

tung phänometrischer Untersuchungen. Z. angew. Meteorol. 3, 315—320 (1960). — 26. RAMANUJAM, S., and N. PARTHASARATHY: Autopolyploidy. A review. Indian J. Genetics 13, 53—82 (1953). — 27. RUDOLF, W., und P. SCHWARZE: Polyploidieeffekte bei *Datura tatula*. Planta 39, 36—64 (1951). — 28. RUNDFELDT, H.: Über die Vorteile einer erweiterten Auswertung von Feldversuchen. Arb. dtsch. Landwirtsch.-Ges. 44, 97—118 (1957). — 29. SCHICK, R., K.-H. ENGEL und A. RAEUBER: Über die Phänometrie des Mais. Züchter 30, 97—101 (1960). — 30. SCHLÖSSER, L. A.: Physiologische Untersuchungen an polyploiden Pflanzenreihen. Fd. 10, 28—40 (1940). — 31. SCHRÖDTER, H.: Phänometrisch-statistische Untersuchungen zum Problem „Witterung und Pflanzenwachstum“. Ann. Meteorol. 8, 1—6 (1957). — 32. SCHWANITZ, F.: Untersuchungen an polyploiden Pflanzen. I. Feldversuche mit diploiden und autotetraploiden Nutzpflanzen (Senf, Rüben, Ölrettich, Rettich, Grünkohl, Weißkohl, Wirsing, Cichoree). Der Züchter 19, 70—86 (1948). — 33. SCHWANITZ, F.: Untersuchungen an polyploiden Pflanzen. IV. Zum Wasserhaushalt diploider und polyploider Pflanzen. Der Züchter 19, 221—232 (1949). — 34. SCHWANITZ, F.: Untersuchungen an polyploiden Pflanzen. VII. Zur Atmung diploider und autotetraploider Pflanzen. Der Züchter 20, 76—81 (1950). — 35. SCHWANITZ, F.: Untersuchungen an polyploiden Pflanzen. XII. Der Gigas-Charakter der Kulturpflanzen und seine Bedeutung für die Polyploidiezüchtung. Der Züchter 21, 65—75 (1951). — 36. SCHWANITZ, F.: Die Zellgröße als Grundelement in Phylogenese und Ontogenese. Der Züchter 23, 17—44 (1953). — 37. SCHWANITZ, F.: Keimungsphysiologische Untersuchungen an diploiden Gigaspflanzen. Beitr. Biol. Pflanzen 31, 1—14 (1955). — 38. SCHWANITZ, F.: Genetik und Evolutionsforschung bei Pflanzen. In: G. HEBERER, „Die Evolution der Organismen“. Stuttgart 1959, 425—551 (1959 a). — 39. SCHWANITZ, F.: Die Entstehung der Nutzpflanzen als Modell für die Evolution der gesamten Pflanzenwelt. In: G. HEBERER, „Die Evolution der Organismen“. Stuttgart 1959, 713—800 (1959 b). — 40. SCHWANITZ, F., und H. PIRSON: Chromosomengröße, Zellgröße und Zellzahl bei einigen diploiden Gigaspflanzen. Der Züchter 25, 221—229 (1955). — 41. SCHWANITZ, F., und W. SCHENK: Zur Atmung diplo-

der Gigaspflanzen. Naturwiss. 41, 262 (1954). — 42. SCHWARZE, P.: Stoffproduktion und Pflanzenzüchtung. Hdb. Pflanzenzücht. 2. Aufl., Band I, 307—365 (1958). — 43. STÄLFELT, M. G.: Die stomatäre Transpiration und die Physiologie der Spaltöffnungen. Hdb. Pflanzenphysiol. Band III, 349—426 (1956). — 44. STEINEGGER, E.: Wie läßt sich die Erhöhung des Alkaloidgehaltes durch Polyploidisierung erklären? Heteroploidie-Versuche an Arzneipflanzen. XVII. Mitt. Pharmaceut. Acta Helvet. 27, 351—360 (1952). — 45. STOCKER, O.: Über die Beziehungen zwischen Wasser- und Assimilationshaushalt. Ber. dtsch. bot. Ges. 55, 370—376 (1937). — 46. STOCKER, O.: Die Abhängigkeit der Transpiration von den Umweltfaktoren. Hdb. Pflanzenphysiol. Band III, 436—488 (1956). — 47. STRAUB, J.: Chromosomenuntersuchungen an polyploiden Blütenpflanzen. I. Die Chromatinmasse bei künstlich ausgelösten Autopolyploiden. Ber. dtsch. bot. Ges. 57, 531—544 (1939). — 48. TANAKA, R.: On the difference of the cell volume between natural polyploids and artificial polyploids. Jap. J. Genetics 28, 110—115 (1953). — 49. UNGER, K.: Agrarmeteorologische Studien. I. Agrarmeteorologische Untersuchungen bei der Leistungsprüfung. Abh. meteorol. hydrol. Dienst. DDR 3, 5—22 (1953). — 50. WATSON, O. J.: The physiological basis of variation in yield. Adv. Agron. 4, 101—145 (1952). — 51. WETTSTEIN, F. v.: Experimentelle Untersuchungen zum Artbildungsproblem. 1. Zellgrößenregulation und Fertilwerden einer *Bryum*- Sippe. Z. indukt. Abstammungs- u. Vererbungslehre 74, 34—53 (1937). — 52. WETTSTEIN, F. v.: Experimentelle Untersuchungen zum Artbildungsproblem. 2. Zur Frage der Polyploidie als Artbildungsfaktor. Ber. dtsch. Bot. Ges. 58, 374—388 (1940). — 53. WETTSTEIN, F. v., und J. STRAUB: Experimentelle Untersuchungen zum Artbildungsproblem. 3. Weitere Beobachtungen an polyploiden *Bryum*- Sippen. Z. indukt. Abstammungs- u. Vererbungslehre 80, 271 bis 280 (1942). — 54. WINNEBERGER, J. H.: Transpiration as a requirement for growth of land plants. Physiol. Plantarum 11, 56—61 (1958). — 55. WÖHRMANN, K., und K. MEYER zu DREWER: Vergleichende Untersuchungen über die CO<sub>2</sub>-Aufnahme di- und tetraploider Pflanzen von *Trifolium incarnatum* in Abhängigkeit von Lichtintensität und Temperatur. Der Züchter 29, 264—270 (1959).

Aus dem Institut für Pflanzenzüchtung Bernburg der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin

## Die Bedeutung der Pollensterilität in der Maiszüchtung\*

Von HERBERT W. MÜLLER

Mit 8 Abbildungen

### 1. Einführung

Pollensterilität verdient als spezielle Form für obligate Allogamie in mehrfacher Hinsicht Beachtung. Im Anschluß an die taxonomischen Analysen widmeten zunächst die Physiologen diesem Phänomen ihre Aufmerksamkeit. Mit zunehmender Klärung der genetischen Grundlagen waren es dann Evolutionsforscher, die auf die populationsgenetische Bedeutung hinwiesen. Den Pflanzenzüchtern oblag es, diese Erscheinung systematisch anzuwenden und somit einer wirtschaftlichen Nutzung zuzuführen. In zunehmendem Maße wird heute die Pollensterilität zur Bestäubungslenkung allogamer Kulturpflanzen angewendet. Dazu tragen die Erfolge der Heterosiszüchtung wesentlich bei.

Die ersten Berichte über Pollensterilität gehen auf GÄRTNER (1844) und DARWIN (1890) zurück. Möglichkeiten zur wirtschaftlichen Nutzung erschlossen

BATESON (1908) und CORRENS (1908) mit ihren genetischen Untersuchungen. Die tiefgreifenden Veränderungen, die die Pollensterilität hinsichtlich Zuchtmethodik und Saatguterzeugung hervorrief, waren allerdings von diesen Autoren nicht zu übersehen.

Man hat

1. zwischen genetisch bedingter, durch Inzucht fixierbarer (sporophytischer) Sterilität und
2. der zytoplasmatisch gesteuerten (oder gametophytischen) Form der Pollensterilität zu unterscheiden.

Zwar ist es möglich, Sterilitätserscheinungen mit einem System sporophytischer Kontrolle zu nutzen bzw. Markierungsgene nach dem von KAPPERT für *Matthiola* entwickelten Verfahren zu verwenden (JAIN, 1959); dennoch wird man für züchterisch praktische Zwecke zunächst eine Nutzung der gametophytisch kontrollierten Pollensterilität anstreben.

\* Herrn Prof. Dr. H. STUBBE zum 60. Geburtstag gewidmet.

Die wirtschaftliche Bedeutung und die züchterischen Möglichkeiten, die ein vollständiges System „plasmatisch bedingter Pollensterilität“ (ZPS) erlangen könnte, wurden bereits 1928 von CORRENS erkannt. Zur Zeit sind Hybridsorten, die mit Hilfe pollensteriler Partner gewonnen wurden, bei Zucker- und Futterrüben, Sorghum, Möhren, Zwiebeln, Pfeffer und Mais im Handel. Da man auf das arbeitsaufwendige, Sorgfalt und Erfahrung verlangende Kastrieren der mütterlichen Partner verzichten kann, wird die Ausdehnung des Hybridsortenangebotes durch pollensterile Formen entscheidend gefördert.

Heute werden überwiegend Hybridsorten beim Mais angebaut. Dadurch ist es möglich, trotz der Verringerung der Körnermaisbaufläche in den USA von 38 auf 32 Mio ha, die Kornerträge von 53 auf 82 Mio t jährlich zu steigern. Hierzu standen bis 1951 ausschließlich vollfertile Ausgangslinien zur Verfügung. Erst seit 10 Jahren ist man in der Lage, durch pollensterile Linien die Bestäubungslenkung beim Mais auszuführen. Schon 1958 konnte man etwa die Hälfte des in den USA erzeugten Hybridmais-Saatgutes auf diesem Wege herstellen. Diese Entwicklung läßt bereits den wirtschaftlichen Wert der Pollensterilität ermessen (JUGENHEIMER, 1957).

Besonders augenscheinlich werden die Zusammenhänge bei Betrachtung der Entwicklung des Hybridmaisbaues in der UdSSR. Die von BARANOW, DUBININ und CHADSCHINOW (1955) erhobenen programmatischen Forderungen, die Vorzüge der Heterosiszüchtung konsequent zu nutzen, trugen zur Ausdehnung der Anbaufläche von Maishybriden in der UdSSR von 107000 ha im Jahre 1953 auf 9822000 ha im Jahre 1959 bei. Schon 1960 wurde erstmalig mehr als die Hälfte des Maisareals der Sowjetunion, das sich gegenwärtig auf etwa 28000000 ha beläuft, mit Maishybriden ( $F_1$ ) bestellt. Dabei konnten 32 Hybriden mit Hilfe steriler Analoge erzeugt werden (GALIJEV, 1960). Die wirtschaftlichen Vorzüge dieses Verfahrens liegen auf der Hand. So ermöglicht der Anbau pollensteriler Linien die Einsparung von etwa 100 Arbeitsstunden je ha (Bernburger Untersuchungen).

Nach amerikanischen Angaben werden die Unkosten für das manuelle Entfahnen allein in den USA auf 10 Mio Dollar jährlich geschätzt (JAIN, 1959). Die sorgfältige Erledigung erfordert den schlagartigen Einsatz von etwa 125000 Arbeitskräften, die nunmehr nach Einführung pollensteriler Linien eingespart werden können.

Man erzielt ferner mit Hilfe pollensteriler Linien eine bei manueller Entfahnung nur selten erreichbare Reinheit; während man zum Beispiel bei der Hybrid-Saatguterzeugung im Durchschnitt mit 3% Selbstungen rechnen muß, läßt sich mit Hilfe pollensteriler Ausgangsformen der Anteil der Selbstungen auf 0,1–0,5% senken. Durch den Wegfall des Entfahrens wird auch die für die Ertragsbildung nachteilige Pflanzenbeschädigung ausgeschaltet, so daß mit höheren Saatguterträgen gerechnet werden kann.

Es muß ferner berücksichtigt werden, daß sich alle Arbeitsgänge der Hybridmais-Saatguterzeugung durch den Einsatz von Spezialmaschinen weitgehend mechanisieren lassen. Auf das manuelle Entfahnen konnte aber bislang nicht verzichtet werden. So hilft die Einführung pollensteriler Linien die Lücke

in der Mechanisierung bei der Maissaatguterzeugung schließen.

Neben den USA, wo die wirtschaftliche Ausnutzung der Pollensterilität beim Mais begann, wird dieses Verfahren heute in fast allen hybridmaiserzeugenden Ländern erfolgreich angewendet. Hierbei verdienen die Neuzüchtungen aus der UdSSR, Italien, Ungarn und Österreich besonderes Augenmerk für den mitteleuropäischen Maisanbau. Aber auch in den Ländern, die erst seit wenigen Jahren dem Maisanbau ihre volle Aufmerksamkeit widmen, bemüht man sich bei den Neuzüchtungen um die Nutzung der Sterilität zur Erzeugung heimischen Saatgutes (Philippinen, Neuseeland) (AALA, 1959). Über die Ergebnisse und Erfahrungen, die bislang in Bernburg mit der Pollensterilität des Mais gesammelt werden konnten, soll nachstehend berichtet werden.

## 2. Pollensterilität

Sterilität kann bei künstlicher Selbstbestäubung allogamer Varietäten häufig beobachtet werden. Ob man allerdings diese Erscheinung als Ansatzpunkt zur Entwicklung diözischer Pflanzenfamilien ansehen kann, muß angezweifelt werden. In jedem Falle dürfte die Pollensterilität im Darwinschen Sinne zur Evolution der Organismen mit Hilfe neuer Kombinationen beitragen. Den ersten Beobachtungen (GÄRTNER, 1844; DE VRIES, 1889) und genetischen Analysen (EYSTER, 1921) folgten später Untersuchungen über Semisterilität (BRINK, 1927; NELSON und CLARY, 1952).

Aus einer peruanischen Herkunft selektierte RHODES (1931) die ersten zytoplasmatisch gesteuerten sterilen Pflanzen. Die Nachkommen waren sehr instabil, so daß eine praktische Ausnutzung dieses Materials nicht möglich war. Auch CHADSCHINOW (1960) konnte 1929 eine zytoplasmatisch sterile Linie analysieren, die aber keine praktische Bedeutung erlangte.

Damit war — zunächst nur theoretisch — der Beweis für die von CORRENS (1928) eröffneten wirtschaftlichen Möglichkeiten beim Mais erbracht. Es sollten aber noch 20 Jahre vergehen, bis die Vorteile der zytoplasmatischen Sterilität praktisch genutzt werden konnten.

### a) Umweltbedingte Sterilität

Blütenanomalien, die zur Sterilität führen können, wurden bereits von CHITTENDEN (1914) beschrieben. Dabei wird durch die Umweltbedingungen eine Disproportion in der Geschlechtsausbildung hervorgerufen. So kann man zum Beispiel auch bei Anzucht von Maiszwischengenerationen während des Winters unter Kurztagsbedingungen und hoher Temperatur eine modifikable Sterilität hervorrufen. Ein praktischer Wert ist diesen Abnormitäten beim Mais nicht beizumessen. Bei länger nutzbaren Pflanzen dürfte diese Besonderheit große Vorteile bieten. So berichtet RUNDFELDT (1960) über Kohlstecklinge, daß von einer Pflanze im Laufe eines Jahres sowohl pollensterile als auch fertile Blütenanlagen ausgebildet werden können, so daß im Freiland Hybridsaatgut, im Warmhaus während des Winters selbstbestäubtes Ausgangsmaterial geerntet wird.

Die Sterilität wird ebenso wie alle Restorerereigenschaften durch Modifikatoren teilweise aufgehoben.

Dies ist besonders nachteilig, wenn in anderen Gebieten Zwischengenerationen erzeugt werden sollen. DUVICK (1956) analysierte ein Modifikator-Gen, das bei ungünstiger, feuchtkalter Witterung die Restoreigenschaften hervorragend, bei trockener Witterung fast gar nicht zur Ausprägung kommen ließ.

Die umweltbedingte Sterilität dürfte also in der Maiszüchtung kaum Aussicht auf erfolgversprechende Anwendung bieten.

#### b) Pollensterilität nach Behandlung mit Chemikalien

Die Untersuchungen hochmolekularer Verbindungen in bezug auf ihre physiologische Wirksamkeit führten gelegentlich zu Blütenanomalien. Zunächst unbeabsichtigt, erwiesen sich die Unkrautbekämpfungsmittel aus der 2,4-D-Gruppe als nachhaltig wirkende Präparate. Sie beeinflussen nicht nur das Wurzelwachstum des Maises (WILLIAMS und JOHNSON, 1953), sondern auch die Geschlechtsausprägung in Abhängigkeit vom Spritztermin und der Konzentration.

JUGENHEIMER (1948), ROSSMAN und STANFORTH (1949) konnten nachweisen, daß durch die Spätbehandlung mit 2,4-D der Maisertrag in der folgenden Generation beeinträchtigt wird. Es handelt sich dabei um eine Schädigung des meristematischen Gewebes

(STANFORTH, 1952). Die Wirksamkeit der 2,4-Dichlor-Essigsäure-Präparate zur Erzeugung pollensteriler Pflanzen wird durch unterschiedliche Sortenreaktion und starke Umweltabhängigkeit erheblich eingeschränkt (HANSEN und BUCHHOLTZ, 1952). Es muß ferner damit gerechnet werden, daß Präparate dieser Gruppe in andere Verbindungen überführt werden (FANG und BUTTS, 1954).

In diese Untersuchungen wurden auch andere Stoffe einbezogen. Das Maleinhydrazit vermag die Blütenausbildung zu unterdrücken. In geringeren Konzentrationen (0,025%) wird die Kolbenausbildung nur wenig beeinflusst, während die Fahnen steril bleiben (NAYLOR, 1950). REHM (1952) versuchte, durch die Anwendung von Trijodbenzoesäure und Maleinhydrazit Sterilität zu erzielen. Auch die  $\alpha$ - $\beta$ -Dichlorisobuttersäure und  $\alpha$ -Naphthylessigsäure wurden erprobt (CAMERON und EATON, 1959; GAUSMAN und DUNGAN, 1954; MOLOTKOWSKI, 1957).

NELSON und ROSSMAN (1958) erzielten fast vollständige Sterilität bei Anwendung von Gibberellinsäure, die auf 5 Wochen alte Maispflanzen gesprüht wurde. Die Wirkung wird stark von der Witterung modifiziert und beeinflusst auch andere Eigenschaften des Materials (CHERRY et al. 1960; MOSSLOW, 1960).

Eine praktische Anwendung scheitert daran, daß bei den wirksamen Konzentrationen der Pflanzenwuchs nachhaltig beeinträchtigt wird. Die Pollensterilität muß also auf diesem Wege mit großen Ertragsdepressionen erkauft werden. Das trifft auch für ähnliche Versuche bei anderen Pflanzen z. B. Sonnenblumen (SCHUSTER, 1956) zu.

Erfolgreich konnte bislang die chemische Kastration nur bei Zwiebeln mit dem Natriumsalz der 2,3-Dichlorisobuttersäure (FW 450) angewendet werden. Nach RUEBENBAUER (schriftliche Mitteilung) ermöglicht die Anwendung des Präparates auch bei Rüben die Erzeugung von Pollensterilität.

Mit dem gleichen Ziel werden seit dem Jahre 1957 auch in Bernburg Versuche an Maispflanzen ausgeführt. Dabei erwies sich eine Behandlung mit Heteroauxin (Beta-Indolyl-Essigsäure) in Konzentrationen von 0,01 bis 0,1% während verschiedener Entwicklungsphasen als unwirksam. Im Gegensatz dazu war Pollensterilität bei einer Behandlung mit 2,4-D zu beobachten. Der günstigste Behandlungszeitpunkt liegt in der Zeit der Pollenausbildung, die unter hiesigen Witterungsbedingungen nach Aussaat Anfang Mai am 40. bis 45. Tag erreicht wird (n. Mitt. SCHILOWA).

Die Abb. 1 läßt erkennen, daß die Behandlung nur während der Mitose in den Antheren einen vollen Erfolg verspricht. Dieser Zeitpunkt liegt kurz vor dem Fahnenschieben.

Auf Abb. 2 sind in einer Fahne fertile (links), semi-sterile (Mitte) und zwittrige (rechts) Ährchen zu beobachten, was durch die unterschiedliche Entwicklung zum Behandlungszeitpunkt in den einzelnen Fahnenästen zu erklären ist. Man muß dabei berücksichtigen, daß die technischen Schwierigkeiten für ein derartiges Behandlungsverfahren kaum zu überwinden sind. Ein wiederholtes Besprühen mit Wuchsstofflösung dürfte nur mit Hilfe von Flugzeugen ohne Pflanzenbeschädigung möglich sein. Dabei muß die Erhaltung der Bestäuber gewährleistet sein.



Abb. 1. Die Fahnenausbildung für eine wirksame 2,4-D-Behandlung. Nur die rechte Fahne wird völlig steril, die übrigen bleiben überwiegend fertil.

Der Grad der Pollensterilität steigt mit zunehmender Konzentration der Lösung. Dabei werden die vegetativen Teile der Pflanze, ebenso wie die Kolben, beeinträchtigt. Das hat eine nicht unerhebliche Ertragsdepression zur Folge. Es bleibt also in Übereinstimmung mit den unter wärmeren Klimabedingungen ausgeführten Versuchen festzustellen, daß die Erzeugung pollensteriler Maispflanzen mit Hilfe von Chemikalien der 2,4-D-Gruppe nur schwierig durchführbar ist. Dafür sind folgende Gründe maßgebend:

1. Die Zeitspanne der Behandlung ist sehr begrenzt.
2. Die Variabilität der Einzelpflanzen eines Bestandes ist groß, so daß eine wiederholte Behandlung unvermeidbar ist.
3. Bei der wirksamen Konzentration wird die Ertragsleistung der Pflanzen beeinträchtigt.
4. Ein größerer Teil der Pflanzen bleibt, wenn auch nur teilweise, fertil, so daß die Sicherheit der chemischen Kastration für die Hybridsaatguterzeugung nicht ausreicht.

Eine Anwendung dieses Verfahrens ist demzufolge auch im mitteleuropäischen Raum nicht zu empfehlen.

#### c) Die gametophytisch oder zytoplasmatisch bedingte Pollensterilität (ZPS)

Die ersten Untersuchungen landwirtschaftlich genutzter Pflanzen wurden an Lein und Zwiebeln durchgeführt (Jain, 1959).

Während seit dem Jahre 1947 Hybridzwiebelsorten in weitem Umfange angebaut werden, ist bis heute keine Handelssorte vom Lein bekannt, die mit Hilfe pollensteriler Stämme erzeugt wird.

Auch beim Mais erfolgte die Ausbreitung der ZPS-Hybriden nur langsam. Ebenso wie der von RHOADES (1931, 1933) entdeckte Typ der ZPS (Herkunft Peru), konnte auch der von JOSEPHSON und JENKINS (1948) benutzte Typ der Pollensterilität (Linie 33—16) keine Bedeutung erlangen. Die meisten pollensterilen Linien wurden mit Hilfe der von ROGERS und EDWARDSON (1952) bereits 1944 selektierten Pflanzen aus der Sorte „Mexican June“ geschaffen. Diese Form wird nach seinem ursprünglichen Anbaubereich als „Texas-Typ“ der ZPS genutzt. Eine weitere Form ist unter dem Typ „Io-Jap“ bekannt. Sie stammt aus einer japanischen Herkunft, die in Iowa angebaut wurde.

Schließlich sei noch eine von SCHWARTZ (1951) beschriebene Form der Sterilität erwähnt, die in Abhängigkeit vom Zytoplasma von einem dominanten Gen und einem weiteren Dominanzfaktor für die Gametenentwicklung geprägt wird.

In der Züchtung werden gegenwärtig fast ausschließlich Pflanzen vom Texas-Typ oder Io-Jap benutzt (GABELMAN, 1949; JOSEPHSON, 1955).



Abb. 2. Ährchenausbildung als Folge der 2,4-D-Behandlung. — In einer Fahne sind fertile (links), semisterile (Mitte) und zwittrige (rechts) zu beobachten.

#### d) Erklärungshypothesen

CHADSCHINOW (1960) hält es für möglich, daß die Sterilitätserscheinungen vor allem bei antherenlosen Mutanten auf virusähnliche Zellbestandteile zurückzuführen sind. GABELMAN (1949) mißt den Chondriosomen des Plasmas bei der Ausprägung der Sterilität Bedeutung zu. JOSEPHSON und JENKINS (1948) wiesen nach, daß die Wechselwirkung von Genen und zytoplasmatischen Faktoren die Ausprägung der Pollensterilität bestimmt. Die Beobachtung von JONES (1950) ergab, daß eine Einlagerung des Sterilität verursachenden Zytoplasmas ohne wesentliche Veränderungen anderer Eigenschaften möglich ist. Auf Grund einer bifaktoriellen Wechselwirkung ist die Gewinnung von Linien, die die Fertilität zytoplasmatisch steriler Ausgangsformen aufheben können (Restorer), möglich.

Beim Texas-Typ scheint dies durch ein dominantes Gen zu erfolgen, während SCHWARTZ (1951) nachwies, daß beim Typ „Kys“ die Pflanzen neben dem spezifischen Zytoplasma die genetische Formel  $M^s m^s s^{Ga} s^{Ga}$  aufweisen. Nur die Linie „Kys“ besitzt das rezessive Allel  $s^{Ga}$ , während die übrigen der geprüften Linien mittels des dominanten Faktors  $S^{Ga}$  die Sterilität aufheben können. Trotz dieser klaren Analyse konnten Linien vom „Kys“-Typ bislang keine Bedeutung erlangen.

Den Erklärungshypothesen mangelt es an Erkenntnissen über die biochemischen Vorgänge bei der Ausprägung pollensteriler Pflanzen. Man kann daher nur von einem Beginn der Untersuchungen berichten (LENG und BAUMANN, 1955).

#### e) Die Klassifizierung verschiedener Sterilitätstypen

Pflanzen mit ZPS sind unter den pollensterilen Auslesen selten zu finden. Während ROGERS und EDWARDSON die ersten Auslesen aus der Sorte „Mexican June“ trafen und diesen Sterilitätstyp, der sich durch das Fehlen von ausgebildeten Pollenkörnern auszeichnet, als „Texassterilität“ bezeichneten, stammten die Ursprungspflanzen CHADSCHINOWS aus einer Aserbeidschanischen Landsorte. GALIJEW selektierte plasmatisch sterile Pflanzen aus 3 verschiedenen Herkünften des „Gelben Moldau Hartmaises“ und einer Herkunft aus Ossetien.

Die verschiedenen Quellen beweisen, daß die Erscheinung der zytoplasmatisch bedingten Pollensterilität nicht auf bestimmte Anbaubereiche beschränkt ist. Bisher wurden ZPS-Eliten in den USA,

Mexiko, Peru, UdSSR und Italien gewonnen. In seinen Arbeiten versuchte BRIGGLE (1956) alle bis dahin bekannten Typen der Sterilität zu ordnen. Er unterschied den Typ „T“ (Texas) und „S“ bzw. „USDA“. Gleichzeitig führten CHADSCHINOW (1957) und GALIJEW ihre Untersuchungen durch. Sie bezeichneten den von BRIGGLE unter „S“ (USDA) beschriebenen Sterilitätstyp als Moldau-Typ (M), da er bei diesen Herkünften am häufigsten auftrat.

Die beiden Formen unterscheiden sich wesentlich hinsichtlich Ausprägung und Anwendungsbreite. Der Moldautyp der Sterilität kann häufiger als der Texas-Typ analysiert werden. Bislang gelang es nicht, den Typ „T“ der Sterilität in europäischen und asiatischen Herkünften zu analysieren, während sterile Pflanzen des Typs „M“ in verschiedenen Maisanbaugebieten selektiert wurden.

Die „Texas“ (T)-Sterilität kann allerdings leichter in die verschiedenen Inzuchtlinien eingelagert werden, weil zahlreiche Linien neutral reagieren. Die Schaffung pollensteriler Analog-Linien vom Typ „T“ bietet daher größere Erfolgsaussichten als mit dem Moldautyp. So ist auch erklärlich, daß in der praktischen Anwendung dem Texastyp der Vorzug gegeben wird.

Der Einfluß auf die Stoffwechselprozesse ist bei einer Sterilität mit dem Texastyp tiefergreifender als beim Moldautyp. Nach eigenen Beobachtungen sind die Depressionen bei der Schaffung steriler Analoge vom „M“-Typ weniger ausgeprägt als beim „T“-Typ. Dies wurde auch von CHADSCHINOW (1960) vermerkt, der beim Vergleich von pollensterilen Linien des Typs „T“ und „M“ eine Ertragsüberlegenheit von 6,9% der „M“-Typen nachwies. Bei entsprechender Selektion kann in fast jede Linie ohne wesentliche Beeinflussung der Kombinationseignung und Ertragsleistung die ZPS eingelagert werden.

Tabelle 1. Der Einfluß der Sterilität auf verschiedene Eigenschaften der Linien WIR 29, WIR 43, WIR 51 und G 9 (nach CHADSCHINOW 1960).

Im Vergleich zur fertilen Ausgangsform verhalten sich die Sterilen bezüglich

	Pflanzen- höhe %	Kolben- ansatzhöhe %	Länge der Fahne %	Kolbenzahl %
M-Typ	—1,9	—5,5	—0,7	+10,2
T-Typ	—5,0	—4,3	—2,6	+20,7

Diese Daten stimmen mit den Ergebnissen von ROGERS und EDWARDSON (1952) überein.

Man wurde bereits durch MANGELSDORF und JONES auf Gene aufmerksam, die die Wirkung des Plasmas auf die Ausprägung der Pollensterilität vollständig aufheben können. Diese Faktoren bezeichnet man als Restorer (R). Nach DUVICK (1956) sind für die volle Wiederherstellung der Fertilität zwei Gene ( $Rf_1$  und  $Rf_2$ ) zusammen mit einem dominanten Genmodifikator verantwortlich. Die Restorereigenschaften werden im Abschnitt 4 beschrieben.

### 3. Die Anwendung der ZPS bei der Saatguterzeugung

Als Voraussetzung für die praktische Anwendung der ZPS muß die mehrfache Rückkreuzung und ständige Selektion mit bewährten Linien angesehen

werden. Man sollte nach den bisherigen Erfahrungen nicht vor der 3. Rückkreuzungsgeneration mit der Prüfung auf Kombinationseignung beginnen. Die sterilen Analoge werden durch das Verfahren der Konvergenzzüchtung gewonnen.

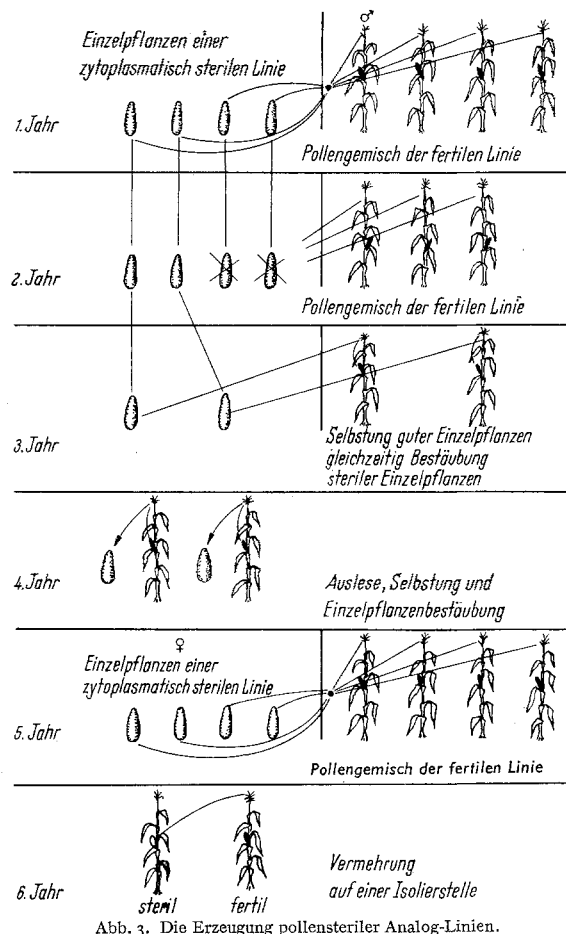


Abb. 3. Die Erzeugung pollensteriler Analog-Linien.

In den ersten Jahren empfiehlt es sich, zwecks Arbeitserleichterung mit dem Pollengemisch einer Einzelpflanzen-Nachkommenschaft zu arbeiten, um sterile Pflanzen einer entsprechenden Linie zu bestäuben. Auf Grund der Bonituren im 2. Jahr kann man dann feststellen, ob die Bestäuberlinie Restorereigenschaften enthält.

Vom 3. Zyklus an sollte aber konsequent die einzelpflanzenweise Bestäubung erfolgen. Von den fertilen Pflanzen wird dabei ein Teil des Pollens zur Selbstbestäubung, der Rest zur Bestäubung steriler Pflanzen benutzt. Durch scharfe Selektion kann im 4. Jahr bereits der Typ der gewünschten Analog-Linie erreicht werden. Dieses Verfahren wird im 5. Jahr fortgesetzt, so daß bereits im 6. Jahr eine Vermehrung auf einer Isolierstelle erfolgen kann.

Zur Verbesserung der Auslese empfiehlt es sich, vom 4. Zyklus an auch auf spezifische Kombinationseignung zu testen, so daß zur Vermehrung Eliten gelangen, die neben voller Sterilität eine hervorragende Kombinationseignung aufweisen.

Die Zeitdauer der Arbeit kann unter Umständen durch die Vergrößerung der Zahl der Einzelkreuzungen verkürzt werden.

#### a) Die Prüfung der Inzuchtlinien

Nachdem bewährte Linien für die Erzeugung pollensteriler Formen ausgelesen wurden, wird zunächst

Tabelle 2. Das Verhalten der Linien bezüglich Texas-Sterilität (Tms).

Der Autor möchte an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. CHADSCHINOW (Krasnodar) und Herrn Prof. GALIJEW (Kuban-Versuchsstation) für die freundliche Übersendung der Versuchsberichte nochmals herzlich danken.

Linie	Herkunft	Linie	Herkunft	Linie	Herkunft
<b>A. Sterile</b>					
WIR 11	UdSSR	A 25	USA	W 3	USA
" 20	"	A 39	"	W 10	"
" 26	"	A 155	"	W 15	"
" 27	"	A 158	"	W 17	"
" 28	"	A 165	"	W 20	"
" 29	"	A 172	"	W 23	"
" 38	"	A 295	"	W 33	"
" 40	"	A 395	"	W 47	"
" 41	"	A 417	"	W 49	"
" 47	"	B 2	"	W 4 <sup>1-1-4</sup>	"
" 52	"	B 8	"	WH	"
" 55	"	B 14	"	WA 374 B	"
" 64	"	B 16	"	W 75	"
" 75	"	B 164	"	W 79 A	"
" 82	"	Tx 61 M	"	W 90	"
" 93	"	Tx 102 A	"	W 132	"
" 100	"	Tx 132 A	"	W 182 B	"
" 116	"	Tx 173 D	"	W 22	"
" 118	"	Tx 303	"	WD	"
" 133	"	C 4	"	L	"
" 158	"	C 42	"	L 289	"
ND 230	USA	C 1-29	"	L 317	"
ND 255	"	C 6-29	"	K 55	"
ND 273	"	Ga 24	"	K 4	"
ND 283	"	R 3	"	K 201	"
Cr 30	"	R 11	"	Os 426	"
A 15	"	R 12	"	Ky 39	"
A 21	"	R 30	"	Kys	"
SA 24	"	R 61	"	Sg 30 A	"
J	"	N1	Kanada	IvL 74	Holland
Hy	"	D 5	"	IvL 76 E	"
Hy WS	"	38	"	DLL 5-0402 F	"
Oh 014	"	39	"		
Oh 26	"	62	"	1308/56 S <sub>6</sub>	CSSR
Oh 33	"	152	"	1548/56 S <sub>7</sub>	"
Oh 43	"	157	"	A 230	"
Oh 51 A	"	191	"	1672/56 S <sub>4</sub>	"
Oh 65	"	203	"	CC 5	"
Ny 2 R	"	204	"		
Ny 3	"	46-6-9	"	PI-1168036	Türkei
N 6	"	7002-16-1	"		
US 187	"	72-75-51-2	"	VC 143	Frankreich
H 5	"	Sweet 22-3-4-1	"		
SD 5	"			VC 126	Griechenland
38-11	"	Cn	Argentinien		
Ia D 50	"	B 4	"	PI-1	Österreich
Mo 22	"	Bz 8	"		
NC 84	"				
Okla 12 E	"	G 3	DDR		
Okla 22 C	"	G 6	"		
		G 10	"		
		G 14	"		
<b>B. Restorer</b>					
WIR 44	UdSSR	W 24	USA	BK	Argentinien
" 109	"	W 153 R	"	CM 1	"
" 115	"	LR	"	CB 19	"
Ky 4	"	K 55	"	YW 5	"
Ky 9	"	C 17-1-3	"	Cu 325	"
Ky 104	"	M 14 PR	"	K-1-1	"
		M 14 WS	"		
1420/56 S <sub>9</sub>	CSSR	Ky 21	"	206-1-2	Kanada
1443/56 S <sub>5</sub>	"	Tx 127 C	"	145-1	"
		Tx GJ 39	"		
		K 6	"		

Für diese Zusammenstellung wurden die Ergebnisse von ROGERS und EDWARDSON (1952) sowie von GALIJEW (1960) mit verarbeitet.

das allgemeine Verhalten nach der Einkreuzung bewährter steriler Linien bestimmt. Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt von der Zahl der zu prüfenden Einzelpflanzen ab. Grundsätzlich sollten von jeder Einzelpflanzennachkommenschaft mindestens

20 Pflanzen geprüft werden. Bei einem Anbau von beispielsweise 10 Pflanzen je Elitekolben streuen die Ergebnisse nach unseren Ermittlungen zu stark.

Die Bonitur der Sterilität erfolgt in Bernburg nach folgenden Gesichtspunkten:

- o = volle Sterilität — die Antheren sind stark degeneriert und treten nicht aus den Ährchen,  
 1 = die Fahne ist steril — die degenerierten Antheren besitzen zwar fertilen Pollen, die Pollensäcke platzen aber nicht,  
 2 = Semisterilität — die Antheren sind teilweise fertil, treten aber nicht gleichzeitig aus,  
 3 = Semifertilität — die Zahl der fertilen Antheren liegt unter 50%,  
 4 = Fertilität — mit vereinzelt sterilen Antheren,  
 5 = Fertile Fahnen.

Tabelle 3. Das Verhalten der Linien bezüglich Moldau-Sterilität (Mms).

Linie	Herkunft	Linie	Herkunft	Linie	Herkunft
<b>A. Sterile</b>					
WIR 28	UdSSR	A 21	USA	Hy	USA
„ 38	„	A 31	„	38-11	„
„ 40	„	A 42	„	OS 426	„
„ 41	„	A 131	„	Cr 30	„
„ 44	„	A 148	„	Cr 36	„
„ 51	„	A 155	„	C 6-29	„
„ 52	„	A 158	„	ND 203	„
„ 53	„	A 165	„	ND 283	„
„ 55	„	A 374	„	C 42	„
„ 64	„	W 15	„		
„ 100	„	W 17	„		
„ 109	„	W 22	„		
„ 115	„	W 49	„		
„ 118	„	W 85	„		
„ 133	„	W 90	„		
„ 157	„	US 187	„		
„ 158	„	L 137	„		
<b>B. Restorer</b>					
WIR 20	UdSSR	Tx 173 D	USA		
„ 26	„	K 55-2-1	„		
„ 27	„	FSM 14	„		
„ 60	„	Ky 21	„		
„ 82	„				

Tabelle 4. In der UdSSR züchterisch genutzte pollensterile Linien.

**A. Texas-Typ (Tms):**

## Herkunft UdSSR

WIR 11 T, WIR 20 T, WIR 26 T, WIR 27 T, WIR 28 T, WIR 29 T, WIR 38 T, WIR 39 T, WIR 40 T, WIR 41 T, WIR 43 T, WIR 47 T, WIR 51 T, WIR 52 T, WIR 53 T, WIR 64 T, WIR 75 T, WIR 93 T, WIR 100 T, WIR 116 T, WIR 118 T, WIR 133 T, WIR 157 T, WIR 158 T.

## Herkunft USA

ND 230 T, ND 255 T, ND 273 T, ND 283 T, Cr 30 T, C 14 T, C 42 T, C-1-29 T, C-6-29 T, A T, A 7 T, A 15 T, A 25 T, A 39 T, A 73 T, A 96 T, A 131 T, A 140 T, A 155 T, A 158 T, A 165 T, A 172 T, A 322 T, D T, F T, L T, L 289 T, R 3 T, H T, Hy T, 20 G T, 5120 B T, W 15 T, W 20 T, W 22 T, W 23 T, W 25 T, W 47 T, W 49 T, W 643 T, W 703 T, W 59 E T, 38-11 T, I 234 T, Tr T.

## Herkunft Kanada

38 T, 39 T, 42 T, 62 T.

**B. Moldau-Typ (Mms):**

## Herkunft UdSSR

WIR 28 M, WIR 29 M, WIR 38 M, WIR 41 M, WIR 44 M, WIR 51 M, WIR 52 M, WIR 53 M, WIR 55 M, WIR 64 M, WIR 82 M, WIR 100 M, WIR 115 M, WIR 118 M, WIR 133 M.

## Herkunft USA

ND 203 M, ND 283 M, Cr 36 M, C-6-29 M, C 42 M, A M, A 31 M, A 131 M, A 155 M, A 158 M, L M, L 317 M, W 22 M, Os 426 M, W 17 M, W 49 M, W 85 M, W 90 M, 38-11 M.

**C. Linien mit Tms und Mms:**

## Herkunft UdSSR

WIR 28, WIR 29, WIR 38, WIR 41, WIR 51, WIR 52, WIR 53, WIR 64, WIR 100, WIR 118, WIR 133.

## Herkunft USA

ND 203, ND 283, C-6-29, C 42, A, A 131, A 155, A 158, L, W 22, W 49, 38-11.

Als günstigster Zeitpunkt für die Sterilitätsprüfung erweist sich der Anfang des Welkens der Griffelfäden. Neben der Zahl der fertilen Pflanzen aus einem gegebenen Material kann mit dieser Methode gleichzeitig der Grad der Fertilität ermittelt werden.

Bei der Beurteilung müssen die grundsätzlichen Unterschiede zwischen dem Texas (T)- bzw. Moldau (M)-Typ beachtet werden. Sie differieren in der Antherenausbildung. Beim Typ „T“ sind die Antheren vollkommen degeneriert, während

beim Typ „M“ die Antheren vielfach nicht aufplatzen und nur geringe Mengen wenig fertilen Pollens bilden. Die Modifikabilität des Typs „M“ ist wesentlich größer als die des Typs „T“. Der Typ „M“ ist auch mit den von BRIGGLE (1956) beschriebenen Typen „A“ und „B“, der in den Linien „WF 9“ und „M 14“ nachzuweisen ist, identisch. Auf Grund der bisherigen Untersuchungen können die bekanntesten Linien des internationalen Sortiments bezüglich ihres Sterilitätsverhaltens wie folgt analysiert werden: (s. Tab. 2 und Tab. 3).

Wie aus diesen Übersichten zu entnehmen ist, steht eine große Kollektion bewährter Inzuchtlinien für die praktische Anwendung der Pollensterilität bereits zur Verfügung. Bei der intensiven Arbeit mit diesen Problemen ist zu erwarten, daß die Zahl der sterilen Analog-Linien noch größer ist.

In welchem Umfang in den verschiedenen Zuchtstationen sterile Analog-Linien genutzt werden, soll am Beispiel der Sowjetunion gezeigt werden. Man muß dabei berücksichtigen, daß intensive Arbeit auf diesem Gebiet erst seit einigen Jahren betrieben wird. Nach GALIJEW (1960) verwendet man in der UdSSR heute für die praktische Züchtung folgende pollensterile Linien (s. Tab. 4).

Zahlreiche der in Tab. 4 aufgeführten Linien bewährten sich in verschiedenen Kombinationen. Es besteht also die Möglichkeit, daß auch die Länder ohne Tradition auf dem Gebiet der Hybridmaiszüchtung sich diesen Weg durch Saatgutaustausch erschließen können.

Zahlreiche der aufgeführten Linien sind für die Nutzung in Mitteleuropa wegen ihrer hohen Temperaturansprüche und Spätreife direkt kaum zu verwerten. Es besteht aber die Möglichkeit, nach Einkreuzung in bewährte akklimatisierte Linien die Vorteile der ZPS auch hier auszuschöpfen. Das große Reservoir an Linien, die zur Einkreuzung benutzt werden können, dürfte die Gewähr geben, daß die Basis für derartige Arbeiten nicht zu sehr eingeengt wird.

**b) Die Saatguterzeugung unter Benutzung pollensteriler Linien**

Die ZPS bereitete bei der praktischen Nutzung Schwierigkeiten, da das Saatgut die Sterilität auch beim Anbau der Hybride beibehält. Man ist also gezwungen, fertiles Saatgut hinzuzufügen. Es muß fertiles und steriles Hybridsaatgut in parallelen Züchtungsgängen erzeugt werden. Die mechanische Vermischung erfolgt entweder bei der Erzeugung des



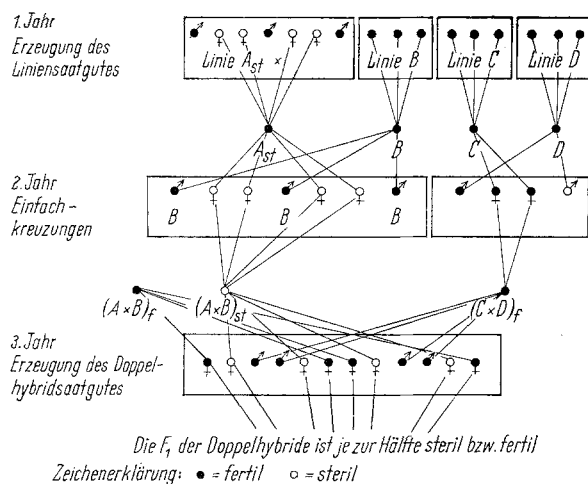


Abb. 4. Die Erzeugung von Doppelhybridsaatgut mit Hilfe steriler Analoge.

Doppelhybridsaatgutes oder erst bei der Saatgutaufbereitung. Im allgemeinen werden gleiche Mengen fertilen und sterilen Saatgutes gemischt.

Diese Verdoppelung des züchterischen Aufwandes entfällt, wenn eine Linie mit Restorereigenschaften zur Bestäubung benutzt wird. Da in diesem Fall das Doppelhybridsaatgut voll fertil ist, kann auf eine mechanische Mischung des Saatgutes verzichtet werden.

Die Anwendung der Pollensterilität ist auch bei Sorten möglich. GALIJEW (1956) empfiehlt, in solchen Fällen neben dem Test auf Kombinationseignung gleichzeitig das Sterilitätsverhalten der Eliten zu prüfen. Es läßt sich auf Grund der genetischen Variabilität trotzdem kaum vermeiden, daß einzelne fertile Pflanzen erscheinen. Die Zuchtgartenelite sollte daher sorgfältig bereinigt werden, indem die nicht erwünschten fertilen Pflanzen nicht nur entfaßt, sondern vollkommen eliminiert werden.

Es darf nicht übersehen werden, daß die Einlagerung der Sterilität mit einer Verlängerung des Zuchtweges erkauft wird. Man ist daher bemüht, die bereits vorhandenen sterilen Analoge in möglichst zahlreichen Kombinationen zu verwenden.

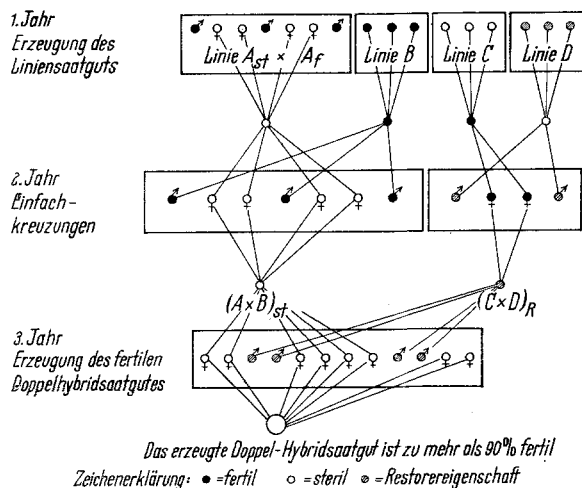


Abb. 5. Die Erzeugung von Doppelhybridsaatgut unter Verwendung einer „Restorer-Linie“.

#### 4. Wege zur Wiederherstellung der Fertilität

Die praktische Nutzung der Pollensterilität erforderte zunächst eine mechanische Mischung mit parallel vermehrten fertilen Analog-Hybriden.

Entgegen den ursprünglichen optimistischen Erwartungen erwiesen sich die Restorerfaktoren als mutable Allele mit zahlreichen Modifikationssystemen. So wurde in den USA 1958 zwar die Hälfte die Hybridsamenproduktion mit Hilfe steriler Linien erzeugt; der überwiegende Teil mußte aber auf dem Wege der mechanischen Mischung mit fertilem Saatgut gewonnen werden.

JONES und MANGELSDORF (1951) konnten nachweisen, daß eine sporophytisch bedingte Wiederherstellung der Fertilität möglich ist. Seither ist die züchterische Anwendung der ZPS mit der Bemühung um die Aufhebung der Sterilität durch „Restorer-Linien“ eng verknüpft. Die theoretischen Möglichkeiten der Konstitution von „Restorern“ erörterte bereits 1951 SCHWARTZ, nachdem die Besonderheiten

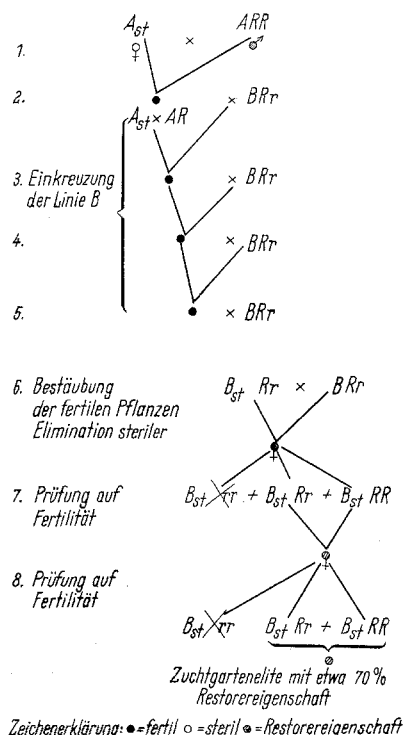


Abb. 6. Die Erzeugung von Analog-Linien mit Restorereigenschaften.

des sterilen Zytoplasmas im Zusammenwirken mit genetischen Faktoren erkannt waren. Die Modifikabilität der Restorer wurde von DUVICK (1956) eingehend untersucht.

Die Restorereigenschaften können mit Hilfe der Konvergenzzüchtung und nachfolgender Inzucht sowie Prüfung auf Fertilitätsherstellung eingelagert werden.

Die Wirksamkeit des Zuchtverfahrens kann nur durch den Test gegen den sterilen Partner (Ast) überprüft werden. Es ist daher unvermeidlich, daß zahlreiche nicht restorierende Linien erst bei der endgültigen Bonitur nach der Testkreuzung eliminiert werden können.

Bei Verwendung einer sterilen Ausgangslinie kann eine Frühselektion erfolgen, da vom 5. Zyklus an nur fertile — also restorierte — Eliten benutzt werden, so daß die Population wesentlich eingengt werden kann.

Bereits nach der 4. Rückkreuzung kann nach Selbstung der fertilen Pflanzen die Restorereigenschaft geprüft werden. Dabei ist zu entscheiden, ob die



Rückkreuzungen zur Annäherung an den Typ A nicht weiter fortgesetzt werden sollten. Man kann sich jedoch schon über die allgemeine Restorereigenschaft gut informieren. Dieses Verfahren empfiehlt sich auch, wenn man einen hohen Anteil fertiler

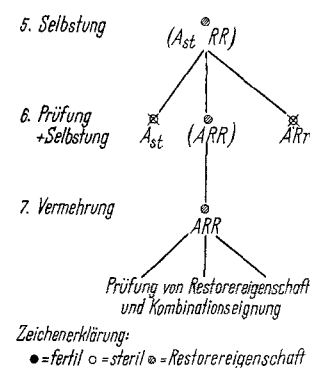
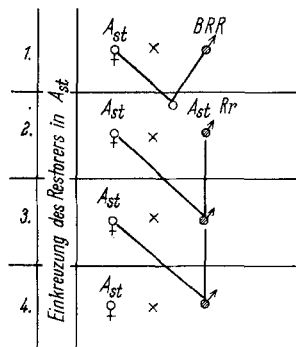


Abb. 7. Die Erzeugung von Analoglinien mit Restorereigenschaften mit Hilfe einer sterilen Ausgangsform.

Linien mit Restorereigenschaften sind aus dem internationalen Austausch der Maissortimente bekannt. Eine züchterische Verwendung kann demzufolge überall durchgeführt werden.

Eine Übersicht der bisher benutzten Linien ist aus Tab. 5 zu entnehmen.

Tabelle 5. Zusammenstellung einiger in der UdSSR bewährter Restorerlinien (nach CHADSCHINOW 1960).

A. Restorerlinien für den Texas-Typ der Sterilität:

Herkunft USA

W 28, W 153, A 344, Ky 21, Tx 127 c, K 55, M 14, K 6.

Herkunft Argentinien

In 5-1, Cu 325, AdS, Cv 19.

Herkunft UdSSR

WIR 44, WIR 109, Gb 251, Gb 302, Gb 356, Gb 589, Gb 591, Gb 135/18, 2 KSh 35, 2 KSh 74.

B. Restorerlinien für den Moldautyp der Sterilität:

Herkunft USA

A 116, A 71, A 114, A 347, M 14, Ky 21.

Herkunft UdSSR

WIR 26, Gb 167, Sg 2, Gb 149, Gb 588, KS 126, SO 87.

Besonders bemerkenswert sind die Linien M 14 und Ky 21, die als „Universal-Restorer“ benutzt werden können. Es ist aber sehr wahrscheinlich, daß sich im Verlauf der weiteren Arbeit neue Linien ermitteln lassen, die bei beiden Haupttypen der Sterilität die Fertilität wieder herstellen können.

Nach den Erfahrungen im Institut für Pflanzenzüchtung Bernburg ist aber zu berücksichtigen, daß die international bekannten Linien (z. B. W 153 R, WIR 44) sehr spätreif sind. Sie können ohne entsprechende Vorbehandlung wegen ihrer Spätreife kaum in frühe und mittelfrühe Linien eingelagert werden.

### a) Die Erhaltungszüchtung von Restorerlinien

Die züchterische Bearbeitung von Restorerlinien verlangt die Auslese nach Leistungsmerkmalen, verbunden mit einer ständigen Kontrolle der Restorerpotenz. Nach bisherigen Erfahrungen empfiehlt sich die Erhaltungszüchtung nach folgendem Schema:

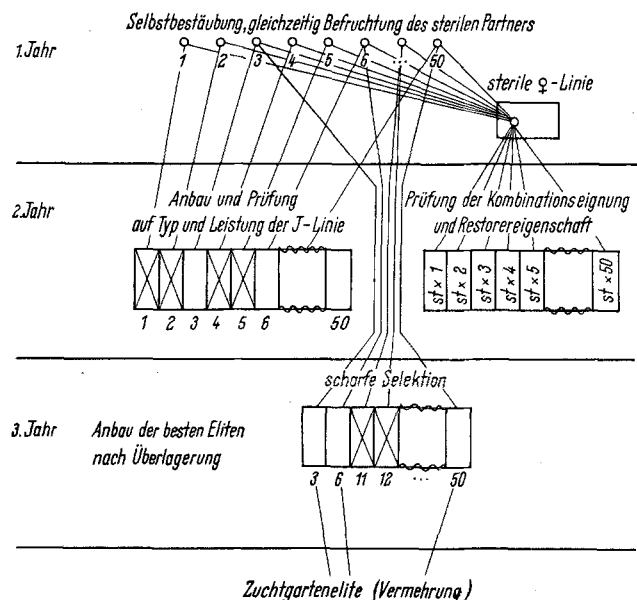


Abb. 8. Die Erhaltungszüchtung einer Linie mit Restorereigenschaften.

Durch die Kontrolle auf Leistung und Typ sowie Restorereigenschaft im Jahre nach der Isolation ist die Reinheit des Superelite-Saatgutes gewährleistet. In Abhängigkeit vom Saatgutbedarf wird die Auslese von etwa 50 Einzelpflanzen für dieses Verfahren als ausreichend angesehen. Gleichzeitig ist es möglich, auf diesem Wege die spezifische Kombinationseignung der Linien ständig zu verbessern.

Die für die Arbeit mit Restorer-Analogen erforderliche Analyse der Linien bietet also gleichzeitig die Möglichkeit zur Leistungssteigerung auf dem Wege der Erhaltungszüchtung.

### 5. Ausblick

Bei einer Bewertung der Pollensterilität steht die qualitative Verbesserung des Hybridsaatgutes als Folge der vollständigen Fremdbefruchtung neben der effektiven Arbeitszeiteinsparung für die Kastration des mütterlichen Partners im Vordergrund. Im allgemeinen wird eine Erzeugungskostensenkung um 25% gegenüber fertilen Ausgangsformen erreicht.

Trotz der relativ kurzen Anwendungszeit wirkten sich die züchterischen Erfolge mit Hilfe der ZPS beim Mais auch auf andere Kulturen aus. Auch bei anderen Objekten wird an diesem Problem intensiv gearbeitet. SUNESON (1951) berichtet von Hybridgersten, JAIN (1959) bemüht sich um eine gelenkte Bestäubung bei

Obstsorten, STEPHENS (1954) und MAUNDER (1959) erzeugen Hybridsorghum-Sorten.

Im weiteren Verlauf der Arbeiten mit ZPS müssen aber auch die neuen Möglichkeiten auf dem Gebiet der Zuchtmethodik bearbeitet werden. Sind doch nunmehr neue Wege zur Erzeugung synthetischer Populationen geebnet. Es ergeben sich ferner neue Aspekte zur Untersuchung populationsgenetischer Veränderungen, da sich teilweise sterile Populationen hinsichtlich ihrer Variation und Anpassungsfähigkeit wahrscheinlich anders als vollfertile Nachkommen verhalten werden.

Die züchterische Auslese könnte durch eine sichere Methode zur Frühdiagnose wesentlich beschleunigt werden. Entsprechende biochemische Analysen ergaben bislang keine eindeutigen Resultate. Zwar wies bereits FUKASAWA (1954) auf den geringeren Prolingehalt des Pollens steriler Pflanzen hin. Die Differenzen treten aber erst im relativ späten Entwicklungsstadium auf. Das gleiche gilt für den Karotingehalt, den SAMORODOWA (1956) untersuchte.

Auch die morphologischen Untersuchungen KUPERMANS u. a. (1959) ließen erst zu Beginn der Pollenbildung deutliche Differenzen erkennen. Aus diesem Grunde werden gegenwärtig im Institut für Pflanzenzüchtung Bernburg umfangreiche biochemische Untersuchungen zur Frühdiagnose der Pollensterilität übernommen, über die zu einem späteren Zeitpunkt berichtet wird.

Besondere Beachtung verdienen die Ermittlungen STRINGFIELDS (1958), der eine Ertragsüberlegenheit der Hybriden mit restorierter Fertilität nachwies. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß mit dem Restorerfaktor pleiotrop wirkende Heterosisfaktoren gekoppelt sind. Das wird auch von EVERETT (1963) angenommen.

Durch die Anwendung dieser Eigenschaft wird die Nutzung von Hybridmaissaatgut auch in einem erweiterten Anbauareal neue Perspektiven erhalten (BALURA, 1961).

### Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit den züchterischen Möglichkeiten, die die zytoplasmatisch bedingte (gametophytische) Pollensterilität — ZPS — beim Mais bietet.

1. Der Arbeitsaufwand für das Entfahnen entfällt. Dadurch verringert sich der Arbeitskräftebedarf nach Bernburger Ermittlungen um etwa 100 AKh/ha Hybridmaisfläche.

2. Die qualitative Verbesserung des Saatgutes ist durch die saubere Bestäubungslenkung gewährleistet. Eine ertragsmindernde Pflanzenbeschädigung wird ausgeschlossen.

3. Obwohl die biochemischen Ursachen für die ZPS nicht restlos aufgeklärt sind, muß auf die umweltbedingte Variation bei der Ausprägung geachtet werden. Dies gilt besonders für Maishybriden mit einem großen Anbauareal.

4. Die Anwendung von Chemikalien zur Erzeugung von Pollensterilität brachte beim Mais im Gegensatz zu anderen Kulturpflanzen (Zwiebeln und Rüben) keine Erfolge.

5. Es werden Vorschläge für die züchterisch praktische Anwendung der ZPS beim Mais unterbreitet. Die bekanntesten I-Linien des internationalen Mais-

sortiments werden hinsichtlich ihres Verhaltens gegenüber ZPS und Restorerfaktoren analysiert. Dazu wurden auch die Ergebnisse von EDWARDSON (1955) und GALIJEW (1960) verarbeitet.

6. Die züchterischen Probleme der Verwendung von Restorerfaktoren werden beschrieben und ein entsprechender Zuchtaufbau vorgeschlagen.

7. Die zielstrebige Anwendung der ZPS wird beim Mais auch in einem erweiterten Anbauareal zur Verbreitung der Hybridsorten beitragen. Neben biochemischen Grundlagenforschungen zur Entwicklung von Frühtestmethoden erscheinen zuchtmethodische Untersuchungen besonders vordringlich, um Wesen und Ursache dieses Phänomens besser interpretieren und damit nutzen zu können.

### Literatur

1. AALA, F. T.: Some notes on the development of male sterile lines in seed corn. *Philippine J. Agric.* **21**, 103—109 (1959). — 2. BALURA, W. I.: Körnermais in der Nichtschwarzerdezone. *Nachr. d. Landw. Wiss.* **6**, 19—24 (1961). — 3. BARANOW, P. A., N. P. DUBININ und M. I. CHADSCHINOW: Das Problem der Maishybriden (Grundaufgaben und Methoden ihrer Lösung) (russisch) *T. Bot. Z.* **40**, 481—507 (1955). — 4. BATESON, W., R. SAUNDERS, R. C. PUNNETT: Male sterility. *Rep. Evol. Comm. Roy. Soc. London* **4**, 16 (1908). — 5. BLICKENSTAFF, J., D. L. THOMPSON und P. H. HARVEY: Inheritance and linkage of pollen fertility restoration in cytoplasmic male-sterile crosses of corn. *Agron. J.* **50**, 430—434 (1958). — 6. BRIGGLE, L. W.: Interaction of Cytoplasm and Genes in Male-sterile corn crosses involving two inbred lines. *Agron. J.* **48**, 569—573 (1956). — 7. BRINK, R. A.: The occurrence of semi-sterility in maize. *Journ. Hered.* **18**, 266—270 (1927). — 8. CAMERON, J. W., and F. M. EATON: Effects of  $\alpha,\beta$ -Dichlorisobutyrate sprays in preventing pollen shedding in corn. *Agron. J.* **51**, 428—429 (1959). — 9. CHADSCHINOW, M. I.: Die Selektion von Inzuchtlinien beim Mais mit Pollensterilität und Linien mit Wiederherstellung der Fertilität. *Selektia i Semenowodstwo XXII* **1**, 8—13 (1957). — 10. CHADSCHINOW, M. I.: Die Pollensterilität in der Maiszüchtung. Vortrag auf dem Symposium über Hybridmais am 4. XII. 1960 in Moskau (1960). — 11. CHERRY, J., H. A. LUND und E. B. EARLEY: Effect of Gibberellic Acid on Growth and Yield of Corn. *Agr. J.* **52**, 167—170 (1960). — 12. CHITTENDEN, F. J.: The rogue wallflower. *J. Bot.* **52**, 265—271 (1914). — 13. CORRENS, C.: Die Rolle der männlichen Keimzellen bei der Geschlechtsbestimmung der gynodioecischen Pflanzen. *Ber. Dt. Bot. Ges.* **36**, 686—701 (1908). — 14. CORRENS, C.: Bestimmung, Vererbung und Verteilung des Geschlechts bei höheren Pflanzen. *Handb. d. Vererb. Wiss.* Bd. 2 (1928). — 15. DARWIN, Ch.: Die Entstehung der Arten. London 1890. — 16. DUVICK, D. N.: Allelism and comparative genetics of fertility restoration of cytoplasmically pollen sterile maize. *Genetics* **41**, 544—565 (1956). — 17. EDWARDSON, J. R.: The restoration of fertility to cytoplasmic male-sterile corn. *Agron. Journ.* **47**, 457—461 (1955). — 18. EVERETT, H. L.: Effect of Cytoplasmic and an R f Gene in Maize. *Agr. J.* **52**, 215—216 (1960). — 19. EYSTER, L. A.: Heritable characters of maize, VII Male-sterile. *Journ. Hered.* **12**, 138—141 (1921). — 20. FANG, S. C., and J. S. BURTS: Studies in plant metabolism III. Absorption, translocation and metabolism of radioactive 2,4-D in corn and wheat plants. *Plant Physiol.* **29**, 56—60 (1954). — 21. FUKASAWA, H.: On the free amino acids in anthers of male-sterile wheat and maize. *Jap. J. Genet.* **29**, 135—137 (1954). — 22. GABELMAN, H. W.: Reproduction and distribution of the cytoplasmic factor for male sterility in maize. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **35**, 634—640 (1949). — 23. GALIJEW, G. S.: Die Anwendung der Pollensterilität in der Maiszüchtung. *Sel. i Semenowodstwo XXI*, 29—36 (1956). — 24. GALIJEW, G. S.: Methoden zur Nutzung der ZPS bei Hybridmais. Vortrag auf dem Symposium über Hybridmais am 5. XII. 1960 in Moskau (1960). — 25. GÄRTNER, C. F.: Versuche der Beobachtungen über Befruchtungsorgane. Stuttgart 1844. — 26. GAUSMAN, H. W., and

G. H. DUNGAN: Some effects of certain plant growth substances on maize. Bot. Gaz. 116, 29—40 (1954). — 27. HANSEN, I. R., and K. P. BUCHHOLTZ: Absorption of 2,4-D by corn and pea seeds. Agronomy J. 44, 493—496 (1952). — 28. JAIN, S. K.: Male-sterility in flowering plants. Bibliographia Genetica XVIII, 103—166 (1959). — 29. JONES, D. F.: The interrelation of plasma genes and chromogenes in pollen production in maize. Genetics 35, 567—572 (1950). — 30. JOSEPHSON, L. M., and M. T. JENKINS: Male sterility in corn hybrids. Journ. Amer. Soc. Agron. 40, 267—274 (1948). — 31. JOSEPHSON, L. M.: The use of cytoplasmic male sterility in the production of hybrid maize seed. Agricult. 23, 1—10 (1955). — 32. JUGENHEIMER, R. W., et al.: Stalk lodging in inbred lines of corn caused by 2,4-D spray during flowering. Fifth Ann. North Central Weed Control. Conf. Res. Report. III, 68 (1948). — 33. JUGENHEIMER, R. W.: Evolution of genetic male sterility in the hybrid corn program. Rep. 6th Hybrid Corn Ind. Res. Conf. Chicago 25—28 (1951). — 34. KUPERMAN, F. M., I. I. MARJAINA u. A. I. BAISSUGUROWA: Über eine Diagnose der Pollensterilität beim Mais. Kukurusa 4, 16—19 (1959). — 35. LENG, E. R., and L. F. BAUMAN: Expression of the „kys“ type of male sterility in strains of corn with normal cytoplasm. Agron. J. 47, 189—191 (1955). — 36. MAUNDER, A. B., and R. C. PICKETT: The Genetic Inheritance of Cytoplasmic-Genetic Male Sterility in Grain Sorghum. Agronomy Journal 51, 47—49 (1959). — 37. MOŁOTKOWSKI, G. Ch.: Das Problem der Polarität und der Geschlechtsverlagerung beim Mais. Dokl. A. N. UdSSR 114, 434—437 (1957). — 38. MOSSOLOV, I. W., und L. W. MOSSOLOVA: Die Wirkung von Gibberellin auf Wachstum und Entwicklung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Naturwiss. Beiträge, H. 7, 727—738 (1960). — 39. NAYLOR, A. W.: Observations on the effects of maleic hydrazide on flowering of tobacco, maize and cocklebur. Proc. nat. Acad. Sci. USA 36, 230—232 (1950). — 40. NELSON, O. E., and G. B. CLARY: Genic control of semi-sterility in maize. An inbred with pollen semisterility and ovule semisterility caused by different genes. J. Hered. 43, 205—210 (1952). — 41. NELSON, P. M., and E. C. ROSSMAN:

Chemical Induction of male sterility in inbred Maize by use of Gibberellins. Science 127, 1500—1501 (1958). — 42. REHM, S.: Male sterile by chemical treatment. Nature London, 170, 38—39 (1952). — 43. RHOADES, M. M.: Cytoplasmic inheritance of male sterility in Zea mays. Science 73, 340—341 (1931). — 44. RHOADES, M. M.: The cytoplasmic inheritance of male sterility in Zea mays. Journ. Gen. 27, 71—93 (1933). — 45. ROGERS, J. S., and J. R. EDWARDSON: The utilization of cytoplasmic male-sterile inbreds in the Production of corn hybrids. Agron. Journ. 44, 8—13 (1952). — 46. ROSSMAN, E. C., and D. W. STANFORTH: Effects of 2,4-D on inbred lines and a single cross of maize. Plant Phys. 24, 60—74 (1949). — 47. RUNDFELDT, H.: Untersuchungen zur Züchtung des Kopfkohls. Zeitschr. f. Pflanzenzüchtung 44, 30—62 (1960). — 48. SAMORODOWA-BIANKI, G. B.: Karotiningehalt und seine Dynamik bei fertilen und sterilen Pollen verschiedener Pflanzenarten. Dokl. A. N. 109, 873—875 (1956). — 49. SCHUSTER, W.: Untersuchungen über die Wirkung der 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure (2,4-D) und -Naphthylessigsäure (NES) auf die Blüte und den Samen der Sonnenblume sowie die Nachwirkungen in den folgenden Generationen. Der Züchter 26, 78—83 (1956). — 50. SCHWARTZ, D.: The interaction of nuclear and cytoplasmic factors in the inheritance of male sterility in maize. Genetics 36, 676—696 (1951). — 51. STANFORTH, D. W.: Effect of 2,4-Dichlorphenoxyacetic Acid on meristematic tissues of corn. Plant Phys. 27, 803—811 (1952). — 52. STEPHENS, J. C., and R. F. HOLLAND: Cytoplasmic male-sterility for hybrid sorghum seed production. Agronomy Journ. 46, 20—23 (1954). — 53. STRINGFIELD, G. H.: Fertility Restoration and yields in maize. Agronomy Journ. 50, 215—218 (1958). — 54. SUNESON, C. A.: Male-sterile facilitated synthetic hybrid barley. Agronomy Journ. 43, 234—236 (1951). — 55. VRIES, A. de: Over sterile mais-planten. Bot. Jaarb. Dodonaea 1, 141—154 (1889). — 56. WILLIAMS, J. H., and I. J. JOHNSON: Inheritance of differential response of corn root tissues to 2,4-D. Agronomy Journ. 45, 298—301 (1953). — 57. MANGELSDORF, A. J. and D. F. JONES: Hybrid corn, Sci Am. 185, 39—47 (1951).

Aus dem Institut für Züchtungsforschung der Bayerischen Landesanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau, Würzburg

## Spontane Blütenmutationen bei der Rebe\*

Von HANS BREIDER

Mit 6 Abbildungen

### I.

Durch Verfasser (BREIDER 1949) wurden drei bisher bekannt gewordene Typen der Verlaubung bei Rebenblüten beschrieben, die vorwiegend bei bestimmten *Vinifera*-Sorten im deutschen Raum vorkommen. Entsprechend ihrer Verlaubung sind sie als

Silvaner-Typ

Kleinberger-Typ und

St. Laurent-Triumph-Typ, Nr. 19975

unterschieden.

Nach KOZMA (1960) kommt der St. Laurent-Triumph-Typ der Vireszenz bei den alten ungarischen *Vinifera*-Sorten Kadarka und Erzeyo vor, allerdings nicht in der Variationsbreite wie bei der F<sub>1</sub>-Sorte St. Laurent-Triumphrebe Nr. 19975. Andere Blütenvergrünungsformen sind bis heute nicht bekannt geworden.

Die drei Typen zeichnen sich durch verschiedene Verlaubungsgrade aus. Beim Silvanertyp sind nur die Staubfäden vollkommen vergrünt und zu sekundären Blumenblättern geworden. Solche Umwandlungen von Staubgefäßen in Blumenblätter treten bei gefüllten oder mehrzähligen Blüten anderer Familien

regelmäßig auf und zeigen z. B. bei *Nymphaea dentata hybrida* alle Übergänge vom Staubblatt über Staminodien bis zum Blumenblatt. Auch bei *Cyclamen*, z. B. bei der als Röntgenmutation entstandenen 10zähligen Form „*Rotundiflora*“ (BREIDER, WOLF unveröff.), sind solche modifizierten Antheren als sekundäre, in diesem Fall der Blüte entsprechend ausgefärbte Petalen anzutreffen. Mit der Umwandlung zum Blumenblatt korreliert beim Silvaner-Typus ein Funktionswechsel, der darin besteht, daß die primären Kronblätter als Hüllblätter ausgeschaltet werden und der Schutz des Fruchtknotens den umgewandelten Staubfäden als sekundäre Blumenblätter obliegt. Samenanlagen sind vorhanden, der Fruchtknoten funktioniert normal. Der Blühmechanismus ist jedoch gestört: Die Blüten öffnen sich apikal und verspätet (Abb. 1 und 2).

Die Blüten des Kleinbergers sind vollkommen vergärt. Geschlechtsorgane werden nicht mehr differenziert. Die Blütenachse setzt ihr Wachstum fort und kann sich am Blütenboden auch weiter verzweigen. So kommt es zur Bildung verlaubter „Blütenstände“, deren einzelne Elemente dann, in Etagen übereinanderstehend, als Blüten 2., 3. bis n-ter-Ordnung bezeichnet werden (Abb. 3 und 4).

\* Zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Dr. h. c. H. STÜBBE.