

## 11. Entwicklung der Zuchtmethoden

Albrecht E. Melchinger, Gitta Oettler und Wolfgang Link, Hohenheim und Göttingen

**Von den Anfängen der Pflanzenzüchtung bis hin zur ersten gezielt durch Gentechnik veränderten Kulturpflanze war es ein langer Weg. Er begann mit der Auslese von erkennbar besseren Individuen oder auch spontanen Mutanten in vorhandenen Populationen, führte zur Herstellung neuer Variabilität durch Kreuzungen, experimentelle Mutationsauslösung und schließlich molekularen Gentransfer und ermöglichte systematische Leistungssteigerungen in spezifischen Sortentypen, wie Synthetischen Sorten oder Hybridsorten. Nicht immer erwies sich ein bestimmtes Zuchtverfahren für jede Pflanzenart als anwendbar. Aber im Laufe der Jahre entstand eine Systematik der einzelnen Züchtungsmethoden, die auch heute noch Bestand hat.**

Seit dem Beginn einer gezielt betriebenen Pflanzenzüchtung im 19. Jahrhundert wurde eine Vielzahl von Zuchtmethoden zum Zweck der genetischen Verbesserung von Pflanzen entwickelt. Sowohl im Hinblick auf die Züchtungsforschung als auch die Züchtungslehre ergab sich daraus bald das Bedürfnis nach einem wissenschaftlich fundierten System der Gliederung und Ordnung der Zuchtmethoden. Die folgende Darstellung der historischen Entwicklung der Züchtungssystematik im deutschsprachigen Raum orientiert sich im Wesentlichen an der Behandlung dieses Themas in den in Deutschland während des 20. Jahrhunderts erschienenen Lehrbüchern über Pflanzenzüchtung sowie einem von F. Wolfgang Schnell (1982a) verfassten exzellenten Aufsatz über „Die Züchtungssystematik von Carl Fruwirth und ihre Nachwirkungen“.

### Züchtungssystematik<sup>1</sup>

Erste Ansätze einer Züchtungssystematik finden sich bereits in dem ersten deutschen Lehrbuch über Getreidezüchtung von Kurt Rümker (1889), damals Privatdozent in Göttingen. In diesem unterschied er zwischen Methoden der Veredelung (gemeint ist vor allem die Auslese aus Landsorten) und Neuzüchtung (durch künstliche Kreuzung). Carl Fruwirth baute diese Einteilung von Rümkers später in Weiterentwicklung eines eigenen Vorschlags zur Gliederung der Getreidezüchtung (Fruwirth 1907) zu seinem Gliederungssystem der Züchtungsarten aus, das er in der „Allgemeinen Züchtungslehre“ seines Handbuches ab der zweiten Auflage verwendete. Er trennte dabei die „Züchtungsarten“ scharf von den „Ausleseverfahren“ (z.B. Massenauslese, Individualauslese), die er unter Berücksichtigung der Auswirkungen von Selbst- und Fremdbefruchtung gesondert darstellte. Bei den Züchtungsarten unterschied Fruwirth zunächst zwischen „Veredelungszüchtung“ und „Neuzüchtung“. Erstere beinhaltet die Verbesserung oder Erhaltung von quantitativen Eigenschaften einer Zuchtsorte ohne Veränderung ihres Sortenbildes und schließt somit die Erhaltungszüchtung ein. Bei der Neuzüchtung nahm Fruwirth eine Unterteilung in „Auslese spontaner Variationen morphologischer Eigenschaften“, „Formenkreistrennung“, „Bastardierung“ und „Pfropfbastardierung“ vor. Die insgesamt fünf Züchtungsarten unterscheiden sich in seinen Worten „durch die Ziele und durch die Art der verwendeten Variationen“. Viele der Anfang des 20. Jahrhunderts erschienenen deutschen Lehrbücher

<sup>1</sup> Dieses Kapitel ist Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Adolf Martin Steiner aus Anlass seines 70. Geburtstags gewidmet. Durch seine akademische Haltung in Forschung und Lehre hat er das Hohenheimer Kompetenzzentrum für Pflanzenzüchtung über Jahrzehnte entscheidend geprägt und mitgestaltet.

der Pflanzenzüchtung (unter anderen: Lang 1910, Fruwirth u. Roemer 1923, Zade 1921) lehnten sich in ihrer Einteilung der Zuchtmethoden an das Fruwirthsche Gliederungssystem an, bei dem die Herkunft der genutzten Variabilität das entscheidende Kriterium ist.

[1]

Abweichend von Fruwirths Ansatz besprach Erwin Baur (1924) in seinem Lehrbuch die Zuchtmethoden und ihre genetischen Probleme exemplarisch an Beispieispflanzen, die entsprechend ihrer Fortpflanzungsbiologie in vier Gruppen eingeteilt wurden: „*Pflanzen, welche vegetativ vermehrt werden*“, „*Durch Samen vermehrte, fast oder doch stark vorwiegend autogame Pflanzen*“, „*Züchtung bei Pflanzen, welche sich entweder ausschließlich oder doch wenigstens überwiegend durch Fremdbefruchtung vermehren, aber künstliche Selbstbefruchtung ohne Schaden vertragen*“, „*Züchtung von Kulturpflanzen, die sich regelmäßig durch Fremdbefruchtung fortpflanzen und entweder wegen völliger Selbststerilität, Geschlechtstrennung u. dergl. überhaupt nicht durch künstliche Selbstbefruchtung vermehrt werden können, oder doch bei Selbstbefruchtung eine so starke Inzuchtdegeneration aufweisen, oder so schwer zu isolieren sind, dass eine Selbstbestäubung sich im praktischen Zuchtbetrieb nicht durchführen lässt*“. Später übernahm und erweiterte Kuckuck (1939) Baur's Gliederungssystem in seinem Lehrbuch. Das von diesen beiden Autoren verwendete Gliederungssystem, nämlich die natürliche Fortpflanzungsweise der zu züchtenden Objekte, wird bis heute international bevorzugt, so beispielsweise in dem weit verbreiteten Lehrbuch von Allard (1960, 1999).

[2]

Interessanterweise wählte auch Theodor Roemer (1940) – neben Fruwirth und Baur der wohl einflussreichste wissenschaftliche Pflanzenzüchter in Deutschland während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts – in seinem Vortrag über „*Entwicklungslinien der Züchtungsmethoden*“ die Fortpflanzungsbiologie zum ersten Kriterium seiner Gliederung und erwähnt nur an zweiter Stelle das Fruwirthsche Einteilungsprinzip „*nach der Nutzung I. natürlich gegebener, II. künstlich ausgelöster Erbvariationen*“. Das von Roemer u. Rudorf (1941) neu herausgegebene „*Handbuch der Pflanzenzüchtung*“ orientiert sich jedoch weitgehend am letztgenannten Gliederungskriterium. Roemer unterscheidet zwischen „*Auslesezüchtung*“, „*Kreuzungszüchtung*“ und der damals gerade in Mode gekommenen „*Mutationszüchtung*“. Prinzipiell ähnliche Einteilungen wurden in den Lehrbüchern von Scheibe (1951) und Hoffmann/Mudra/Plarre (1971) vorgenommen, wobei letztere die „*Polyploidiezüchtung*“ als weitere Kategorie und die Hybridzüchtung unter der missverständlichen Bezeichnung „*Heterosiszüchtung*“ als Unterpunkt der Kreuzungszüchtung hinzufügten.

[3]

Die meisten der in den 1950er-Jahren erschienenen Lehrbücher wie Kuckuck (1952) sind eher von Baur's Gedankengut beeinflusst und unterscheiden zwischen „*Auslesezüchtung*“, „*Kombinationszüchtung*“, „*Hybridzüchtung*“ und „*Mutationszüchtung*“. Dieses wird meistens begründet „*mit dem bei den einzelnen Zuchtmethoden vorherrschenden Prinzip*“ sowie mit historischen und genetischen Argumenten oder, wie Schnell (1982a) resümierte, „*dem jeweils realisierbaren genetisch-technischen Fortschritt*“.

Kurz nach Beginn seiner Lehrtätigkeit in Hohenheim schlug F. Wolfgang Schnell (1969) schließlich eine völlig neue Züchtungssystematik vor, welche „*den Vermehrungstyp der herzustellenden Sorten oder Formen*“ als entscheidendes Gliederungskriterium verwendet. Er unterscheidet vier „*Züchtungskategorien*“: „*Linienzüchtung*“, „*Populationszüchtung*“, „*Hybridzüchtung*“ und „*Klonzüchtung*“, wobei die Züchtung von Populationsorten neben den offenbestäubten auch synthetische Sorten mit einschließt (Abb. 30). In

einer Publikation – von ihm selbst als sein „zuchtmethodisches Testament“ bezeichnet – erörterte Schnell (1982b) die Spezifika jeder Züchtungskategorie anhand mehrerer Kriterien wie der Heterozygotie und Homogenität der Sorten (Abb. 31), betont aber auch die allen vier Züchtungskategorien gemeinsamen drei Zuchtungsphasen. Nicht zuletzt Dank des 1993 erschienen Lehrbuchs seines Schülers Heiko C. Becker (1993 [5]), Göttingen, hat sich diese Züchtungssystematik inzwischen in Deutschland in der akademischen Lehre weitgehend durchgesetzt. Sie liegt aber auch neueren englischsprachigen Lehrbüchern wie Simmonds (1979) zugrunde und dürfte damit die nächsten Generationen von Züchtern und Züchtungsforschern in Deutschland und weltweit in ihrem zuchtmethodischen Denken maßgeblich beeinflussen. [4]

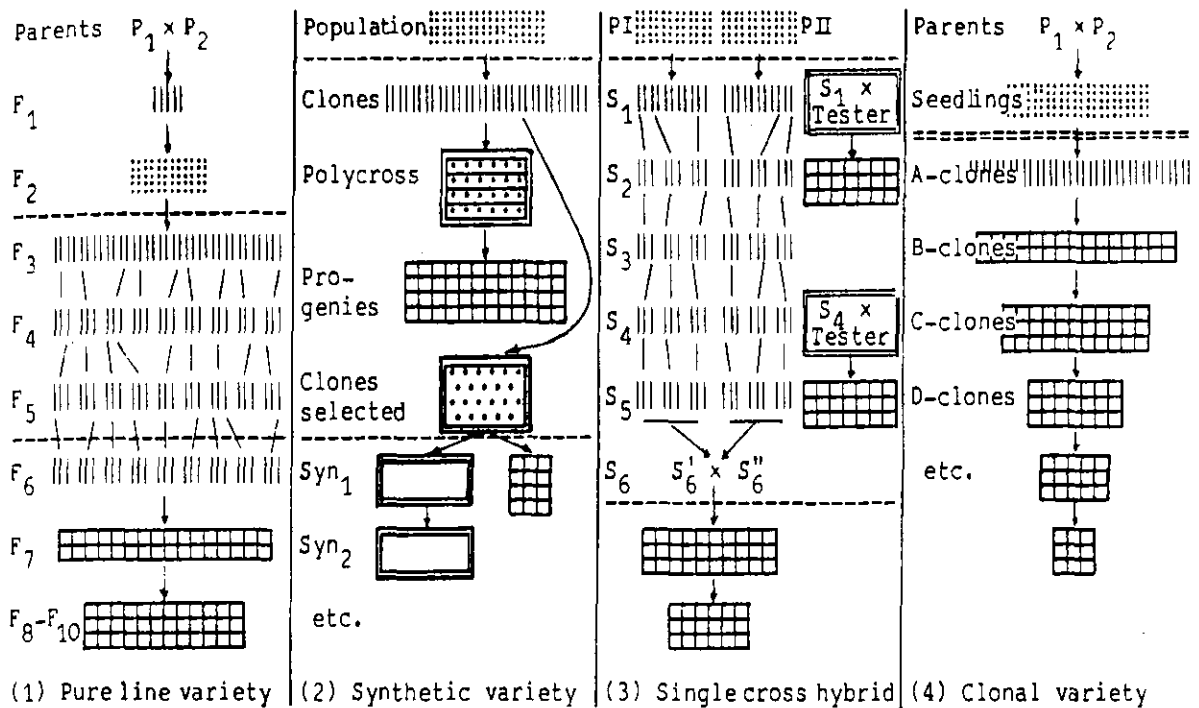


Abb. 30: Je ein typisches Zuchtschema für die vier Züchtungskategorien (Schnell 1982b).

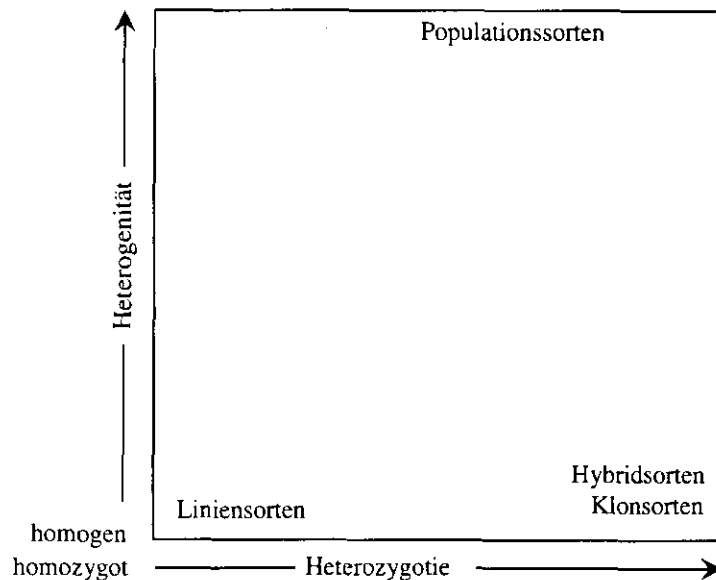


Abb. 31: Schema zur genetischen Struktur der vier Sortentypen (nach Schnell 1982b).

## Züchtung von Klonsorten

Im Unterschied zu allen anderen Züchtungskategorien, bei denen im Laufe der letzten 100 Jahre neue Züchtungsmethoden hinzukamen, waren bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts die heute praktizierten Verfahren der Klonzüchtung in ihren wesentlichen Züchtungsschritten bekannt. Einen hohen Stellenwert in dieser Zeit nahm die so genannte Veredlungszüchtung ein. Dies muss vor dem Hintergrund gesehen werden, dass das damalige Ausgangsmaterial bei vegetativ vermehrten Fruchtarten meistens genetisch heterogene Populationen waren, oder wie Fruwirth (1922) es beschreibt: *„was man bei Kartoffeln Landsorten nennt und was meist eine alte Züchtungssorte ist, die mechanisch mit anderen Sorten verunreinigt, auch durch spontane Variationen, selbst durch Pflanzen aus ausgefallenen Beeren, verändert worden ist“*. Nach Fruwirth (1908) wurde bei der Veredlungszüchtung so vorgegangen, *„dass aus Pflanzen, die gleich weit voneinander stehen, eine Anzahl ausgesucht wird, die hohes Ausmaß jener Eigenschaft zeigen, nach welcher ausgewählt werden soll. Die Nachkommen dieser ausgewählten Pflanzen, welche Elitepflanzen genannt werden, werden entweder alle zusammen oder nach Einzelpflanzen getrennt, und zwar wieder in gleicher Entfernung herangezogen. Im ersten Fall hat man Massenauslese, im zweiten Fall Individualauslese“* betrieben. Später in seinem Lehrbuch (Fruwirth u. Roemer 1923) unterschied Fruwirth im Kapitel Kartoffelzüchtung allerdings streng zwischen Einzelstaudenauslese, die *„auf Kartoffelsaatbau-Wirtschaften vorgenommen werden soll“* und *„der Auslese von Stauden mit Getrennthaltung und Prüfung der Nachkommenreihen einer jeden, mehrere Jahre hindurch, also der vergleichenden Prüfung vegetativer Linien“*. In der von der DLG mit 400 Reichsmark dotierten Beseler-Preisschrift führte Roemer (1914) aus: *„In neuester Zeit hat in der Praxis die Veredlungszüchtung der Kartoffel Beachtung gefunden, und es liegen recht ermutigende Erfolge von dieser Seite vor“*. So setzte beispielsweise F. von Lochow (1910) *„die Veredlungszüchtung zur Verhinderung des Abbaus und der Anfälligkeit für Krankheiten“* ein. Wie Fruwirth (1922) in seinem „Handbuch der landwirtschaftlichen Pflanzenzüchtung“ in 3. Band ausführt, *„liefert keineswegs jede Auslese bei Vermehrung Erfolg. Die Erklärung für den tatsächlich beobachteten Erfolg und zugleich die Erklärung für ein Ausbleiben desselben kann in dem Umstand gesucht werden, dass eine Kartoffelsorte mehrere Typen enthalten, also eine Population sein kann, aber nicht muß“*. Eine Veredlungszüchtung im Fruwirthschen Sinne wird bis heute nach wie vor bei der Erhaltungszüchtung von Klonsorten praktiziert.

Bei der Neuzüchtung von Klonsorten nennt Fruwirth (1907) als erstes die *„Züchtung mit Benutzung von spontanen Variationen oder Mutationen. Es kann in einem Feld einer rein gehaltenen Sorte eine Pflanze auftreten, welche sich deutlich von den übrigen Pflanzen des Bestandes unterscheidet. ... Der Züchter schafft einen neuen Formenkreis [gemeint ist eine Sorte], indem er eine derart abweichende Pflanze auffindet, ihre Nachkommen beobachtet, durch Auslese rein erhält und endlich den Wert des so gebildeten Formenkreises prüft“*. Fruwirth (1922) zitiert mehrere Beobachtungen berühmter Forscher wie Charles Darwin und Ernst Haeckel über das Auftreten spontaner Variationen, *„wenn diese auch recht selten sind“*, wie er selbst ausführt. Kuckuck (1939) verweist auf die Obstzüchtung, *„wo beim Stein- und Kernobst viele wertvolle Neuzuchten auf Auslesen spontaner somatischer Mutationen zurückgehen“*. Bis heute werden spontan auftretende Variationen zur Neuzüchtung vegetativ vermehrter Arten insbesondere bei Zierpflanzen und Obstgehölzen genutzt, wengleich der Züchter neuerdings damit Gefahr läuft, *„im Wesentlichen abgeleitete Sorten“* (siehe S. 537) zu erzeugen. Die später auch in Deutschland auf Anraten

mehrerer Wissenschaftler (u.a. Baur, Stubbe) seit den 1940er-Jahren betriebene Mutationszüchtung erzielte ihre größten, wenngleich nur bescheidenen Erfolge ebenfalls bei Obstgehölzen und Zierpflanzen (Schmalz 1980). Ähnliches trifft auf die in Gewebekultur auftretende „somaklonale Variation“ zu, in die während der 1980er-Jahre besonders bei vegetativ vermehrten Pflanzenarten große Hoffnungen gesetzt wurden.

Als weitere Methode nennt Fruwirth (1922) die Neuzüchtung durch Formenkreistrennung, die besonders bei Landsorten anzuwenden sei *„indem deutlichere Unterschiede in Blüten-, Knollen-, Blattfarbe usw. beobachtet werden. Die Auslese zwischen den Formen kann ebenso vorgenommen werden, wie zwischen vegetativen Linien. Die Beurteilung der Formen bei der Prüfung hat dann natürlich auch alle Eigentümlichkeiten ins Auge zu fassen, welche die Leistung oder Verwendbarkeit irgendwie beeinflussen“*. Diese Form der Züchtung wurde bei Landsorten wie dem Tettlinger Hopfen noch bis in die 1970er-Jahre praktiziert (Schmütz u. Epple 1981), wird heutzutage aber aufgrund des Verschwindens von Landsorten bei vielen vegetativ vermehrten Arten kaum noch praktiziert.

Übereinstimmend wird von mehreren Autoren nach der Jahrhundertwende (u.a. Fruwirth 1907, Fruwirth u. Roemer 1923) die *„Züchtung auf dem Wege der Bastardierung“* als am weitesten verbreitet beschrieben. Roemer (1914) resümiert: *„Die heutige Kartoffelzüchtung basiert auf der künstlichen Bastardierung beliebiger Sorten, deren gute Eigenschaften der Züchter vereinigen will“*. Doch äußert er die Vermutung, *„dass ein großer Teil der heutigen Kartoffelzüchtungen spätere [durch Selbstung entstandene] Generationen früherer Bastardierungen darstellen“*. Fruwirth u. Roemer (1923) führen allerdings aus, dass *„starke Empfindlichkeit gegen Inzestzucht bei Selbstbefruchtung festgestellt worden ist“*. Sie beschreiben detailliert den Zuchtgang ab der Herstellung der Kreuzung und Sämlingsgeneration, denn *„man muss daher allgemein damit rechnen, dass Samen ein und derselben Beere verschiedene Anlagen mitbekommen haben. Es hat daher jeder Sämling den Ausgang einer vegetativen Linie zu bilden. ... Jede vegetative Linie muss geprüft werden, denn äußerlich ähnliche, ja gleiche Linien können in ihren Leistungen weit verschieden sein“*.

Im Wesentlichen wird die Neuzüchtung von Klonsorten bis heute in der von Fruwirth (1922) beschriebenen Weise praktiziert (Abb. 32). Lediglich das Prüfungssystem für die Klone wurde in den folgenden Dekaden verfeinert. So empfahl Kuckuck (1939) die Verwendung von Vergleichssorten als „Standard“ bei der Prüfung der A-Klone. Ab der Prüfung der B-Klone sollten Wiederholungen angelegt und bei größeren Parzellen nur die Kernreihen beerntet werden, um Nachbarschaftseffekte zu vermeiden.

Anfang der 1970er-Jahre gelang Georg Melchers und Mitarbeitern in Tübingen erstmals die Herstellung somatischer Hybriden mittels Protoplastenfusion (Melchers u. Labib 1974). Aufbauend auf der somatischen Hybridisierung dihaploider Linien entwickelten Wenzel et al. (1979) das Schema eines analytisch-synthetischen Zuchtanges (siehe S. 218 f). Ziel dieses vierstufigen Verfahrens ist es, bei der autotetraploiden Kartoffel unterschiedliche Resistenzfaktoren in einem Genotyp zu vereinen. Das Verfahren fand bislang in der Praxis jedoch keinen Eingang, da (1) das Ziel der Kombination verschiedener Resistenzen auch durch konventionelle Klonzüchtung erreicht werden kann und (2) somatische Hybriden, die aus verschiedenen Fusionsereignissen derselben Elternkombination hervorgehen, im Unterschied zu sexuellen Hybriden homozygoter Eltern genetisch nicht uniform sind.

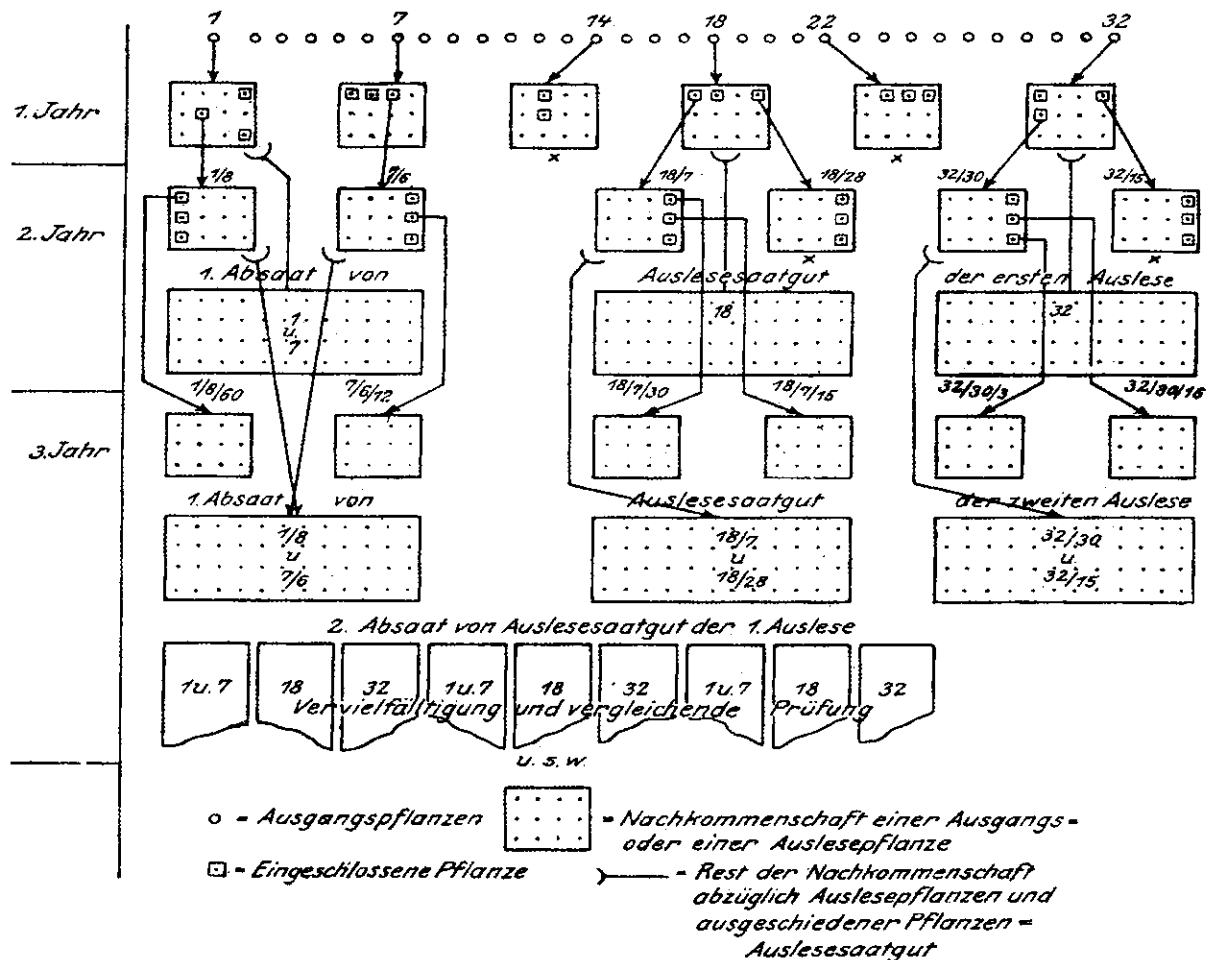


Abb. 32: Ausleseschema in der Klonzucht mit Einschluss je einiger Elitepflanzen (nach Fruwirth 1922).

In gleicher Weise fand auch ein Vorschlag von Schnell (1978) zur Nutzung heterotischer Gruppen in der Klonzucht bislang keinen Eingang in die züchterische Praxis. Dieser beinhaltet die Auswahl und Bildung zweier genetisch divergenter Genpools. Durch Kreuzung von Eltern aus verschiedenen Genpools zur Herstellung von Experimentalklonen und deren vegetative Vermehrung sollte es möglich sein, analog dem Vorgehen in der Hybridzüchtung den Heterosiszuwachs in Kreuzungen zwischen Formenkreisen systematisch in Sorten zu nutzen. Im Unterschied zur derzeitigen Praxis in der Klonzucht, bei der Elitesorten als Kreuzungseltern zur Erstellung neuen Zuchtmaterials verwendet werden können, wäre dieses bei konsequenter Anwendung des Genpool-Konzeptes allerdings nicht möglich. Vielmehr müssten die Elternpools getrennt züchterisch verbessert werden und dienen ausschließlich zur Bereitstellung von Kreuzungseltern für potenzielle Experimentalklone.

Während bei der Neuzüchtung von Klonsorten neue Methoden bislang kaum Eingang fanden, hat sich seit den 1980er-Jahren in der Erhaltungszüchtung die Methode der Mikrovermehrung (Mix 1981) bei vielen vegetativ vermehrten Arten (z.B. Kartoffel, Erdbeere) durchgesetzt. Neben der Bereitstellung von virusfreiem Pflanzgut können damit auch drei bis vier Jahre der Feldvermehrung eingespart und die Vermehrung somit weit risikofreier gestaltet werden. Mit der somatischen Embryogenese, einem in den USA bereits in großem Maßstab zur Züchtung und Vermehrung von Waldbäumen eingesetzten, biotechnologischen Verfahren (Mann u. Plummer 2002), steht zudem der Weg offen, bei

vielen Pflanzenspezies anstelle von Populationssorten künftig Klonsorten zu züchten. Gleiches würde zutreffen, wenn es aufgrund derzeitiger internationaler Forschungsanstrengungen gelingen sollte, Apomixis zur Reproduktion von Hybridgenotypen mittels Samenvermehrung in wichtigen Gramineen wie dem Mais und Reis zu nutzen. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Bedeutung der Klonzüchtung in Zukunft beträchtlich zunehmen wird.

### **Züchtung von Liniensorten**

Das älteste und einfachste Verfahren in der Züchtung, das auch bei Selbstbefruchtern bis ins 20. Jahrhundert praktiziert wurde, ist die Massenauslese. Als Ausgangsmaterial für die Selektion dienten anfänglich die alten Landsorten. Beispielsweise gingen aus der böhmisch-mährischen Hannagerste durch Veredelungs- und Massenauslese-Züchtung zu Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts die Sorten 'Rimpaus Hannagerste', 'Mahn-dorfer Hannagerste' und 'Heines Hannagerste' hervor (Hillmann 1910). Die Errichtung einer staatlichen Saatzuchtanstalt in Weihenstephan 1902 diente der zielgerichteten Bearbeitung von Landsorten bei Sommergerste, Winterweizen, Hafer und Erbsen, um daraus leistungsfähige Liniensorten für die vielgestaltigen Klima- und Bodenverhältnisse des Kleingrundbesitzes in Bayern zu entwickeln, „*denn die Landsorten stellen gewissermaßen ein unerschöpfliches, natürliches Reservoir für die Gewinnung neuer Sorten überhaupt dar*“ (Kießling 1912). In der modernen Züchtung erfüllt die Massenauslese lediglich noch die Aufgabe der Reinerhaltung fertiger Sorten, indem Abweicher vom Sortentyp aus dem Bestand entfernt werden.

Eine höhere Stufe der Massenauslese war die Gruppenauslese („Gruppenzüchtung“), wobei ausgelesene Pflanzen nach bestimmten Merkmalen in Gruppen eingeteilt und diese getrennt vermehrt wurden. Auf diese Weise entstanden in Weihenstephan Anfang des 20. Jahrhunderts aus der Landsorte 'Fichtelgebirgshafer' eine weißkörnige und eine gelbkörnige Sorte. Aus einem bayerischen Landweizen wurden eine braunspelzige und eine weißspelzige Form entwickelt.

Sowohl die Massenauslese als auch die Gruppenauslese galten nur als Vorstufe der eigentlichen Züchtung. Als Hauptmangel der Ausleseverfahren wurde erkannt, „*dass der Züchter über den Kernpunkt seiner ganzen Arbeit: die Vererbungsfähigkeit des einzelnen Individuums, im unklaren bleibt*“ (Leidner 1915).

Der Massenauslese steht methodisch die Individualauslese gegenüber, die in ihren Anfängen 1856 auf den Franzosen de Vilmorin („Isolationsprinzip“) zurückgeht. Durch die Verlagerung des Schwergewichtes auf die Bewertung der Nachkommenschaften brachte das züchtungstechnische Verfahren der Individualauslese mit Nachkommenschaftsprüfung einen entscheidenden Fortschritt in der Pflanzenzüchtung.

### **Auslese der besten Einzelpflanzen**

Bei der Individualauslese werden Jahr für Jahr aus den besten Nachkommenschaften erneut Einzelpflanzen oder Einzelähren (Eliten) ausgelesen und diese geprüft. Dieses Verfahren bezeichnete Fruwirth (1908) als „Deutsches Ausleseverfahren“, da es zuerst und unabhängig von de Vilmorin vorwiegend in Deutschland von Ferdinand von Lochow, Petkus, allerdings beim Fremdbefruchter Roggen (s. unten), angewendet wurde. Das Verfahren wird auch „Pedigree“- oder „Stammbaumzüchtung“ genannt. Es werden ab  $F_2$  und in allen

folgenden Generationen Einzelpflanzen oder Einzelähren selektiert, die in der kommenden Generation als Horst oder Einzelreihe angebaut werden. Nach einigen Generationen erfolgt die Prüfung der Nachkommenschaften.

In der Folgezeit wurde über die Wirksamkeit des Deutschen Ausleseverfahrens in der Selbstbefruchterzüchtung diskutiert, da es gewissermaßen eine „Veredelungsauslese-Züchtung“ sei, die nur die individuelle Variation innerhalb einer Selbstbefruchterlinie nutzt und, im Gegensatz zum Fremdbefruchter, keine neue Variation schafft. Eine Umfrage von Sessous (1929) ergab, dass die Mehrheit der Züchter an diesem Verfahren trotz der hohen Belastung durch Mehrarbeit und Kosten festhielt. Einige Züchter betrieben neben dem Deutschen Ausleseverfahren auch „Bastardierungszüchtung“; offenbar war den Betreffenden klar, dass erst durch Kreuzung neue Variation geschaffen wird.

### ***Neues durch Kreuzung***

Noch 1949 beklagte Roemer, dass nach den klassischen Arbeiten des dänischen Botanikers Johannsen 1903 zur Definition einer reinen Linie viele Jahrzehnte vergingen, bis die Pflanzenzüchter in Deutschland die Schlussfolgerungen für die praktische Züchtung zogen, dass nur durch Kreuzung Neues geschaffen werden kann. *„Warum so viele Jahre nutzlos ins Land gehen mussten, ... bleibt mir ein unlösbares Rätsel“* (Roemer 1949). Erst in den 1920ern begannen *„die wirklich fortschrittlichen Züchter Deutschlands an die Stelle der bisherigen Erhaltungszüchtung die Neuzüchtung durch Kreuzung zu setzen, die W. Rimpau schon 1880-1890 ausübte“*. Allerdings hatte Friedrich Strube, Schlanstedt, um diese Zeit bereits ebenfalls mit ersten künstlichen Kreuzungen und Nachkommenschaftsprüfungen bei Weizen und Erbsen begonnen, und Jakob Ackermann, Irlbach, brachte 1924 die aus der Kreuzung zweier Landgersten ‘Bavaria’ x ‘Danubia’ hervorgegangene und sehr erfolgreiche Braugerstensorte ‘Isaria’ auf den Markt (Fischbeck u. Keydel 2000). Bei der Firma von Lochow-Petkus wurde die Haferzüchtung 1921 durch Walther Laube auf „Kreuzungszüchtung“ mit Einzelpflanzenauslese umgestellt. Die Kreuzung ‘von Lochows Gelbhafer’ x ‘ungezüchteter oberschlesischer Weißhafer’ führte 1935 zur Zulassung von ‘Flämingsgold’, die eine führende Sorte wurde (von Lochow et al. 2004).

Nach der Schaffung neuer Variation durch Kreuzung steht für die Entwicklung von Liniensorten neben der bereits erwähnten älteren Pedigree-Methode eine zweite, jüngere Zuchtmethode zur Verfügung. Um 1920 führte Nilsson-Ehle in Svalöf/Schweden das so genannte Ramschverfahren (englisch „bulk method“) in die Züchtung ein. Die Ernte der  $F_1$ -Pflanzen wird gemeinsam als  $F_2$ -Generation ausgesät, auch so geerntet und in den Folgegenerationen immer wieder ramschmäßig vermehrt. Sind die Pflanzen in  $F_4$  oder  $F_5$  hinreichend homozygot, können der Anbau und die Auslese von Einzelpflanzen oder Einzelähren mit Nachkommenschaftsprüfung beginnen. Dieses Verfahren wurde beispielsweise bei der Züchtung der Petkuser Hafersorte ‘Flämingsgold’ angewendet. Obwohl die Stammbaummethode in der Züchtung weit verbreitet ist, kann auch mit der Ramschmethode erfolgreich gezüchtet werden. Sehr häufig werden beide Verfahren kombiniert.

### ***Ramschen für den schnelleren Fortschritt***

Wesentliche Aspekte in der Züchtung sind die Beschleunigung des Zuchtgangs und die Reduzierung der Zuchtgartenfläche in frühen spaltenden Generationen. Beides lässt sich über Modifikationen der oben genannten Zuchtschemata mittels der Einkornramschen (single seed descent) -Methode erreichen. Goulden, USA, schlug diese 1941 zuerst vor und Brim



(1966) beschrieb sie später bei Sojabohnen. Sie fand Mitte der 1980er-Jahre bei Sommergerste Eingang in die deutsche Züchtung, nachdem die dafür erforderliche Gewächshauskapazität zur Verfügung stand. Bei dieser Methode werden keine Einzelpflanzen selektiert; vielmehr wird in frühen Generationen ( $F_2$  bis  $F_4$ ) von jeder Pflanze nach Zufall ein Korn geerntet und in einem kleinen Topf auf engem Raum im Gewächshaus ausgesät. So kann mit zwei oder drei Generationen im Jahr der Zuchtgang beschleunigt, Platz gespart und rasch Homozygotie erreicht werden. Die Einkornramsche-Methode findet heute vor allem in der Züchtung von solchen Pflanzenarten Anwendung, die keinen Vernalisationsbedarf haben, so beispielsweise bei der Sommergerste.

Eine weitere Modifikation ist die, insbesondere hinsichtlich der Verkürzung des Zuchtanges, der Einkornramsche-Methode vergleichbare Haploidentechnik. Diese Möglichkeit wird seit einer Veröffentlichung von Blakeslee et al. Anfang der 1920er-Jahre diskutiert. Aber erst die Entdeckung von Guha u. Maheswari (1964), dass aus Pollen *in vitro* haploide Pflanzen regenerieren können, war Auslöser für zahlreiche Arbeiten, auf diese und andere Weise und anschließende Chromosomenverdoppelung so genannte Doppelhaploide (DH) herzustellen. Heute sind solche Verfahren bei den verschiedensten Pflanzenarten gebräuchlich. Durch Nutzung von DH können in der Linienzüchtung homozygote Linien bereits aus der  $F_1$  in einem Schritt, anstatt bei natürlicher Selbstbefruchtung nach einer Reihe von spaltenden Generationen ausgelesen werden. Auch aus Eizellen können in interspezifischen Kreuzungen Haploide *in vivo* entstehen und für die DH-Produktion genutzt werden, so bei Gerste mit *Hordeum bulbosum* oder bei Weizen mit Mais als „Induktorpollen“ (siehe S. 217).

Die Nutzung solcher DH-Linien in der Linienzüchtung entwickelte sich seit den 1980er-Jahren zunehmend zur Routinemethode. In der Züchtergemeinschaft Sommergerste der DDR wurde mit der *H. bulbosum*-Methode gearbeitet und 1987 erstmals eine DH-Linie in die amtliche Hauptprüfung aufgenommen (Richter u. Heinrichs 2001). Bei der Firma Nordsaat wurde die Antheren-Methode nach einer wesentlichen Verbesserung durch Jäger-Gussen ab 1988 von Laubach zunächst bei Wintergerste und später bei Sommergerste angewandt. Bereits 1995 konnte je eine aus Antherenkultur entwickelte Winter- und Sommergerstensorte beim Bundessortenamt zugelassen werden (Laubach 1998). In nahezu allen Zuchtunternehmen hat heute die DH-Methode bei Gerste Eingang in die Linienzüchtung gefunden; von einigen Züchtern wird sie auch bei Weizen verwendet. Daneben spielt sie eine wichtige Rolle bei der Erzeugung spaltender Populationen in der Genomkartierung.

### Züchtung von Populationsorten

In der Populationszüchtung sind eine Vielzahl von Zuchtmethoden und Verfahren möglich, die zudem ineinander übergehen können. Das wichtigste Ziel aller Methoden ist es, bei der Verbesserung einer Fremdbefruchterpopulation durch geeignete Bestäubungslenkung eine größere Effektivität zu erreichen.

Bei fremdbefruchtenden Arten wie Roggen, Mais oder Beta-Ärten besteht die Population aus mehr oder weniger heterozygoten Pflanzen. Die einfachste und ohne Bestäubungslenkung noch bis ins 20. Jahrhundert praktizierte Methode war die Massenauslese. Das auf selektierten Pflanzen geerntete Saatgut wird gemischt und wieder angebaut. Daraus entsteht in der Folgegeneration die „veredelte“ Population. Die systematische Pflanzenzüchtung in Deutschland setzte im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts mit der „Verede-

lung“ vorhandener Landsorten durch Massenauslese ein. Der Wegbereiter der deutschen Getreidezüchtung, Wilhelm Rimpau, Schlanstedt, begann bereits 1867 durch mehrfache Ähren- und Körnerauslese mit der Verbesserung der alten Landsorte ‘Probsteier Roggen’ und schuf so den ‘Schlanstedter Roggen’, der sich durch längere Ähren und bessere Erträge auszeichnete. Mit der Landsorte ‘Zeeländer Roggen’ begann Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts bei den Zuchtstätten Krafft, Buir, und Heine, Hadmersleben, die Roggenzüchtung und führte nach mehrjähriger Auslese zu den Sorten ‘Kraffts Zeeländer Roggen’ und ‘Heines Zeeländer Roggen’.

Eine Maiszüchtung begann Hans Lang an der Großherzoglichen Badischen Saatanzuchtanstalt Hochburg im Jahr 1909. Aus einer Landsorte des Breisgauer Gebietes schuf er nach „Kolben- und Massenauslese“ den ‘Gelben Badischen Landmais’ und den ‘Weißen Kaiserstühler Landmais’. Beide Sorten „konnten in größerem Umfang im Jahr 1921 der Öffentlichkeit übergeben werden“ (Buß 1925). Lange Zeit galt jedoch, „daß bis heute von allen Zuchtmethoden beim Mais die reine Veredelungszüchtung, aufgebaut auf einem umfangreichen Ausgangsmaterial, die größten Erfolge erzielt hat“ (Lieber 1926).

Eine Bestäubungslenkung kann dadurch erreicht werden, dass unerwünschte Pflanzen bereits vor der Blüte entfernt werden oder überhaupt nicht zur Blüte kommen. Nur die Pollenwolke erwünschter Pflanzen kommt dann zur Bestäubung. Von Lochow, Petkus, gelang durch fortgesetzte Auslese nur der zur Reife kommenden Pflanzen des im Februar/März 1896 ausgesäten ‘Petkuser Winterroggens’ die Umzüchtung zum ‘Petkuser Sommerroggen’. Dies war der erste deutsche Sommerroggen, der 1905 in den Handel kam (Hillmann 1910). Aber die züchterische Verbesserung wichtiger Eigenschaften wie Ertrag oder Inhaltsstoffe, die erst nach der Blüte beurteilt werden können, ist bei Massenauslese wenig wirksam. Zu Recht wird zu Beginn des 20. Jahrhundert darauf hingewiesen, dass die Massenauslese „als unzureichend und nicht mehr zeitgemäß zu bezeichnen ist“ (Leidner 1915).

### ***Bestäubungslenkung durch Mutterstammbaum***

Eine weitere Verbesserung der Bestäubungslenkung brachte die Individualauslese mit Trennung der Nachkommenschaften. Für diese führte von Rümker (1908), Breslau, für Fremdbefruchter den Ausdruck „Mutterstammbaumzüchtung“ in die Systematik ein. Erst die Trennung in Nachkommenschaften mit anschließender Prüfung ermöglichte große Fortschritte. Von Rümker (1911) wies mit Nachdruck darauf hin, dass „jede Züchtung ohne Leistungsprüfung der Nachkommenschaft ein Griff ins Dunkle“ ist. Bei der Mutterstammbaummethode wird nach dem Genotyp der Mutter ausgelesen, und der Unterschied zwischen den Einzelpflanzennachkommenschaften beruht allein auf der Mutterpflanze, da alle selektierten Pflanzen von derselben Pollenwolke bestäubt werden.

Anfang der 1890er entwickelte Ferdinand von Lochow, Petkus, die Massenauslese zum „Deutschen Ausleseverfahren“ der Mutterstammbaummethode und ermöglichte damit eine wesentliche Leistungssteigerung bei Roggen. Bei der Zuckerrübe wurde die Mutterstammbaummethode schon 1885 in der Firma Gebr. Dippe, Quedlinburg, angewandt und 1890 bei Rabethge & Giesecke in Kleinwanzleben eingeführt. Bei Futterrüben benutzte W. von Borries-Eckendorf diese Methode seit 1894. Auch Wilhelm Rimpau, Schlanstedt, begann in den 1890ern durch „Stammbaumzucht“ die Neuzüchtung des ‘Schlanstedter Roggens’ (Hillmann 1910).

Eine wirksamere Bestäubungslenkung als bei der Mutterstammbaummethode wurde mit der „Methode der Reserven“ (Restsaatgutmethode) für diejenigen Fremdbefruchter erreicht, deren Nutzungswert erst nach der Blüte ermittelt werden kann. Dieses als „Ohio-Methode“ 1905 in USA für Mais entwickelte Verfahren führte Laube 1920 in Petkus bei Roggen ein (von Lochow et al. 2004). Von selektierten Einzelpflanzen wurde nur die Hälfte des Saatgutes ausgesät, die andere Hälfte als Reserve zurückbehalten. Aus dem Reservesaatgut aufgezogen, bestäuben sich im nächsten Jahr nur die Nachkommenschaften mit guten Eigenschaften untereinander.

### **Weitere Verbesserung der Bestäubungslenkung**

Eine weit strengere Lenkung der Bestäubung wird mit der „Separierungszüchtung“ erzielt, die Heribert-Nilsson in Schweden um 1910 für den Roggen entwickelte. Es handelt sich dabei um eine züchtungstechnische Maßnahme. Restsaatgut von Elitepflanzen, deren Nachkommenschaften sich als wertvoll erwiesen haben, wird in räumlicher Isolierung (Isoliergärten) angebaut, sodass eine Bestäubung nur innerhalb jeder Einfamilie, also zwischen Halbgeschwistern, stattfinden kann. Dieses Verfahren wurde bei Roggen, aber auch bei zweijährigen Pflanzen wie Futter- und Zuckerrüben genutzt. Für Anbaugelände, in denen die Luft von Pollenmengen der gleichen Pflanzenart erfüllt ist, hat Franz Frimmel, Brünn. 1924 das Separierungsverfahren für Roggen zum „Miss Amerika-Aggregat“ (Frimmel u. Baranek 1935) weiterentwickelt. Bei spezieller Anordnung der Eltern und Großeltern in Mantelschutzbeständen um jede Einfamilie wird nur die „phänotypisch Schönste“ zur Weiterzüchtung verwendet. Das Verfahren fand jedoch in dieser Form in der praktischen Züchtung keine Verbreitung.

Die strengste Form der Bestäubungslenkung auf der mütterlichen und väterlichen Seite wird durch die „dialele Kreuzungsmethode“ erreicht. Um auch bei quantitativen Eigenschaften „Einblick in den Erbwert der Väter“ zu bekommen, empfahl Roemer in Fruwirths Handbuch 1923, diese von Schmidt, Kopenhagen, 1919 bei Forellen durchgeführte Methode auch in der Veredelungszüchtung von Roggen zu nutzen. Er schlug vor, dass „je eine Ähre einer Mutterpflanze mit je einer Ähre einer anderen Vaterpflanze in eine Pergamenttüte eingeschlossen wird“. Bei dieser Methode der Vollgeschwister-Selektion (engl. full-sib selection), die von von Sengbusch, Luckenwalde, dann Ende der 1930er als „Pärchenzüchtung“ bei Roggen und Gemüsearten praktiziert wurde, blühen die Pflanzen somit nicht offen ab, sondern werden paarweise in allen nur möglichen Kombinationen gekreuzt. Bei vegetativ vermehrbaren Arten können auch Klonteile verschiedener Elitepflanzen so miteinander gekreuzt werden. Die Selektion erfolgt anschließend zwischen den Kreuzungsnachkommenschaften (Vollgeschwister-Familien), und die nach ihrer allgemeinen Kreuzungsleistung besten Eltern werden zu der verbesserten Population vereinigt.

### **Züchtung von Synthetischen Sorten**

Die ursprüngliche Idee für diesen Sortentyp stammt von den amerikanischen Züchtungsforschern Hayes u. Garber (1919). Diese schlugen vor, bei Mais anstelle von Hybrid-sorten so genannte synthetische Populationen zu erstellen. Hayes et al. (1944) berichteten bereits über umfangreiche experimentelle Ergebnisse zur Leistung Synthetischer Sorten bei Mais. Heute versteht man unter einem „Synthetik“ eine Populationssorte, die aus einer bestimmten Anzahl geprüfter Komponenten hergestellt und aus diesen immer wieder neu „synthetisiert“ wird. Typischerweise sind die Komponenten entweder Linien oder Klone.

Die an den Landwirt oder Gärtner abgegebene Vermehrungsgeneration (meist Syn-2 bis Syn-4) kann in der Regel ohne genetische Leistungsänderung aus dem Erntegut nachgebaut werden.

In der deutschen Fachliteratur werden Synthetiks bereits in der ersten Auflage des Handbuchs der Pflanzenzüchtung von Roemer u. Rudorf (1941) erwähnt. Die Autoren zitieren dabei Hayes u. Garber (1919) und stellen fest: *„Diese Züchtungsmethode ist noch sehr jung und wenig erprobt“*. Als Komponenten erwähnen sie ausschließlich Inzuchtlinien und gehen von einer direkten Erhaltung der synthetischen Population selbst aus. Einerseits empfehlen sie für die Vermehrung von Synthetiks eine klassische Erhaltungszüchtung wie bei Populationssorten durchzuführen. Andererseits verstehen sie die Züchtung von Synthetiks als eine mit Nachteilen behaftete einfachere Variante der Hybridzüchtung. Im Lehrbuch von Kuckuck u. Mudra (1950) wird zu diesem Vergleich ausgeführt: *„Einfacher gestaltet sich die Erzeugung synthetischer Sorten. Hierbei geht man von mehreren Inzuchtlinien, etwa 10, aus, mischt dieselben und erzielt dadurch im folgenden Jahre eine natürliche Bestandeskreuzung, die das Heterosissaatgut für den Handel hervorbringt. Dieses Saatgut kann mit Erfolg mehrere Jahre nachgebaut werden. Selbstverständlich müssen die zu einer synthetischen Sorte vereinigten Linien sorgfältig auf Grund vorhergehender Testkreuzung ausgesucht werden“*.

Seit den 1960er-Jahren begann man mit der Züchtung Synthetischer Sorten bei Futterpflanzen auf der Basis von Klonen. Ein zuchtmethodisch wichtiger Schritt war hierbei, den unabhängig von Wellensiek (1947) und Frandsen u. Frandsen (1948) vorgeschlagenen Polycross-Test zur Bewertung der allgemeinen Kombinationsfähigkeit der Klone zu verwenden. Karl-Heinz Beuster gebührt der Verdienst, in Deutschland bereits vor 1960 den Polycross-Test eingeführt und mit dem Deutschen Weidelgras 'NFG 13' die erste Synthetische Sorte bei Gräsern gezüchtet zu haben. Hierfür wurden Polycross-Nachkommenschaften in fünf Jahren an vier Orten in Leistungsprüfungen getestet und anhand dieser Daten die Klone der 14 besten Nachkommenschaften zu der Synthetischen Sorte zusammengefügt (Beuster 1995). In der DDR veröffentlichten Keppler u. Steuckardt (1962) entsprechende Untersuchungen an der Luzerne. Anschließend wurden die Ergebnisse von der Züchtergemeinschaft Luzerne in der Entwicklung der ersten gegen *Verticillium* resistenten Luzerne-Synthetiks 'Vertibenda' (1973) und 'Verco' (1978) umgesetzt (Steuckardt 1996).

Anfang der 70er-Jahre wurden auch wesentliche Fortschritte bei der Entwicklung der quantitativ-genetischen Theorie für Synthetische Sorten (Busbice 1969, Gallais 1976, Wright 1974) veröffentlicht. Der Stand der Forschung wurde im Jahre 1982 im ersten Heft der GPZ-Reihe „Vorträge für Pflanzenzüchtung“ dargestellt und für die Züchter in Deutschland verfügbar gemacht. In seinem Beitrag zu dieser Tagung weist Schnell (1982c) die Synthetischen Sorten eindeutig der Kategorie der Populationszüchtung zu, da sie als Populationen vermehrt werden. Eine Abgrenzung innerhalb der Populationszüchtung erfolgt anhand der Erhaltungszüchtung: Während diese bei offenbestäubten Sorten direkt mit den Populationen selbst durchgeführt wird, erfolgt sie bei Synthetischen Sorten über die Erhaltung der Komponenten. Becker (1982) behandelte in seinem Vortrag das Problem der Leistungsvorhersage in der Synthetikzüchtung, das sich aufgrund der sehr großen Zahl potenzieller Synthetiks, die aus einem vorgegebenen Satz von Komponenten herstellbar sind, in weit schärferer Form als in der Hybridzüchtung stellt. Er erläuterte das Konzept der GVA (General Varietal Ability) und SVA (Specific Varietal Ability) und wies nach,

dass bei Synthetiks mit wenigen Komponenten die Eigenleistung der Komponenten eine merkliche Rolle bei der Auslese spielen kann. Das Konzept der GVA und SVA erfuhr später eine Erweiterung für den Fall partieller und genotyp-abhängiger Fremdbefruchtung (Link u. Ederer 1993). Geiger (1982) analysierte im gleichen Zusammenhang den Inzuchtkoeffizienten und dessen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Sorte in Abhängigkeit von Ploidie, Komponentenzahl, Inzuchtstatus der Komponenten und Selbstbefruchtungsanteil der Komponenten. Trotz dieser intensiven Bemühungen um einen Wissenstransfer forderte Buttenschön (1983) von der Wissenschaft: *„Dem Züchter sollte eine leicht verständliche Formel zur Verfügung stehen, durch die er die optimale Breite seines Zuchtaufbaus auch dann ermitteln kann, wenn ihm nur Schätzwerte zur Verfügung stehen, ... wie es in der Gemüsezüchtung in der Regel der Fall ist“*.

Neben Futterpflanzen wurden die Erfolgsaussichten Synthetischer Sorten auch bei partiell allogamen Arten wie Raps und Ackerbohne erforscht (Link et al. 1994, Schuster u. Friedt 1985). Letztere schlugen Synthetiks als Alternative zu Hybridsorten bei Winter- und Sommerraps und weißem Senf vor. Inzwischen haben sich in Deutschland bei Winterraps Hybridsorten als erfolgreiche Alternative zu Liniensorten etabliert. Bei Ackerbohnen, wo Hybridsorten bislang nicht verfügbar sind und die Fremdbefruchtungsrate mit 50 Prozent deutlich höher ist als bei Raps, werden erfolgreich Synthetische Sorten gezüchtet, wie die im Jahr 2003 zugelassene Sorte 'Quattro' von der Norddeutschen Pflanzenzucht H.G. Lembke belegt.

Als Bindeglied zwischen Synthetischen Sorten und Hybridsorten schlug Skiebe (1989) bei Sellerie (hoher Vermehrungskoeffizient, geringer Saatgutbedarf) die Züchtung so genannter „Semi-Hybriden“ vor. Er verwendet diesen Begriff für die Nachkommenschaft einer einzigen Komponente als Mutter und nur einem Vater, wobei anstelle der Pollensterilität die Selbstung der Mutter durch Pollenübergewicht des Vaters weitgehend ausgeschlossen werden soll. Ein entsprechender Vorschlag zur Züchtung von „Quasi-Hybriden“ bei Ackerbohnen stammt von Link et al. (1994), wobei hier allerdings Inzuchtlinien als Komponenten vorgesehen sind. Insgesamt ist jedoch nicht zu übersehen, dass die Züchtung Synthetischer Sorten stark mit der Hybridzüchtung konkurriert und diese trotz des größeren Aufwandes bei der Züchtung und Produktion der Sorten den Vorteil bietet, dass ein Nachbau für den Landwirt mit hohen Ertragseinbußen verbunden ist.

### **Züchtung von Hybridsorten**

Die wesentlichen Prinzipien der Hybridzüchtung wurden von dem amerikanischen Genetiker George H. Shull auf der Grundlage mehrjähriger Experimenten bei Mais vor etwa 100 Jahren abgeleitet. Seine Befunde zur Inzuchtdepression und Heterosis (Shull 1908, 1909) fanden in Deutschland rasch große Beachtung, denn es *„war sofort klar, dass diese Dinge für die Praxis der Züchtung von sehr großer Bedeutung sein müssten“*. Bereits 1910 auf der ersten Wanderversammlung der neu gegründeten GFP machte Fröhlich, Halle, in einem Vortrag *„darauf aufmerksam, dass gerade für die Zwecke der Zuckerrüben- und Futterrübenzüchtung die Resultate beim Mais von weitgehender Bedeutung sein müssten“*. Im Juni 1914 nahm Shull auf Einladung der GFP an deren fünfter Wanderversammlung in Göttingen teil und hielt dort einen Vortrag auf Deutsch mit dem Titel *„Über die Heterozygotie mit Rücksicht auf den praktischen Züchtungserfolg.“* Darin erläuterte er seinen Vorschlag zur Erzeugung reinerbiger Inzuchtlinien und der gezielten Nutzung der

Heterosis in  $F_1$ -Hybriden „zumal ich Ihnen über die Resultate einiger Versuche berichten kann, denen von vielen eine große Bedeutung für Praxis und Theorie zugesprochen wird“.

Durch den Ersten Weltkrieg und seine Folgen konnte die Herausgabe der Vorträge und Diskussionsbemerkungen dieser Veranstaltung erst 1922 fertig gestellt werden. Wie aus der Diskussion von Shulls Vortrag hervorgeht, fand dieser bei den Zuhörern ein äußerst lebhaftes Echo. So führte beispielsweise Erwin Baur aus: „Ich glaube, dass die Schlussfolgerungen, die man beim Mais gezogen hat, auch ganz wesentlich berücksichtigt werden müssen für die Roggen- und Rübenzüchtung. Das [gemeint ist die Hybridzüchtung] hat einen großen Vorteil für die Pflanzenzüchter insofern, als nicht jeder beliebige Mann draußen Saatgut nachbauen kann. Das Saatgut, welches in den Handel kommt, spaltet auf und wird rasch sehr geringwertig. Es ist im Sinne der Pflanzenzüchter eine sehr erfreuliche Methode“ [sämtliche Zitate aus Shull (1922)].

Im Handbuch der Pflanzenzüchtung werden die Arbeiten von Shull und East erstmals in der vierten Auflage 1922 erwähnt. Im Züchtungskapitel über Mais erläutert Fruwirth detailliert Shulls Methode zur Entwicklung von Inzuchtlinien („Inzestzuchten“ in seiner Terminologie) sowie zur Herstellung und Prüfung von Probekreuzungen „um festzustellen, welche derselben das günstigste Ergebnis liefern“. Treffend resümiert er: „Auf dem von Shull vorgeschlagenen Weg soll der Vorteil der Aussonderung guter, annähernd rein veranlagter Individualauslesen mit dem Vorteil der größeren Üppigkeit der ersten Generation nach geschlechtlicher Vereinigung (Heterosis) verschieden veranlagter Formenkreise vereint werden“. Fruwirth beschreibt ferner die in Isolierparzellen durchgeführte Vermehrung der Inzuchtlinien und die Herstellung des  $F_1$ -Verkaufssaatguts durch reihenweisen Anbau von Saat- und Pollenelter. Darüber hinaus verweist er auf die Modifikation des Verfahrens der Hybridzüchtung durch Jones (1918) zur Erzeugung von Doppelhybriden anstelle von Einfachhybriden, da im letztgenannten Fall „die  $F_1$  noch aus Samen erwächst, die von Pflanzen geliefert wurden, welche die Inzestzuchtschwächung zeigten“.

### **Erste wirtschaftliche Erfolge mit Hybridsorten**

Eine gezielte Herstellung und Vermarktung von Hybridsorten erfolgte weltweit erstmals in Deutschland bei Zierpflanzen. Im Jahre 1894 wurde von der Firma Haage & Schmidt, Erfurt, durch Handkreuzungen eine diploide (sterile) Hybride zwischen *Begonia semperflorens* und *B. schmidtiana* hergestellt, die sich als ungewöhnlich blütenreich und widerstandsfähig gegen ungünstige Witterungsbedingungen erwies; die Sorte wurde 1908 unter dem Namen 'Erfordia' in den Handel gebracht. Die erste tetraploide Hybridsorte von *B. semperflorens* stammt von der Firma Benary, Erfurt; sie wurde ab 1909 unter dem Namen 'Primadonna' vermarktet und blieb bis 1961 im Sortenkatalog (Schiebe 1966).

Bei landwirtschaftlichen Fruchtarten fand die Hybridzüchtung über mehrere Dekaden hinweg jedoch keinen Eingang in die Züchtungspraxis in Deutschland. Während die Hybridzüchtung bei Mais in den USA durch das Wagnis und Engagement von Züchtungspionieren wie dem späteren Vizepräsidenten der Vereinigten Staaten, Henry Wallace, seit Mitte der 1930er-Jahre einen einzigartigen Siegeszug verzeichnen konnte, war das aufgrund der politischen und wissenschaftlichen Isolierung Deutschlands während der NS-Diktatur erst zeitversetzt nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges möglich. Große Verdienste gebühren hierbei Wilhelm Rudolf, dem damaligen Direktor des Max-Planck-Institutes für Züchtungsforschung, der 1948 anlässlich einer Reise in die USA die dortigen Züchtungs- und Forschungsfortschritte bei Mais und anderen wichtigen Nutzpflanzen studieren konnte.

Nach der 1950 von privaten Mais-Zuchtfirmen gegründeten „Arbeitsgemeinschaft Deutscher Hybridmais“ begann man 1951 nach Rudorfs Plan mit vier Hybridmais-Zuchtprogrammen für verschiedene Reifegruppen. Als erste Sorte, die ausschließlich aus völlig neuen, in Deutschland angepassten Linien entwickelt wurde, erhielt die von F.W. Schnell entwickelte Doppelhybride 'Velox' 1965 Sortenschutz. Parallel zu diesen Züchtungsarbeiten begann 1958 mit der ersten Erzeugung von Hybridsaatgut in Südbaden der Aufbau einer inländischen Hybridsaatmais-Industrie (Schnell 1992).

Bei den monözisch und monoklinen Zucker- und Futterrüben, die beide derselben Art *Beta vulgaris* L. angehören, wurde die Hybridzüchtung durch die Entdeckung einer cytoplasmatisch-genisch bedingten männlichen Sterilität (CMS) von Owen (1945) ermöglicht. Die ersten Hybridsorten wurden 1958 in den USA zugelassen (Hecker u. Helmerick 1985). In Deutschland und Europa kam es bei der Umstellung auf Hybridzüchtung zu einer zeitlichen Überschneidung mit der Einführung monokarper Sorten. Da die Quellen für Monokarpie gleichfalls aus den USA stammten, wurden zunächst amerikanische monokarpe CMS-Saatelter mit besser an europäische Verhältnisse angepassten tetraploiden Polleneltern gekreuzt. Die erste Zuckerrübensorte dieses Typs wurde 1965 in Deutschland zugelassen. Derzeit werden weltweit fast ausschließlich Hybridsorten angebaut, wobei auch in Europa die tetraploiden Pollenelter rasch an Bedeutung verlieren. Ursache dafür ist, dass es bei diesen Formen länger dauert, einzelne Genorte homozygot mit Resistenzallelen zu besetzen, als das bei Diploiden möglich ist. Denn für deren Markterfolg ist die Ausstattung der Sorten mit einer Reihe von Resistenzen entscheidend. Smith (1987) beschrieb die verschiedenen Hybridtypen bei der Zuckerrübe: Die USA setzten Einfachhybriden ein, wo resistente Sorten gegen das Curlytop-Virus benötigt wurden. Problematisch ist hierbei allerdings die Saatgutproduktion mit Inzuchtlinien als Saatelter. Daher kommen auch heute noch überwiegend Dreiwegehybriden mit einer  $F_1$ -Hybride als Saatelter (CMS-Linie x O-Typ) zum Einsatz. Als Pollenelter werden inzwischen meist schwach oder vollkommen ingezüchtete Linien eingesetzt. Da bei der Zucker- und Futterrübe im Anbau nur vegetative Teile (Wurzelkörper mit stark gestauchter Sproßachse) genutzt werden, brauchen die Pollenelter keine Restorerengung zu besitzen.

### **Hybridzüchtung erfolgreich bei Roggen und Raps**

Auch bei anderen monözisch monoklinen Fremdbefruchtern war das Auffinden geeigneter CMS-Systeme und zugehöriger Maintainer- und Restorerene wesentliche Voraussetzung für die Einführung der Hybridzüchtung. Bei Roggen gebührt dieses Verdienst den bahnbrechenden Arbeiten von Geiger u. Schnell (1970), die zur Entdeckung der Pampa-CMS führten. Damit wurden an der Universität Hohenheim die Grundlagen für das Hybridzüchtungsprogramm gelegt, dessen langjährige Forschungsaktivitäten 1984 schließlich mit der Zulassung der weltweit ersten Roggenhybridsorten 'Akkord', 'Aktion' und 'Forte' gekrönt wurden. Aufbauend auf diesen Arbeiten wurden Hybridzüchtungsprogramme bei Roggen auch bei der Firma Lochow-Petkus und der zu diesem Zwecke eigens gegründeten Firma Hybro etabliert. Nach diesem Durchbruch wurden in Deutschland von 1985 bis 2005 insgesamt 35 weitere Hybridsorten zugelassen, die inzwischen mehr als 60 Prozent der Roggenanbaufläche abdecken. Als alternativen Hybridmechanismus schlug England (1974) bei Futtergräsern die gametophytische Selbstinkompatibilität (SI) vor. Diesen Ansatz erprobte Günter Wricke (1985), Hannover, bei Roggen. Durch Wärmebehandlung während der Blüte lässt sich die SI bei vielen Genotypen temporär überwinden, wodurch die Erstellung von  $S_1$ -Linien möglich wird, die ihrerseits unter Pollenisolierung vermehrt

bar sind und im Zwei-Komponenten-Mischanbau zur Erzeugung von Hybridsaatgut verwendet werden können. Da die Bestäubungen innerhalb der Erbkomponenten zu partiell ingezüchteten ( $F = 0.5$ ) Nachkommen führt, wird die Leistungsfähigkeit einer SI-Hybride durch die darin vorkommenden ingezüchteten Pflanzen geschmälert. Der Anteil dieser Pflanzen erhöht sich gravierend, wenn bei der Linienvermehrung durch Fremdeinstäubung neue SI-Allele in die Erbkomponenten gelangen. Aufgrund dieser Schwierigkeiten ist die Entwicklung SI-basierter Roggenhybriden nicht über das Versuchsstadium hinausgekommen.

Angeregt durch die Erfolge bei Mais und Zuckerrüben begann man in den 1970er-Jahren auch beim Raps mit Bemühungen zur Etablierung der Hybridzüchtung, zumal in den besten  $F_1$ -Nachkommen aus Handkreuzung ein Ertragszuwachs von 13 Prozent gegenüber der Elternleistung (Linienarten) ermittelt wurde. Anders als Mais verfügte der Raps aus seiner historischen Entwicklung jedoch nicht über divergente gene pools, und auch heute nach über 30 Jahren steckt deren Entwicklung trotz intensiver Bemühungen noch ganz in den Anfängen. Aufgrund der partiellen Selbstbestäubung (je nach Linie 30-70 %) mussten auch bei Raps geeignete genetische Systeme für eine sichere Bestäubungslenkung etabliert werden. Da in Kohl und Rüben Selbststerilität (SI) vorherrscht, versuchte man zunächst aus diesen, dem Raps nächstverwandten *Brassica*-Arten starke SI-Gene in Raps zu übertragen (Odenbach u. Beschoner 1995). Als erfolgreicherer Weg erwies sich aber das 1983 von Thompson et al. in der polnischen Rapssorte 'Bronowski' gefundene Sterilität induzierende Plasma. Das daraus entwickelte CMS-System erwies sich zwar als umweltabhängig, hat jedoch nach zwei Jahrzehnten Entwicklungsarbeit als CMS-Polima für die Hybridrapserzeugung in China unter geschicktem Produktionsmanagement auf über 3,5 Mio ha Eingang in die Praxis gefunden. Ein zweites inzwischen in der Rapszüchtung weit verwendetes CMS-System enthält ein 1968 von Ogura in pollensterilem Radieschen, *Raphanus sativus*, beschriebenes Plasma. Dieses erzeugt in Raps eingekreuzt eine ausgezeichnet stabile männliche Sterilität. Es brachte jedoch anfänglich verschiedene Nachteile, wie Blattchlorosen und eine enge Kopplung des Restorergens mit hohem Glucosinolatgehalt, mit sich. Diese durch Auslese von Rekombinanten zu beseitigen, kostete französische Rapsgenetiker (INRA) mehr als ein Jahrzehnt intensiver Anstrengungen. Weitere alloplasmatische CMS-Systeme ergaben sich aus der bei den *Brassicaceae* relativ leicht möglichen interspezifischen Bastardierung. Diese wurden in der Raps-Hybridzüchtung teilweise eingehend geprüft, ohne jedoch bis heute überzeugenden Erfolge aufzuweisen (Stiewe et al. 1995). Nicht zuletzt haben sich beim Raps auch rein genisch bedingte Pollensterilitätssysteme bewährt. Das so genannte MSL-System (Männliche Sterilität Lembke) wurde in der Norddeutschen Pflanzenzucht H.G. Lembke, Hohenlieth, entwickelt und ist seit 1996 die Grundlage für erfolgreiche Winterrapshybridsorten, mit denen die Landwirte inzwischen in Deutschland auf rund 800.000 ha (rund 60 % der Anbaufläche) die im Mittel 15 Prozent höheren Erträge sowie die Robustheit und Stresstoleranz dieser Sorten unter widrigen Witterungsbedingungen nutzen.

### **Hybridzüchtung auch bei Selbstbefruchtern**

Auch bei Selbstbefruchtern wurde eine Nutzung der auf Heterosis beruhenden Ertragssteigerung in Hybridsorten angestrebt. Ende der 1960er begann Keydel (1979), Weihenstephan, bei Weizen mit der Entwicklung eines CMS-Systems auf der Basis eines alloplasmatischen Cytoplasmas aus *Triticum timopheevi*. Im Rahmen eines GFP-Projektes Anfang der 1970er-Jahre untersuchten Baier et al. (1978) den Umwelteinfluss auf die



Pollensterilität. Den Bemühungen um die Etablierung der Hybridzüchtung bei Weizen war jedoch wegen Restorationsproblemen und der geringen Heterosis kein Erfolg beschieden, sodass die Arbeiten Mitte der 1980er eingestellt wurden. Auch die 1965 in Hadmersleben von Merfert (1988) in dieser Richtung begonnenen Arbeiten wurden nach der Wiedervereinigung Deutschlands aufgegeben. Mit der Entwicklung der ersten Gametozide Mitte der 1980er-Jahre zur Erzeugung männlicher Sterilität wurde die kommerzielle Nutzung von Hybriden bei Weizen wieder aktuell. Seit 1987 besteht ein kommerzielles Programm zur Hybridweizenzüchtung mit derzeit (2005) vier zugelassenen Hybridsorten in Deutschland (Schachschneider 1997).

Ab Ende der 1960er-Jahre arbeiteten in der DDR Friedrich Scholz und Gottfried Künzel im Zentralinstitut für Genetik und Kulturpflanzenforschung, Gatersleben, für zwei Jahrzehnte an den Grundlagen für eine Hybridzüchtung bei Gerste auf Basis des Pollensterilität erzeugenden Systems der balancierten tertiären Trisomie. Das System fand jedoch letztlich keinen Eingang in die Praxis. Zudem erwies sich die Ertragsheterosis bei Gerste für eine kommerzielle Nutzung in Hybridsorten letztendlich als zu gering.

Neben praktischen Züchtungserfolgen und objektspezifischen Untersuchungen bei Mais und Roggen sind F. Wolfgang Schnell, dem herausragenden Pionier der Hybridzüchtung in Deutschland nach dem Zweiten Weltkrieg, und der von ihm gegründeten Hohenheimer Schule auch zahlreiche theoretische Beiträge zur Optimierung der Hybridzüchtung zu verdanken, die international weite Beachtung fanden. Hierzu gehören beispielsweise die Theorie der Kovarianz zwischen Verwandten in gen- bzw. gametenorthogonalen Populationen (Schnell 1965, Melchinger 1988) sowie selektionstheoretische Untersuchungen (Schnell 1958, Utz 1969, 1982), Modellrechnungen und Simulationsstudien zum Vergleich alternativer Zuchtschemata und zur optimalen Allokation von Ressourcen in Hybridzüchtungsprogrammen. Darüber hinaus wurden Fragen des „early testing“, der Testerwahl sowie der optimalen Vorhersage der Hybridleistung (Melchinger et al. 1987) in zahlreichen Dissertationen und Publikationen bei Mais, Roggen und Zuckerrübe erforscht. Die Hohenheimer Schule beteiligte sich Anfang der 1980er-Jahre auch intensiv an der damals aktuellen Diskussion des optimalen Hybridtyps bei Mais in Mitteleuropa (Schnell 1975) mit Untersuchungen zur Bedeutung cytoplasmatischer, maternaler und epistatischer Effekte (Melchinger et al. 1985, 1986). Ein weiteres Verdienst von Schnell war es, frühzeitig auf die Bedeutung genetisch divergenter heterotischer Gruppen für die Hybridzüchtung aufmerksam gemacht zu haben. Während diese Thematik in der US-amerikanischen Literatur erst in den 1980er-Jahren aufgegriffen wurde, plädierte er weit früher für das so genannte „Genpool-Konzept“ aufgrund des dadurch nutzbaren Heterosiszuwachses (Schnell 1978).

### **Auswirkungen neuer molekularer Techniken auf die Zuchtmethodik**

Mit dem Gentransfer bei Pflanzen, eingeleitet durch Pionierarbeiten in der Arbeitsgruppe von Jeff Schell, Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung in Köln, wurden Anfang der 1980er-Jahre in der Pflanzenzüchtung völlig neue Möglichkeiten zur Nutzung genetischer Information über Artgrenzen hinweg eröffnet. Dieses Werkzeug kann bei allen Sortentypen gleichermaßen eingesetzt werden und hat damit keine direkten Auswirkungen auf die Zuchtmethodik. Im Hinblick auf die Züchtung von Klonsorten bietet der Gentransfer allerdings gegenüber der klassischen Rückkreuzung den wichtigen Vorteil, dass dadurch

Elitegenotypen mit neuen Eigenschaften ohne Änderungen des Restgenoms ausgestattet werden können.

Die seit Mitte der 1980er bei Pflanzen zur Verfügung stehenden molekularen Marker können ebenfalls bei allen Sortentypen im Rahmen von Rückkreuzungsprogrammen zur so genannten Vorder- oder Hintergrundselektion verwendet werden. Ein effizienter Einsatz der Ressourcen erfordert jedoch die Beachtung selektionsmethodischer Prinzipien (Frisch u. Melchinger 2005). Darüber hinaus können sie bei kartierten Genen oder Genomregionen für quantitative Merkmale, so genannte QTLs, als Selektionswerkzeuge in der Sortenbildungsphase aller Züchtungskategorien eingesetzt werden. Ein bislang wenig beachtetes Einsatzpotenzial molekularer Marker bietet neben der Elternwahl auch die Einteilung von Zuchtmaterial in Gruppen mit hoher genetischer Ähnlichkeit. Insbesondere in der Hybridzüchtung könnte damit die Schaffung von heterotischen Gruppen weit effizienter gestaltet werden, als das mit konventionellen Ansätzen möglich war (Melchinger u. Gumber 1998). Insgesamt ist davon auszugehen, dass molekulare Marker erhebliche Effizienzsteigerungen bei einzelnen Züchtungsschritten erlauben. Grundlegende Änderungen im methodischen Vorgehen bei der Züchtung neuer Sorten in den einzelnen Züchtungskategorien haben sich daraus aber bislang nicht ergeben.

Abschließend gibt Tabelle 39 einen Überblick über den zuchtmethodischen Wissensfortschritt im Verlauf der vergangenen 100 Jahre anhand einiger herausragender Meilensteine.

Tab. 39: Meilensteine für die Entwicklung von Züchtungsmethoden.

Schrifttum	Jahr	Verfahren
	1825	Massenauslese bei Futterrüben – C.A.Leberecht Steiger, Leutewitz
	1849	W. von Borries, Eckendorf
	1867	Massenauslese bei Roggen – Wilhelm Rimpau, Schlanstedt
	1875	Kreuzungszüchtung bei Weizen – Wilhelm Rimpau, Schlanstedt
	1885	Mutterstammbaumzüchtung bei Zuckerrüben – Gebr. Dippe, Quedlinburg
Kurt von Rümker: Lehrbuch der Getreidezüchtung	1889	
Wilhelm Rimpau: Kreuzungsprodukte landwirtschaftlicher Kulturpflanzen.	1891	Deutsches Ausleseverfahren bei Roggen – Ferdinand von Lochow, Petkus
	1894	F <sub>1</sub> -Hybride bei Begonien 'Erfordia' (1908) – Haage & Schmidt, Erfurt
Carl Fruwirth: Untersuchungen über den Erfolg von Veredelungsauslese	1907	
G.H. Shull, Vortrag bei der GFP in Göttingen: ( <i>Heterosis</i> )	1914 (1922)	
	1920	Doppelhybriden bei Mais – Jones, USA
	~1920	Ramschverfahren – H. Nilsson-Ehle, Schweden Restsaatgutverfahren bei Roggen – W. Laube, Petkus
Carl Fruwirth (Hrsg.): Handbuch der Pflanzenzüchtung	1922	

Carl Fruwirth u. Th. Römer: Einführung in d. landwirtschaftliche Pflanzenzüchtung	1923	
	1923	Vollgeschwisterselektion – Th. Roemer, Halle/S.
Erwin Baur: Grundlagen der Pflanzen- züchtung ( <i>Züchtungssystematik nach Fortpflanzungsbiologie der Fruchtart</i> )	1924	
Th. Roemer u. W. Rudorf: Handbuch der Pflanzenzüchtung ( <i>Einteilung nach Züchtungsverfahren</i> )	1941	Einkornramsch – Goulden, USA
	~1942	Nutzung spontaner (Lupine, von Sengbusch) und induzierter (Gerste, Freisleben/Lein) Mutanten
A. Scheibe: Allgemeine Pflanzenzüchtung	1951	
H. Kuckuck: Grundzüge d. Pflanzenzüchtung	1952	
E. Keppler u. R. Steuckardt: ( <i>Leistung von Luzerne - Synthetische Sorten</i> )	1960/ 1962	Polycross-Test / Synthet. Sorte bei Weidelgras – Beuster, NFG Bremen
H. Schmalz: Pflanzenzüchtung	1964	Herstellung von Doppelhaploiden – Guha u. Maheswary, Indien
	1965	Erste Maisdoppelhybride mit adapt. euro- päischem Material – Schnell, Hohenheim
	1965	'Gemo': erste monokarpe 3n-Hybridsorte bei Zuckerrüben – Strube-Dieckmann
F.W. Schnell: ( <i>Züchtungs- kategorien nach dem Vermehrungs- typ der Sorte</i> )	1969	
	1974	Somatische Hybridisierung (Protoplasten) – Melchers u. Labib, Tübingen
G. Wenzel et al.: ( <i>Züchtung mit Dihaploiden bei Kartoffeln</i> )	1979	
GPZ-Symposium: „Synthetische Sorten“. Votr. Pflanzenzüchtg. <u>1</u>	1982	
	1983	Erste Pflanzentransformation mit <i>A. tumefaciens</i> – J. Schell, MPI Köln
	1984	Erste Roggen-Hybridsorten (Hohenheim)
	~1985	Somat.Embryogenese, somaklonale Variation
	~1990	Einsatz molekularer Marker in der Pflanzen- züchtung
H.C. Becker: Pflanzenzüchtung (UTB)	1993	Erste Freilandexperimente mit transgenen Pflanzen ( <i>Petunia</i> ) – H. Saedler, MPI Köln
	1999	Erste Hybridsorte bei Weizen – Nordsaat
	2005	Zulassung erster transgener Sorten in Deutschland – Mais mit Zünsler-Resistenz

### Weiterführende Literatur

- [1] Fruwirth, C., und Th. Roemer, 1923: Einführung in die landwirtschaftliche Pflanzenzüchtung, 3. Aufl.. Parey, Berlin.
- [2] Baur, E., 1924: Grundlagen der Pflanzenzüchtung. Gebr. Borntraeger, Berlin.

- [3] Hoffmann W., A. Mudra und W. Plarre, 1971: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Band 1. Allgemeiner Teil. Parey, Berlin-Hamburg.
- [4] Becker, H.C., 1993: Pflanzenzüchtung, UTB 1744. Ulmer, Stuttgart.

Die Autoren danken den Herren D. Bocharadt und R. Jansen, Einbeck, H.H. Geiger und C. Kling, Hohenheim, G. Wricke, Hannover, und G. Röbbelen, Göttingen, für Beiträge zur Anfertigung dieses Kapitels.

# **Die Entwicklung der Pflanzenzüchtung in Deutschland (1908-2008)**

**100 Jahre GFP e.V. – eine Dokumentation**

**in Zusammenarbeit zahlreicher Fachleute in der Arbeitsgemeinschaft  
„Geschichte der Pflanzenzüchtung“  
der Gesellschaft für Pflanzenzüchtung e.V.**

**herausgegeben von Gerhard Röbbelen, Göttingen**

**Gesellschaft für Pflanzenzüchtung  
Göttingen 2008**