligkeit bei acht Sommergerstensorten. Z. Pflanzenzüchtg. 74, 331–336.
- Fruwirth, C.* (1922): Handbuch der landwirtschaftlichen Pflanzenzüchtg. Bd. I, Verlag Paul Parey, Berlin.
- Fuchs, A.* (1980): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Bd. IV. Pflanzenzüchtung. S. Hirzel Verlag, Leipzig.
- Herrera-Estrella, L., van den Broek, G., Maenhaut, R., van Montagu, M.* und *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.
- Hooykaas-van Slogteren, G. M. S., Hooykaas, P. J. J.* und *Schilperoort, R. A.* (1984): Expression of Ti plasmid genes in monocotyledonous plants infected with *Agrobacterium tumefaciens*. Nature 311, 763–764.
- Kattermann, G.* (1936): Stand und Aussichten der Weizen-Roggen-Bastardierung. Prakt. Blätter Pflanzenbau Pflanzenschutz 14, 266–278.
- Kölreuter, J. G.* (1761): Vorläufige Nachricht von einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen und Beobachtungen.
- Kuckuck, H.* und *Peters, R.* (1977): Die Verwendung von *Secale vavilovii* in der Züchtung selbstfertiger tetraploider Kulturformen. Z. Pflanzenzüchtg. 79, 265–286.
- Leder, Ph.* und *Nirenberg, M. W.* (1964): RNA codewords and protein synthesis III. On the nucleotide sequence of a cysteine and a leucine RNA codeword. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 52, 1521–1529.
- Lundquist, A.* (1966): Heterosis and inbreeding depression in autotetraploid rye. Hereditas 56, 317–366.
- Müntzing, A.* (1979): Triticale. Results and Problems. Fortschr. Pflanzenzüchtg. 10, Verlag Paul Parey, Berlin.
- Muller, H. J.* (1927): Artificial transmutation of the gene. Science 66, 84–87.
- Nitzsche, W.* und *Wenzel, G.* (1977): Haploids in Plant Breeding. Fortschr. Pflanzenzüchtg. 8, Verlag Paul Parey, Berlin.
- Paszkowski, I., Shillito, R. D., Saul, M., Mandak, V., Hohn, T., Hohn, B.* und *Potrykus, I.* (1984): Direct gene transfer to plants. EMBO J. 3, 2717–2722.
- Potrykus, I., Shillito, R. D., Saul, M. W.* und *Paszkowski, J.* (1985a): Direct gene transfer – state of the art and future potential. Plant Molec. Biol. Rep. 3, 117–128.
- , *Paszkowski, J., Saul, M. W., Petruska, J.* und *Shillito, R. D.* (1985b): Molecular and general genetics of a hybrid foreign gene introduced into tobacco by direct gene transfer. Mol. Gen. Genet. 199, 169–177.
- Schwarzbach, E.*, und *Fischbeck, G.* (1981): Die Mehltauresistenzfaktoren von Sommer- und Wintergerstensorten in der Bundesrepublik Deutschland. Z. Pflanzenzüchtg. 87, 309–318.
- Sengbusch, R. v.* (1942): Süßlupinen und Öllupinen. Landw. Jb. 91, 723–880.
- Snape, J. W., Simpson, E., Parker, B. B., Friedt, W.* und *Foroughi-Wehr, B.* (1986): Criteria for the selection and use of doubled haploid systems in cereal breeding programs. Genetic Manipulation in Plant Breeding, Proc. Int. Symp., Eucarpia, Berlin.
- Stadler, L. J.* (1928a): Genetic effects of x-rays in maize. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 14, 69–75.
- , (1928b): The rate of induced mutation in relation to dormancy, temperature, and dosage. Anat. Record 41, 97.
- Watson, D.* und *Crick, F.* (1953): Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid. Nature 171, 964–967.
- Wienhues, F.* (1970): Gene aus Primitiv- und Wildformen in Kultursorten des Getreides. Votr. Pflanzenzüchter 12, 23–34, DLG-Verlag, Frankfurt/M.

*Wilson, A. S.* (1874): On the fertilisation of the cereals. Trans. Proc. Bot. Soc. Edinburgh 12, 84–96.

*Zeller, F. J.* und *Fischbeck, G.* (1974): Chromosomenadditionen, -substitutionen und -translo-

kationen als Grundlagen für die Übertragung artfremden Erbmaterials in den Saatweizen (*Triticum aestivum* L.). Fortschr. Pflanzenzüchtung Heft 4, Verlag P. Parey, Berlin Hamburg.