

Zur Züchtung von Erdbeersorten mit Tiefgefriereignung*

I. Züchtungspotential und Ökovalenz zweier „Gefrier“-Merkmale

W. HONDELMANN

KG SENGANA GmbH. & Co., Hamburg-Volksdorf

The Breeding of Strawberries Suited for Freezing

I. Breeding Potential and Ecovalence of two "Freezing" Characteristics

Summary. Heritability in the broad sense, the expected genetic advance with selection and the repeatabilities for two freezing characteristics were estimated in strawberry clones (*Fragaria ananassa* Duch.) over several years. The freezing characteristics were extravasation of juice and texture of berries after thawing. It could be shown that after 12–15 years of breeding and selection there was still much genetic variance. An estimation of ecovalence for these characteristics showed that ecovalence depends on genetic diversity.

Einleitung

Am Beginn der Erdbeerarbeiten R. v. SENGBUSCHS im Jahre 1941 stand die Aufgabe, für das damals neue industrielle Verfahren des Tiefgefrierens geeignete Sorten zu züchten.

Als erste spezielle Industriesorte wurde 1951 'Senga 29' in den Verkehr gebracht; ihr folgte 1954 'Senga Sengana', die seit einigen Jahren als einzige Erdbeersorte in den meisten Ländern Europas der industriellen Verarbeitung dient. Da inzwischen die Qualitätsansprüche erheblich gestiegen sind, bleibt die Tiefgefriereignung nach wie vor ein Problem der Erdbeerzüchtung für die Industrie.

Zwei Eigenschaften bestimmen vor allem diese Eignung: die Saftabgabe der Beeren nach dem Auftauen und ihre Formbeständigkeit (Konsistenz). Demgegenüber treten Eigenschaften wie Saftfarbe, Beerenfarbe und -form, Inhaltsstoffe und auch der Geschmack etwas in ihrer Bedeutung zurück; wiederum andere, wie Fleischfestigkeit, gleichmäßige Beerenform und -größe, können ebensogut als Zuchtziele für den Frischmarkt gelten.

Vom Industrie-Erdbeeranbau her gesehen, ist schließlich die Kelchlöslichkeit der Beeren außerordentlich wichtig.

Bisher veröffentlichte Untersuchungen zu diesem Problemkreis hatten durchweg das Prüfen der Sorteneignung an sich und der Kreuzungseignung bestimmter Elternklone oder verwandte Fragen zum Ziel (vgl. BAUER 1960 für die Literaturübersicht und SCOTT 1962 speziell für die amerikanische). Seitdem sind uns keine Arbeiten mit grundlegend anderer Zielsetzung bekanntgeworden.

Saftverlust und Formbeständigkeit stellen sich als quantitative Merkmale dar. Die vorliegende Arbeit schätzt an diesen einige quantitativ-genetische Parameter.

Material und Methoden

Zur Auswertung gelangten 3 Serien von Erdbeerklonen:

Serie I: 82 Klone, untersucht 1962, 1964 und 1965,

* Herrn Prof. Dr. R. von SENGBUSCH, dem Begründer der SENGANA-Erdbeerzüchtung, zum 70. Geburtstag gewidmet.

Serie II: 56 Klone, untersucht 1964 und 1965,
Serie III: 35 Klone, untersucht 1965 und 1966.

Jede Serie enthält verschiedene Klone, die aus Kreuzungen unterschiedlichster Elternsorten in der F_1 selektiert worden waren und somit ein genetisch sehr divergentes Material repräsentieren.

Aus den ersten Ergebnissen von SENGBUSCHS war zu schließen, daß eine beträchtliche genetische Varianz nutzbar war. Nach weiteren 12–15 Jahren fortwährender Züchtung und Selektion war zu überprüfen, ob für die zukünftige Arbeit genügend große Erfolgchancen bestehen. Dazu wurden aus differenzierten Varianzkomponenten in den oben angeführten mehrjährigen Serien mit wiederholten Klonen die Erblichkeit „H“ im weiteren Sinne und der zu erwartende Selektionsgewinn „S“ geschätzt. Die angewandte Methodik folgt der bei HONDELMANN (1965) im einzelnen beschriebenen.

Gleichzeitig sollte die Zunahme der Schätzgenauigkeit über die Jahre geprüft werden, um für weitere Experimente Auskunft über die erforderliche Anzahl der Prüffahre zu erhalten.

Die Schätzung der Wiederholbarkeit (repeatability) R_J , d. i. über Jahre, ausgedrückt durch

$$\frac{s_V^2}{s_V^2 + s_J^2 + s_{VJ}^2 + s_t^2}$$

ermöglicht die Anwendung der bei FALCONER (1961) angegebenen Formel

$$1 - \frac{1 + [R_J(J-1)]}{J}$$

zur Bestimmung der Zunahme der Schätzgenauigkeit. (In den Formeln stehen V für Klone, J für Jahre und r_t für Wiederholung über Jahre.) Darüber hinaus sollte ermittelt werden, welche Klone am wenigsten vom jeweiligen Jahresdurchschnitt abweichen. Der Anteil der einzelnen Klone an der Interaktion Klone/Jahre nach der von WRICKE (1962, 1965) entwickelten Methode diente dafür als Maß. Danach ist die Ökovalenz eines Klones um so größer, je niedriger sich sein Anteil an der Interaktion bemißt.

Die Untersuchung der Beeren hielt sich im wesentlichen an die von KÖHLER (1954) angegebene Methode: Die bei -20°C tiefgefrorenen Beeren (einheitliche Probengröße 50 g pro Untersuchung bzw.

Wiederholung) wurden bei Zimmertemperatur ($19^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$) 3 Stunden aufgetaut. Anschließend wurde der Saftverlust volumetrisch bestimmt (Meßgenauigkeit 0,5 ml) und die Formbeständigkeit bonitiert (Bonitieringsskala von 1–5: Note 1 = keine Formveränderung, Note 5 = Beeren völlig zusammengefallen im Vergleich zu Standardklonen). Die so erhaltenen Meßwerte sind, wie bereits KÖHLER (loc. cit.) fand, reproduzierbar, wenn beachtet wird, daß Herkunft der Früchte, Alter der Pflanzen und Vorbehandlung des einzufrierenden Materials gleich sind. Auch die Bonitierungen erwiesen sich unter den gleichen Bedingungen als jederzeit reproduzierbar. Jede Messung bzw. Bonitur wurde im Laufe eines Untersuchungszeitraums, dem der Ernteperiode zugehörigen Winterhalbjahr, dreimal wiederholt.

Saftverlust und Formbeständigkeit sind im allgemeinen signifikant miteinander korreliert. In diesen Serien werden sie aus Gründen, die auf der vom Züchter zu berücksichtigenden technologischen Seite liegen, als selbständige Merkmale betrachtet.

durch die im 2. Jahr wiederholte Messung stärker ins Gewicht. Für die Züchtung ist daraus abzuleiten, daß zweijährige Untersuchungen für die geprüften Merkmale ausreichend sein dürften.

Erwähnt werden muß hier, daß die Interaktion Klone/Jahre jedesmal signifikant war. Jedoch sind die Werte der Varianzkomponente s^2_{J} mit Ausnahme derjenigen für Formbeständigkeit in Serie III nicht übermäßig groß. Dieser letzte Wert ist freilich im Zusammenhang mit den zugehörigen Zahlen für R_j und H zu sehen.

Die in drei Jahren untersuchte Serie I diente gleichzeitig der Berechnung der Ökovalenz. Die Anteile der einzelnen Klone an der Interaktionsvarianz variierten von 0,12 bis 257,61 ($\bar{x} = 38,70$) für Saftverlust und von 0,02 bis 9,19 ($\bar{x} = 1,89$) für Formbeständigkeit. Eine Korrelation zwischen beiden Merkmalen und ihren Ökovalenz-Werten besteht nicht, vielmehr treten alle Kombinationsmöglichkeiten auf. Dieser Umstand begünstigt die weitere Züchtung.

Tabelle 1. Ergebnis der 3 Versuchsserien

Serie	Merkmal	Varianzkomponenten			Freiheitsgrade			Versuchsfehler %	H %	S (% vom Klonmittel)
		s^2_V	s^2_{VJ}	s^2_E	Klone	Interaktion	Fehler			
I	Saftverlust	13,18	5,28	3,74	81	162	490	33,0	85,8	61,1
	Formbeständigk.	0,52	0,23	0,27				8,5	98,0	46,4
II	Saftverlust	14,60	4,19	3,24	55	55	222	31,0	88,2	70,8
	Formbeständigk.	0,53	0,26	0,21				6,3	81,3	32,6
III	Saftverlust	5,45	1,71	4,03	34	34	138	33,0	81,4	35,6
	Formbeständigk.	0,29	0,32	0,21				6,0	67,4	34,7

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Schätzwerte für H und S sowie die Varianzkomponenten sind gekürzt in Tabelle 1 wiedergegeben. Es fällt auf, daß die Erbllichkeit in allen drei Serien sowohl für den Saftverlust als auch für die Formbeständigkeit ziemlich einheitlich hoch ist. Demzufolge ist auch mit beträchtlichen Steigerungen im Selektionsverlauf (letzte Spalte, Tab. 1) zu rechnen.

Allerdings ist zu berücksichtigen, daß der Versuchsfehler für den Saftverlust in allen Fällen relativ groß ist. Das wird aber verständlich, wenn man bedenkt, daß in diesen Versuchen nur eine Interaktionskomponente, nämlich die für Sorten/Jahre, in der Varianzanalyse abgetrennt worden ist. Die im Vergleich weit geringeren Fehlergrößen für die Formbeständigkeit haben ihre Ursache in der entsprechend geringeren Variationsbreite dieses Merkmals.

Dementsprechend fallen auch die Schätzwerte für die Wiederholbarkeit (Tab. 2) hoch aus. Daraus wiederum folgen verhältnismäßig kleine Zunahmen der Schätzgenauigkeit nach wiederholten Messungen, d. h. im zweiten und erst recht im dritten Jahr. Lediglich bei einem vergleichsweise kleinen Wiederholbarkeitskoeffizienten von 0,44 für die Formbeständigkeit in der Serie III fällt die Zunahme

Die Frage, welche Klone die größte bzw. geringste Ökovalenz aufweisen, führte zu verschiedenen Analysen, von denen die folgende am nützlichsten schien. Auf Grund ihrer Abstammung lassen sich die Klone in zwei Gruppen aufteilen: die erste mit 36 Klonen

Tabelle 2. Wiederholbarkeit und Schätzgenauigkeit nach wiederholter Messung

Serie	Merkmal	Wiederholbarkeitskoeffizient (R_j)	Zunahme der Schätzgenauigkeit (%)	
			2. Jahr	3. Jahr
I	Saftverlust	0,69	15,2	5,6
	Formbeständigk.	0,65	17,5	5,9
II	Saftverlust	0,76	12,0	4,1
	Formbeständigk.	0,65	17,5	5,9
III	Saftverlust	0,63	19,1	3,0
	Formbeständigk.	0,44	28,1	8,5

Tabelle 3. Mittelwerte der Ökovalenzen

Merkmal	Gruppe 1	Gruppe 2	Differenz
Saftverlust	26,59	48,14	21,55*
Formbeständigk.	1,69	2,02	0,33°

* = signifikant für $P_{0.05}$; ° = nicht signifikant

enthält solche, die aus Kreuzungen vornehmlich eigener mit herkunftsmäßig weit gestreuten nordamerikanischen Sorten hervorgegangen sind und damit ein genetisch stärker divergierendes Material

repräsentiert als die folgende, 44 Klone umfassende Gruppe aus entsprechenden Kreuzungen mit europäischen Sorten. Dazu kommen als Vergleichssorten 'Senga 29' und 'Senga Sengana'.

Werden die Differenzen der Mittelwerte beider Gruppen geprüft, so erhält man das in Tab. 3 wiedergegebene Resultat. Die Werte der beiden Standardsorten sind (in der obigen Reihenfolge) für Saftverlust 57,04 bzw. 110,63 und 1,63 bzw. 1,29 für Formbeständigkeit.

Es zeigt sich also die Tendenz, daß die Gruppe 1 die größere Ökovalenz besitzt; eindeutig gilt das für den Saftverlust. Der Vergleich der oben angegebenen Ökovalenz-Werte mit denen der Vergleichssorten läßt ganz allgemein den beachtlichen Selektionsfortschritt erkennen.

Diskussion

Die naheliegende Frage, ob das hier untersuchte Klonmaterial als repräsentative Stichprobe hinsichtlich der beiden untersuchten Merkmale angesehen werden kann, ist angesichts der großen genetischen Divergenz der verwendeten Kreuzungseltern und der daraus resultierenden Heterogenität der 173 F₁-Klone wohl weitgehend zu bejahen.

Die dadurch erhaltene starke Heterozygotie, die überdies durch die den Kulturerdbeeren eigene Oktoploidie verstärkt wird, erklärt wohl in erster Linie das auch nach einer längeren Zeitspanne vorhandene, durch die Schätzung der Erbllichkeit im weiteren Sinne und den voraussichtlichen Selektionsgewinn beschriebene große Züchtungspotential.

Das Ergebnis der Ökovalenzberechnung läßt sich dem zwanglos zuordnen. Die Klone aus Kreuzungen mit nordamerikanischen Eltern sind auf Grund größerer genetischer Divergenz, und das heißt auf Grund der mit der Heterozygotie verknüpften Divergenz, besser gegen Umwelteinflüsse gepuffert. Sie sollten demzufolge auch eine größere Ökovalenz besitzen. (Vgl. dazu die ausführliche Besprechung von ALLARD und BRADSHAW 1964 und auch WRICKE 1965.) Eine exakte Klärung dieser Probleme erfordert aber dafür eigene angelegte Versuche.

HANSCHKE und BROOKS (1965), die mit teilweise ähnlicher Fragestellung 118 Klone der diploiden Species *Prunus avium* untersuchten, kommen wegen der in diesen Klonen gleichfalls vorhandenen starken Heterozygotie zu der Auffassung, daß sich die gefundene große genetische Varianz für die nächsten

Generationen erhalten wird. Um so mehr darf das von einer oktoploiden Art wie *Fragaria ananassa* erwartet werden.

Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse wird in der Erdbeerzüchtung sicherlich noch auf lange Zeit mit erheblichen Selektionsfortschritten auch bei anderen Zuchtzielen gerechnet werden dürfen. Für den Ertrag und einzelne seiner Faktoren konnte das bereits bestätigt werden (HONDELMANN loc. cit., COMSTOCK et al. 1958).

Zusammenfassung

In drei mehrjährigen Serien mit Erdbeerklonen (*Fragaria ananassa* Duch.) wurden die Erbllichkeit im weiteren Sinne und der voraussichtliche Selektionsgewinn sowie die Wiederholbarkeit für zwei Tiefgefriermerkmale, die Saftabgabe nach dem Auftauen und die Formbeständigkeit der Beeren, geschätzt. Es zeigte sich, daß in allen Fällen noch nach 12–15 Jahren Züchtung und Selektion eine große genetische Varianz verfügbar war. Eine Berechnung der Ökovalenz der beiden Merkmale ergab, daß eine Tendenz zu größeren Ökovalenz-Werten in Abhängigkeit von der genetischen Divergenz besteht.

Literatur

1. ALLARD, R. W., and A. D. BRADSHAW: Implications of Genotype — Environmental Interactions in Applied Plant Breeding. *Crop Sci.* 4, 503–507 (1964).
2. BAUER, R.: Grundlagen und Methoden der Züchtung bei der Gartenerdbeere (*Fragaria ananassa* Duch.) *Z. Pflanzenzüchtung* 44, 73–100 (1960).
3. COMSTOCK, R. E., TH. KELLEHER, and E. B. MORROW: Genetic Variation in an asexual Species, the Garden Strawberry. *Genetics* 43, 634–646 (1958).
4. FALCONER, D. S.: Introduction to Quantitative Genetics. Edinburgh and London: Oliver and Boyd 1961.
5. HANSCHKE, P. E., and R. M. BROOKS: Temporal and Spatial Repeatabilities of a Series of Quantitative Characters in Sweet Cherry (*Prunus avium* L.). *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 86, 120–128 (1965).
6. HONDELMANN, W.: Untersuchungen zur Ertragszüchtung bei der Gartenerdbeere (*Fragaria ananassa* Duch.) *Z. Pflanzenzüchtung* 54, 46–60 (1965).
7. KÖHLER, D.: Zur Qualitätsauslese bei Erdbeeren. *Der Züchter* 24, 307–311 (1954).
8. SCOTT, D. H.: Breeding and Improvement of the Strawberry in the United States of America — A Review. *Hort. Res.* 2, 32–35 (1962).
9. WRICKE, G.: Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Z. Pflanzenzüchtung* 47, 92–96 (1962).
10. WRICKE, G.: Die Erfassung der Wechselwirkung zwischen Genotyp und Umwelt bei quantitativen Eigenschaften. *Z. Pflanzenzüchtung* 53, 266–343 (1965).