

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

Über einige bei Röntgenbestrahlung von Zuckerrübenknäueln aufgetretene Erscheinungen und Fragen *

Von GERHARD BANDLOW

Mit 12 Abbildungen

Mutationen an Kulturpflanzen sind in den meisten Fällen an Selbstbefruchtern ausgelöst worden. Gelegentlich wurden aber auch Fremdbefruchter dazu verwendet. Diese können auf zweierlei Art behandelt werden. Erstens werden sie zur Selbstung gezwungen, damit nach Art der Autogamen in der Spaltungs-generation die meist rezessiven Mutanten heraus-spalten. Auf diesem Wege haben SCHEIBE und BRUNS (1953), BRUNS (1954) beim Rotklee durch Röntgenbestrahlung Mutationen ausgelöst und dabei u. a. eine züchterisch wertvolle kurzröhrlige, weißblühende Form gefunden. Das ist um so bemerkenswerter, als der Rotklee sehr selbststeril ist und der Samenansatz nach manueller Selbstauslösung der Geschlechts-säule der Einzelblütchen nur 0,85 % und bei Be-fruchtung durch Hummelbesatz in Isolierkäfigen sogar nur 0,35 % betrug. Auch an Steinklee wurden — hier durch Chemikalien — Mutationen ausgelöst, von denen 12 bitterstoffarme Individuen züchterisch interessant sind. Die Selbststerilität von *Melilotus albus* ist schwächer als die des Rotklee, so daß der Selbstungsansatz größer ist und durchschnittlich 23% an behandelten Trieben gegenüber der Kontrolle be-trug (SCHEIBE und HÜLSMANN 1957, 1958).

Der zweite Weg kommt der Natur des Fremdbefruchters mehr entgegen. Man behandelt das z. B. röntgenbestrahlte Saatgut als Population, läßt es räumlich isoliert abblühen und reichert durch mehr-malige Bestrahlungen Mutanten an. Mit dieser Methode haben ANDERSSON und OLSSON (1954) die Sorte Primex beim weißen Senf entwickelt, die gegenüber der Ausgangssorte einen um 7% höheren Öl-ertrag/ha hervorbringt und eine ausgeprägte Poly-morphie besitzt. Durch weitere Auslese ist die Sorte abermals verbessert worden.

Material und Methode

Wir selbst haben die experimentelle Mutationsauslösung an Zuckerrüben geprüft. Dafür sind lufttrockene Knäuel der Zuchtrichtung N ab 1952 mit Röntgenstrahlen behandelt worden. Die Bestrahlung erfolgte 1952 an Tiefentherapie-Apparaten des Ärztlichen Zentralinstituts für Strahlenbehandlung und des Strahleninstitutes, beide in Magdeburg. 1954 und 1955 stellte das Institut für Pflanzenzüchtung Halle in Hohenthurm seinen Röntgen-apparat zur Verfügung. 1956, 1958, 1961 und 1962 be-strahlte die physikalisch-physiologische Abteilung des Institutes für Kulturpflanzenforschung in Gatersleben das Saatgut.

Toleranzdosis

Zur Ermittlung der Toleranzdosis wurden 2x-Knäuel mit 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 und 40 kr bestrahlt (Tab. 1).

* Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. H. STUBBE zum 60. Geburts-tag in Verehrung gewidmet.

Tabelle 1. Keimfähigkeit bestrahlter 2x-Zuckerrübenknäuel. Angaben in %.

Jahr	Kontr.	5	10	15	20	25	30	35	40 kr
1952	79	88	90	87	81	53	49	45	32

5—20 kr in Keimschalen und Wechseltemperatur (6 Std. 30°, 18 Std. 20°), n=100;

25—40 kr in Erde, n = 173, 170, 218, 224.

Die Keimhöhe der bestrahlten Knäuel 5—20 kr liegt nicht niedriger als die der unbestrahlten Kon-trolle. (Das ist in einem Wiederholungsversuch 1962 bestätigt worden.) Die Bestrahlung scheint im Ge-genteil bei 5—15 kr auf die Keimfähigkeit stimu-lierend gewirkt zu haben. Ab 25 kr sinkt die Keim-fähigkeit progressiv. Auch die Keimpflanzen selbst zeigen starke Vitalitätsunterschiede, indem einige früh eingehen oder nur gelbliche Keimblätter ent-wickeln ohne weiterzuwachsen. So befanden sich von der 25 kr-Serie 14 Tage nach Aussaat 46 Pflänzchen im Keimblattstadium (13 gelblich, 33 grün) und 47 hatten bereits je 2 Folgeblätter getrieben. Von der 30 kr-Serie hatten 66 zu demselben Zeitpunkt Keim-blätter (31 gelblich, 35 grün) und nur 18 je 2 grüne Folgeblätter. Allgemein verlangsamt sich mit stei-gender Dosis der Aufgang, und die Keimpflanzen bleiben zunehmend kleiner. Bis zum Zeitpunkt des Pikierns ist bei den 25—40 kr-Serien die Anzahl der Keimpflanzen weiterhin auf etwa die Hälfte der ur-sprünglichen Werte gesunken (33%, 17%, 22%, 16%). Im Gegensatz dazu sind bei den 5—20 kr-Serien bis zu diesem Termin keine der aufgelaufenen Keimpflanzen nachträglich eingegangen. Eine Differen-zierung ihrer Vitalität konnte erst mit dem verschie-den schnellen Erscheinen des ersten Primärblatt-paares in einer zweiten Versuchsserie am 3. 4. 1962 beobachtet werden:

Tabelle 2. Abgestufte Entwicklungsgeschwindigkeit des Primärblattpaars nach 5—20 kr Knäuelbestrahlung.

kr	Kontrolle	5	10	15	20	n
%		56,9	57,4	48,3	34,8	210

Ab 10 kr verzögert sich demnach der Blattaustrieb progressiv.

Von allen Keimpflanzen lebten ein Vierteljahr später (2. 7. 62) im 5- bis 6-Blattstadium noch 96% der Kontrolle, 99% der 5 und 10 kr-Serie sowie 96% der 15 kr-Serie. Lediglich die 20 kr-Serie war auf 87% des Bestandes abgesunken, am 23. 8. auf 65% Gesunde. Mehrjährige Beobachtungen an Röntgen-rüben, die mit 20 kr bestrahlt worden waren, lassen darauf schließen, daß hier die Toleranzdosis für etwa 50% fruchtende diploide Samenträger liegt.

Auch 4x-Zuckerrüben sind geprüft und mit 10, 20, 30 und 40 kr bestrahlt worden (Tab. 3).

Tabelle 3. Keimfähigkeit von röntgenbestrahlten 4x-Zuckerrüben (1961).

Dosis kr	Knäuel	Pflanzenaufgang nach 7 Tagen	Pflanzenaufgang nach 14 Tagen	relativ
Kontrolle	500	282	754	100
10	500	75	584	78
20	500	92	547	73
30	500	3	386	51
40	500	0	383	51

Die Keimfähigkeit des Kontrollsatzgutes betrug 70% gekeimte Knäuel, die Keimigkeit des einzelnen großen Knäuels war 2,2.

In der Keimfähigkeit nach 14 Tagen verhalten sich die Serien paarweise etwa gleich. Diejenigen mit 10 und 20 kr sind gegenüber der Kontrolle um etwa ein Viertel, die mit 30 und 40 kr um die Hälfte in den Keimprozenten gesunken. Die Geschwindigkeit der Keimung nimmt mit zunehmender Dosis dagegen sehr viel stärker ab: nach 7 Tagen bei 10 und 20 kr um etwa zwei Drittel im Vergleich zur Kontrolle, und ab 30 kr waren praktisch noch keine Keime durchgebrochen. Nach achtmonatigem Wachstum hat sich die unterschiedliche Vitalität weiter differenziert. Von je 200 Pflanzen der vier Serien und 100 der Kontrolle lebten noch:

kr:	10	20	30	40	Kontrolle
n %:	98	94	82	34	99

Die 10 und 20 kr-Serien verhalten sich entsprechend den Keimergebnissen fast gleichsinnig. Doch bei den 30 und 40 kr-Serien, die noch gleiche Keimprozente (51) hatten, wirkte sich die stärkere Dosis vornehmlich bei den Jungpflanzen aus und vernichtete zwei Drittel der 40 kr-Pflanzen. Es handelte sich um vegetative Pflanzen im Topf, die langsam gewachsen sind. Ein Muster jeder Dosisserie hat sich bis zur Reife weiterentwickelt. Die 10, 20 und 30 kr-Pflanzen (je 20 Exemplare) haben zu 74, 71 und 70% geblüht und gefruchtet. Daraus berechnet sich eine Toleranzdosis von etwa 20 kr für ruhende tetraploide Zuckerrübenknäuel, wenn man 50% fruchtbare Samenträger zugrunde legt. Das ist die gleiche Dosis wie bei den diploiden Rüben und überrascht zunächst. Bei dieser zweijährigen Pflanze wird die Vitalität offenbar durch die physiologische Strahlenwirkung, die auf beiden Valenzstufen gleich ist, schon relativ frühzeitig begrenzt.

Der Wurzelkörper der X₁-Rüben

Die Röntgenbestrahlung diploider Knäuel hat sich sichtbar auf die Ausbildung des Wurzelkörpers ausgewirkt. Etwa ab 20 kr treten zunehmend folgende Veränderungen auf: am häufigsten wachsen die Rüben nicht mehr normal tief in der Erde, sondern etwa ein bis zwei Drittel über der Erde. Diese hochgewachsenen Rüben haben meist eine Vielzahl kropfartiger Wucherungen und dadurch sehr charakteristische Formen. Der „Kropf“¹ umfaßt im allgemeinen Kopf und Hals, aber auch die Wurzel; er kann ein- oder allseitig, groß oder klein sein (Abb. 1). Nach der Mitte der Wurzel hin wer-

den die Wucherungen kleiner und seltener. Die Variabilität reicht von Erbsengröße bis zum übergroßen Durchmesser des Rübenkopfes. Ebenso häufig wie dieser Typ ist ein anderer, der am Hals eine Einschnürung (Abb. 2 u. 3) und damit eine gewisse Ähnlichkeit mit Rüben hat, die wurzelkrank gewesen sind.

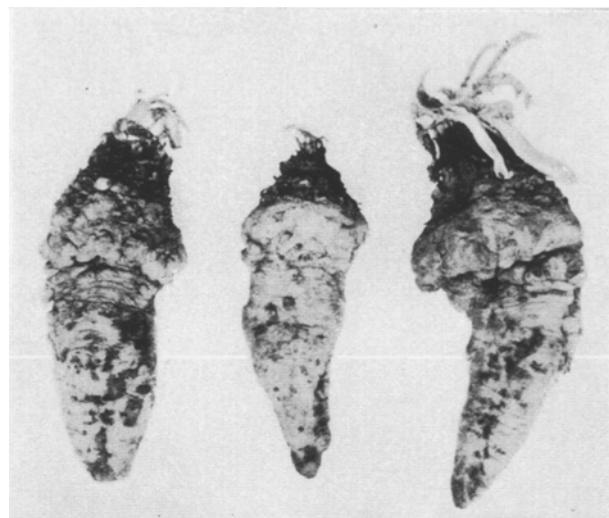


Abb. 1. Hochgewachsene X₁-Zuckerrüben mit starken, kropfartigen Wucherungen. Die weiße Linie im Bild zeigt das Erdniveau.

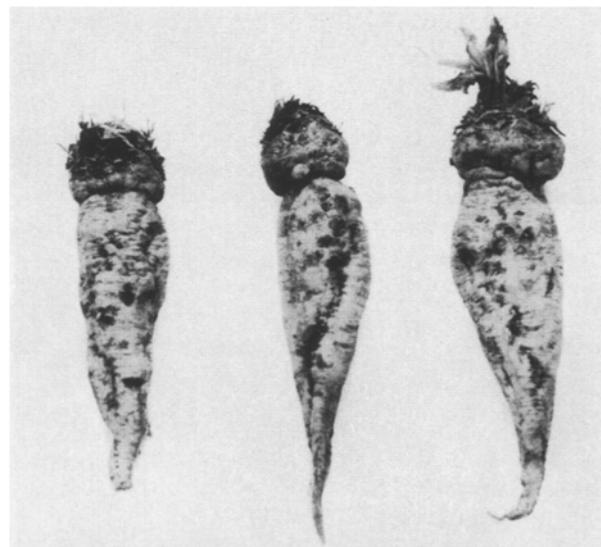


Abb. 2. Hochgewachsene X₁-Zuckerrüben mit Einschnürungen unter dem aufgequollenen Hals.

Relativ selten ist die Rinde geriffelt oder warzig (Abb. 4). Zwischen all den aufgeführten Typen gibt es Übergänge. Gelegentlich wächst die Rübe auch schief (Abb. 3–5). Die Ausbildung eines Rübenkörpers kann bei hochwachsenden Formen teilweise überhaupt fehlen wie in einem Jahr bei einer 23 kr-Dosis (Abb. 6). Diese Rübenhälse brechen dann leicht ab. Unsere Bestrahlungsserien lagen in den Jahren von 1953–1958 zwischen 20 und 23 kr. So zeigten die aus 23 kr hervorgegangenen X₁-Rüben im Jahre 1953 folgendes Wachstum (Tab. 4).

Die kropfigen Rüben waren alle hoch gewachsen und stellten 87% der 23 kr-Serie dar, bei 20 kr 63%. Der erste Bestand war lückig, der zweite ziemlich geschlossen (Abb. 7 u. 8). Im Jahre 1954 wurden Zuckerrübenknäuel zum zweitenmal, jetzt mit 21 und 22 kr, bestrahlt (1. Bestrahlung 1952). Sie wuch-

¹ Allgemeiner Ausdruck für die Wucherungen, die den durch *Agrobacterium tumefaciens* hervorgerufenen Kröpfen nur äußerlich etwas ähnlich sind (BRAUN und RIEHM 1953, HEINZE 1953).



Abb. 3. Hoch- und etwas schiefgewachsene X_1 -Zuckerrübe mit Ringwulst an Kopf und Hals.



Abb. 4. Hochgewachsene X_1 -Zuckerrübe mit warziger Rinde an der ganzen Wurzel.



Abb. 5. Oberirdisch- und schiefgewachsene X_1 -Zuckerrübe.



Abb. 6. Hochgewachsene X_1 -Zuckerrübe ohne Wurzelkörper. Nur im Jahr 1953 in einer 23 kr-Serie mehrfach aufgetreten.

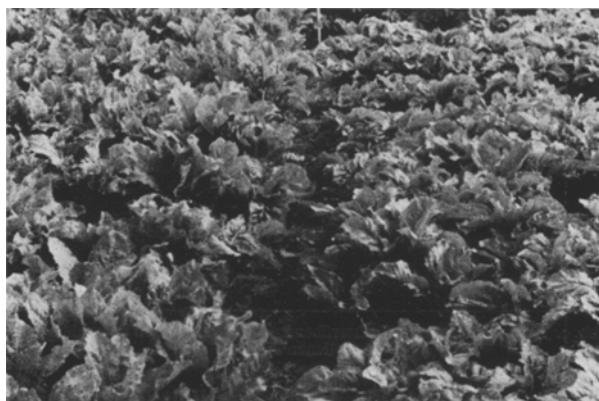


Abb. 7. l. Kontrolle, r. 20 kr- X_1 -Zuckerrüben. Bestrahlter Feldbestand fast so geschlossen wie unbestrahlte Kontrolle.



Abb. 8. l. Kontrolle, r. lückiger 23-kr- X_1 -Bestand von Zuckerrüben.

sen zu Stecklingen heran, deren Wuchstyp, Bestandesdichte und Kropfigkeit annähernd gleich waren. Der Grad der Kropfigkeit blieb allgemein schwach ausgeprägt und verteilte sich auf 210 Stecklinge Typ 1 (am schwächsten), 31 Typ 2 und 14 Typ 3

Tabelle 4. Wachstum von X_1 -Zuckerrüben nach Knäuelbestrahlung mit 23 kr.
Angaben in %.

	n	tief	hoch	hochgewachsen			
				kropfig		glatt	
				gerade	schief	gerade	schief
Kontrolle	3457	98,7	1,3	→ 0	0	1,3	0
X_1 -Rüben	1272	6,6	93,4	→ 61,2	25,8	5,3	1,1

(am stärksten). Im Jahre 1955 hatten sich infolge der kalten, nassen Witterung neue X_1 -Stecklinge schlecht entwickelt (21 und 23 kr). Der Bestand — vor allem der 23 kr-Serie — war recht lückig. Kröpfe wurden bei beiden Dosen überraschenderweise kaum ausgebildet. Dafür dominierten sie im folgenden Jahr 1956 bei der 23 kr-Serie wieder sehr stark. Das Ausgangssaatgut war zum drittenmal bestrahlten worden. Das hatte starke Verkrüppelungen zur Folge und dadurch sehr hohen Wuchs über der Erde, so daß die Stecklinge mit der Hand herausgezogen werden konnten. Der Bestand war sehr lückig. Auch X_1 -Rüben einer 22 kr-Serie des Jahres 1958, die ebenfalls nach einer dritten Bestrahlung aufwuchsen, waren sehr kropfig.

Mit der wiederholten Bestrahlung hängt die Bildung der Wucherungen freilich nicht zusammen, denn auch erstmalig mit 22 kr bestrahltes, monokarpes Saatgut des Jahres 1961 ergab 343 kropfige und nur 9 glatte Rüben. Die verbildeten Rüben wuchsen wieder oberirdisch. Offenbar treiben die Auswüchse den Rübenkörper über die Erde.

Die Nachkommenschaften kropfiger Rüben haben wieder eine normale glatte Rinde und wachsen normal tief in der Erde, wie Nachprüfungen an 2 Serien verschiedener Jahre ergeben haben. Auch hochwüchsige glattrindige Rüben verhalten sich ebenso. Die Veränderungen sind also physiologische Strahlenwirkungen und nicht erblich.

Bestrahlte tetraploide Rüben verhalten sich in Wuchsform und Kropfigkeit etwa ebenso wie die diploiden (Tab. 5).

Tabelle 5. Kropfbildung bei fast 9 Monate alten 4x-Zucker-rüben im Topf nach Knäuelbestrahlung mit 10—40 kr (1961).

kr-Dosis	Kontrolle	10	20	30	40
% kropfige	0	0	19	82	100
n	100	200	200	200	200

Der steile Anstieg der Kropfbildung bei 30 kr mit 82% deutet auf starke Strahlenwirkung hin. Daraufhin wurden 1961 *Cercospora*-resistente 4x-Knäuel mit 30 kr bestrahlt und im *Cercospora*-Infektionsfeld horstweise zu etwa 3 Knäueln ausgelegt. Der Aufgang war schlecht. Beim Verziehen blieben die kräftigsten Pflanzen stehen. Dabei wurde eine Anzahl strahlengetroffener Individuen sicher sofort ausgemerzt, und der Anteil schwächer oder gar nicht getroffener Pflanzen ist gestiegen. Das hat sich im Prozentsatz der Kröpfe geäußert, der bei diesen 149 Rüben 73% gegenüber 82% sämtlicher pikierten Pflanzen (Tab. 5) betrug.

Der Blattapparat der X₁-Rüben

Die Röntgenbestrahlung wirkt sich auf die Ausbildung der Blätter empfindlich aus, indem ihre Form, Größe und Anzahl mit steigender Dosis redu-

ziert werden. In Tab. 6 ist das Verhältnis normaler und deformierter Spreiten bei den drei ersten Folgeblattpaaren diploider Rüben wiedergegeben.

Die Spreiten der X₁-Blätter haben vielfach Defekte. Das erste Blattpaar ist bei 5 kr zu 44% und ab 10 kr fast zu 100% geschädigt, das zweite Blattpaar erst ab 15 kr nennenswert mit 27% und mit 62% bei 20 kr verändert. Das dritte Blattpaar ist lediglich bei 20 kr zu 29% anomal ausgebildet. Mit steigender Blattfolge werden die Spreiten innerhalb jeder Dosis also mehr und mehr normal ausgebildet. Freilich ist der Grad der Normalisierung bei den einzelnen Dosen sehr verschieden. Bei 10 kr steigt er von 1% beim ersten Blattpaar sprunghaft auf 73,7% beim zweiten und erreicht beim dritten 83,8%. Ein starker Abfall ist bei 20 kr in der dritten Blattfolge gegenüber 15 kr zu verzeichnen, indem nur 27,2% der Blattpaare normal entwickelt sind. Qualitativ zeigen die Schädigungen alle Übergänge von leichten bis starken und vollständigen Ausfällen einer oder beider Spreitenhälften. Die quantitativen wie qualitativen Verbildungen können jeweils an beiden Blättern oder nur an einem auftreten. Sie sind durch physiologische Wirkungen der Röntgenbestrahlung bedingt.

Bei den bestrahlten tetraploiden Rüben wurden an älteren Rüben entsprechende Beobachtungen gemacht, die sich außer auf die Blattform auch auf Anzahl und Größe der Blätter erstreckten (Tab. 7, Abb. 9).

Die Blattveränderungen, die auch hier proportional der Dosis zunehmen, betrachten wir ebenfalls als röntgenphysiologische Modifikationen. Die Bestrahlung beeinträchtigt die plasmatische Funktion und behindert damit die volle Entwicklung der großen Blattoberfläche.

Der Fruchtansatz der Samenträger

Damit in der X₂-Generation Mutanten heraußpalten können, muß sich die X₁ selbstbefruchten. Bei dem Fremdbefruchter *Beta* kann diese Selbstbestäubung durch räumliche Isolierung oder Tütenisolierung erzwungen werden. Das gesündere Verfahren ist die

Tabelle 6. Anteile normaler und anormaler Blätter bei den drei ersten Folgeblattpaaren (F) diploider X₁-Rüben (1962). Angaben in %.

Dosis kr	beide Blätter normal			1 Blatt normal			beide Blätter anormal			n	1. F.	2. F.	3. F.
	1. F.	2. F.	3. F.	1. F.	2. F.	3. F.	1. F.	2. F.	3. F.				
5	35,1	85,6	94,9	20,7	13,4	4,6	44,2	1,0	0,5	209	209	194	
10	1,0	73,7	83,8	1,4	19,5	14,2	97,6	6,8	2,0	209	205	198	
15	0,0	38,7	60,8	1,5	34,1	27,9	98,5	27,2	11,3	210	199	194	
20	0,0	14,3	27,2	0,5	24,0	43,5	99,5	61,7	29,3	210	188	184	
Kontrolle	100	100	97,2	0	0	2,8	0	0	0	109	108	108	

Boniturdaten der Blattpaare 1. 19. 4. 1962; 2. 7. 5.; 3. 4. 6. Am 27. 8. war das jüngste Blattpaar normal zu 100, 94, 80, 70% bei 5, 10, 15, 20 kr.

Tabelle 7. Veränderungen des Blattapparates tetraploider X₁-Rüben.

n	Dosis kr	Anzahl	3 Monate alt			Blattform	n	8 Monate alt	
			Größe					Blattform %	normal
			7—10 cm	etwas niedriger	niedriger	normal		anormal	
100	Kontrolle	4—5 Blätter	7—10 cm			normal	98	100	0
200	10	normal	normal			6 Pflanzen je 1 Blatt schmal	163*	85	15
200	20	normal	etwas niedriger			6 Pflanzen alle Blätter schmal	180	75	25
200	30	schwach	niedriger			60 Pflanzen alle Blätter schmal-pfriemenförmig	163	39	61
200	40	schwach	niedrig			193 Pflanzen nicht voll entwickeltes Blatt	67	31	69

* durch Mäusefraß von 193 auf 163 Pflanzen vermindert.

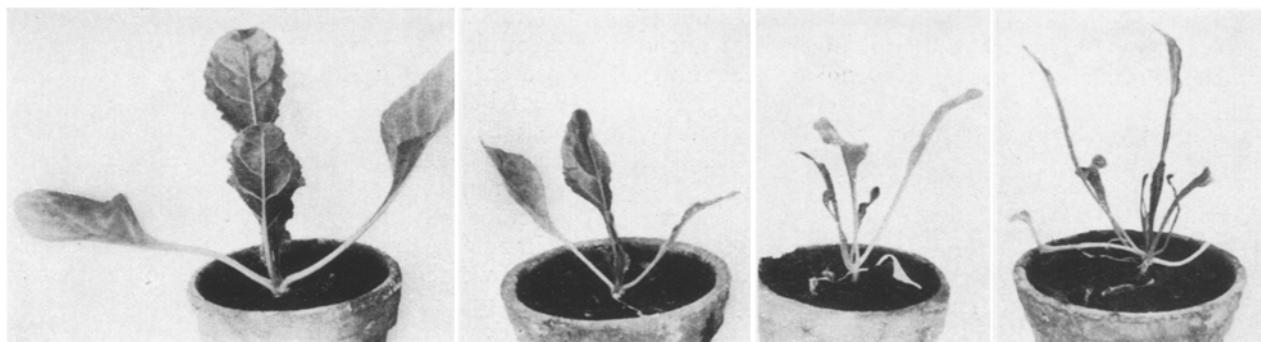


Abb. 9. Tetraploide X₁-Rüben mit verschiedenen stark reduzierten Blattspreiten. Von links nach rechts: Kontrolle, der 2. Blattkranz ist unterentwickelt, schmal-blättrig, pfriemenförmig.

räumliche Isolierung. Sie ist aber bei der erforderlichen großen Anzahl von Pflanzen praktisch nicht durchzuführen. Wir haben daher die Tütenisolierung auf ihre Brauchbarkeit geprüft. Im Rahmen der ersten Inzuchtversuche 1953 wurden 2964 Samenträger der Zuchtrichtungen N und E an je einem Trieb, der kurz vor dem Öffnen der Blüten stand, gebeutelt. Die großen Blätter wurden entfernt, die Spitze des Triebes gekappt und die Tüte — im ersten Jahr aus Pergament, später aus Pergaminersatzpapier — unten mit Wattebausch und Bindfaden zugebunden. Nur 1% der Triebe hatte Fruchtansatz mit sehr großer Streuung von 1—150 Knäueln. Der Ansatz war damit sehr gering (Tab. 8). Im gleichen

das auch nicht möglich (pers. Mitteilung von Herrn Prof. MOTHES). Genetisch entspricht die Geschwisterbestäubung der Selbstung, so daß eine Änderung der Fertilität nicht zu erwarten ist. Ich habe dieses Verfahren dennoch schon im Jahre 1953 mitgeprüft und 2 Klonschnitte je einer Rübe nebeneinander angepflanzt, von denen 2 Triebe mit Watte und Bindfaden zusammen gebeutelt worden sind. Von 484 Ausgangspflanzen hatten nur 2 gefruchtet. Der Ansatz war also genau so schlecht wie bei Selbstung. Ob die Selbststerilität, das Pergamentpapier, ein ungünstiges Mikroklima oder einzelne Faktorenkombinationen dafür verantwortlich waren, ließ sich nicht entscheiden. Zum Pergamentpapier kann je-

Tabelle 8. Fruchtansatz nach Tütenisolierung von Einzelpflanzen, von 2 Geschwisterpflanzen (A) und von 2 Klonschnitten zweier Fremdpflanzen (F) bei X_1 -Rüben; nur die 1. Angabe (2964 Pflanzen) bezieht sich auf unbestrahltes Material.

Jahr	Anzahl Pflanzen	Einzelpflanzen			2 Geschwisterpflanzen (A)			2 Klone zweier Pflanzen (F)			Knäuel rel. A:F
		Ansatz	Knäuel/je Trieb Min.-Max.:Mittelwert	Ansatz	Knäuel an 2 Trieben Min.-Max.:Mittelwert	Ansatz	Knäuel an 2 Trieben Min.-Max.:Mittelwert	Ansatz	Knäuel an 2 Trieben Min.-Max.:Mittelwert		
1953	2964	33 (1%)	1—150: $\emptyset \pm 35$								
1953	1000	o									
1953	484			2 (0,4%)							
1954	1200			57 (5%)	1—240: $\emptyset = 44$						
1955	670A, 541F			360 (54%)	1—210: $\emptyset = 9$	353 (67%)	1—255: $\emptyset = 23$				1:2,5
1957	219A, 220F			129 (59%)	5—130: $\emptyset = 10$	201 (91%)	5—300: $\emptyset = 54$				1:5,4

Ein Trieb einer ganzen oder geklonten Pflanze ist jeweils gebeutelt worden.
* \emptyset soll den Durchschnitt bezeichnen

Jahre wurden 1000 X₁-Samenträger, die in 30 Roggenparzellen standen, in gleicher Weise gebeutelt. Sie fruchteten überhaupt nicht; vielleicht aus dem Grunde, weil in den Parzellen in dem warmen Sommer eine heiße Luft stand. Die Beutelung einzelner Triebe erschien nach dem einjährigen Ergebnis für die Gewinnung einer ausreichenden Nachkommenschaft wertlos.

Es besteht nun in Züchterkreisen die Ansicht, daß bestimmte selbststerile Arten bei Geschwisterbestäubung von Klonschnitten besser fruchten als bei Selbstzung oder sogar vollen Ansatz haben. SCHEIBE (1951, S. 423) weist auf diese Erfahrung der Züchter ebenfalls hin. In der Literatur habe ich nur eine Arbeit gefunden, die sich mit dieser Frage auseinandersetzt. So hat SCHLECHT (1922) bei Rotklee den Samenansatz nach Selbstbefruchtung und Geschwisterpaarung von Klonschnitten untersucht. Er war im ersten Falle gleich Null und im zweiten bei 4 Pflanzen ähnlich schlecht (1,1%; 0%; 0,36% und 11%). Die 11% Samenansatz können mit den eingefangenen Hummeln durch Fremdbestäubung entstanden sein. Bei Rotklee läßt sich die Selbststerilität durch Klonbestäubung also nicht aufheben. Bei *Artemisia* ist

doch so viel gesagt werden, daß seine Benutzung bei Kastrationen und Bestäubungen von Hand Fruchtwässern bis 98% ergeben hat (BANDLOW 1953). Eine im Jahre 1954 durchgeführte Geschwisterbestäubung bei 1200 Exemplaren führte zu 5% Pflanzen mit Knäueln (Abb. 10). Nach diesem ersten kleinen Erfolg haben wir in zwei folgenden Jahren (1955, 1957) Geschwister- und Fremdbestäubungen am gleichen

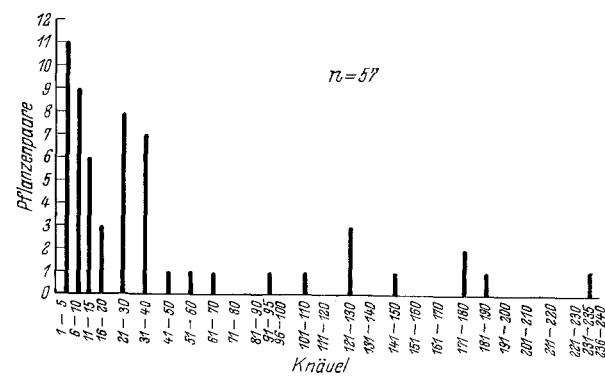


Abb. 10. Fruchtansatz bei 2 zusammen gebeutelten Trieben von *X₁*-Geschwisterpflanzen (1954). Auf der Abszisse sind die Durchschnittswerte der Knäuel bei 1—20, 91—95, 231—235 zu je 5, sonst zu 10 zusammengefaßt.

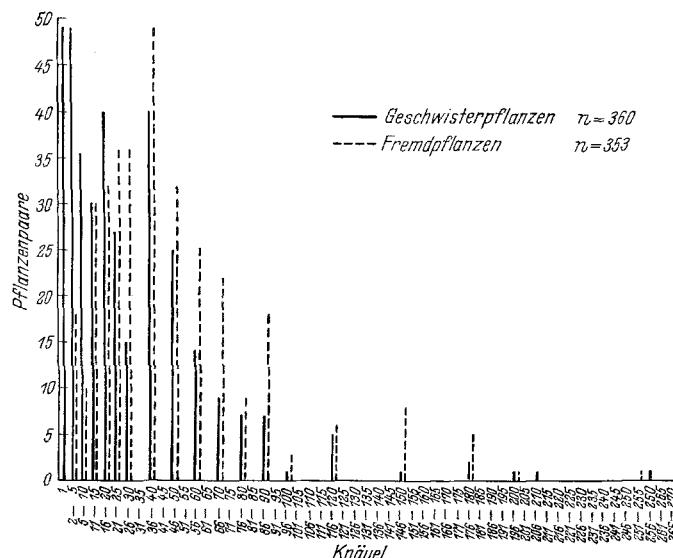


Abb. 11. Fruchtansatz bei je 2 zusammen gebeutelten Trieben von X_1 -Zuckerrüben (1955). Auf der Abszisse sind Durchschnittswerte der Knäuel von je 5 zusammengefaßt. Nur „1“ ist ein Einzelwert.

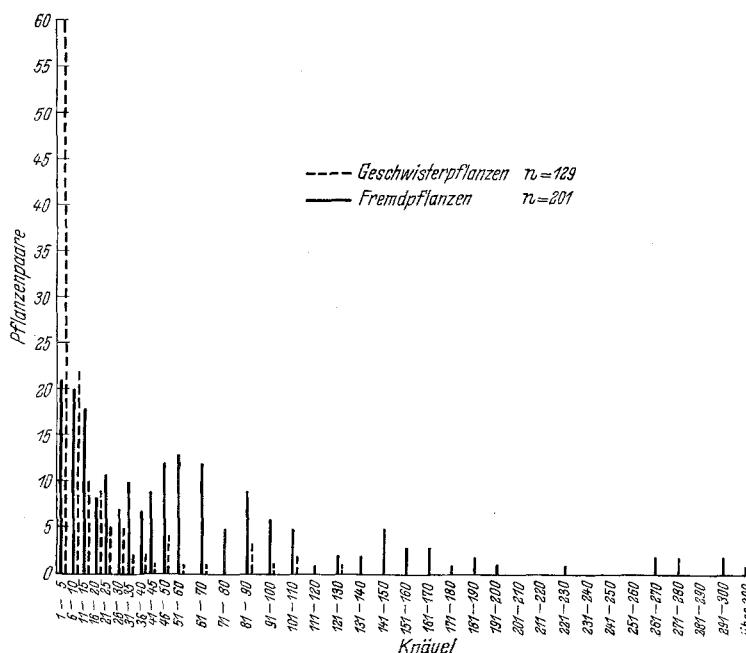


Abb. 12. Fruchtansatz bei je 2 zusammen gebeutelten Trieben von X_1 -Zuckerrüben (1956). Auf der Abszisse sind die Durchschnittswerte der Knäuel von 1—50 zu je 5, ab 51 zu je 10 zusammengefaßt.

Material durchgeführt. Dafür wurden jeweils 2 Geschwisterklone zweier Pflanzen nebeneinander gepflanzt und in jeder Kombination gebeutelt: (♂♂). Wegen mehrfach verschiedener Blühzeiten ließen sich nicht alle Kombinationen im Quadratverband verwirklichen. Dennoch konnten wir einen ersten Einblick in den Erfolg der verschiedenartigen Bestäubung gewinnen. Der Fruchtansatz war bei der schlechten Witterung 1955 erstmalig auswertbar und betrug 54% bei Geschwisterbefruchtung mit durchschnittlich je 9 Knäueln an 2 Trieben bzw. 67% bei Fremdung mit je 23 Knäueln (Abb. 11). Nach den vorjährigen beiden Mißerfolgen waren die 54% Pflanzen mit Knäuelbildung sehr bemerkenswert, auch die Knäuelanzahl 9. Diejenige der Fremdung (23) lag erwartungsgemäß höher, betrug aber nur das 2,5-fache. In dem gleichen Versuch 1957 waren ebenfalls beide Kreuzungsrichtungen auswertbar, wobei die

Fremdungen 5,4 mal soviel Knäuel wie die Geschwisterbefruchtungen ergeben hatten (Abb. 12). Im Durchschnitt beider Jahre waren Fremdungen 4 mal so erfolgreich. Die Selbststerilität der Zuckerrübe wird bei Geschwisterbestäubung demnach nicht aufgehoben. Wir vermuten aber, daß sie gegenüber Selbstung abgeschwächt wird, wenn auch gleichzeitig keine Einzelbeutelungen mit durchgeführt worden sind. In den beiden besten Versuchsjahren 1955 und 1957 betrug der Fruchtansatz bei 2 Klontrieben einer Mutterpflanze durchschnittlich nur 9,5 Knäuel. Er ist damit zwar sehr niedrig, wäre aber für eine spätere Mutantenauslese nach der Methode des Ein-Korn-Ramsches theoretisch noch brauchbar.

Wie steht es jedoch mit der Keimfähigkeit des aus der Geschwisterpaarung hervorgegangenen Saatgutes? Wir wollen dafür die Keimwerte der X_2 -Knäuel des Jahres 1955 als Beispiel heranziehen. Sie gingen auf 2 Bestrahlungsserien, 20 und 23 kr, zurück. Von der ersten Serie lagen 28 Nachkommenschaften vor, von denen 19 gekeimt hatten, dagegen 9 mit einer durchschnittlichen Knäuelzahl von 23,5 nicht. Von der zweiten Serie mit 27 Nachkommenschaften waren 17 aufgegangen, 10 mit durchschnittlich 12,9 Knäueln aber nicht. Insgesamt fielen also 30% der X_2 -Nachkommenschaft bereits aus. Die Keimfähigkeit der aufgegangenen Linien im einzelnen bzw. die Anzahl der reif gewordenen Rüben zeigt Tab. 9. Im ganzen haben die 1931 X_2 -Knäuel nur zu 19% reifer Rüben geführt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Tütenisolierung die erste Stufe einer Inzucht darstellt und sich an dem Saatgut auch Inzuchtdepressionen, wie verminderte Keimfähigkeit, auswirken. Die Strahlenschädigung und die Wirkung des nassen, kalten Sommers 1955 treten noch hinzu.

Die aus diesen Rüben hervorgegangenen X_2 -Samenträger (1956) waren nicht vollwertig: nur 19 hatten sich normal entwickelt, 57 blieben klein und schwach verzweigt, fruchteten aber nach später Blüte. Dazu wurden 15 Krautschosser und 27 Trotzer gezählt. Tütenisolierung war bei 69 Samenträgern möglich, jedoch nur 15 setzten Knäuel an, durchschnittlich 16 je Trieb.

Prüfung auf Mutanten

Die X_2 -Generation ist in mehreren Jahren auf abweichende Typen untersucht worden. Unter den Rüben, die aus geselbstetem Saatgut hervorgegangen sind, befanden sich solche mit verschiedenartigem Blatttyp. Sie traten weniger häufig als Einzeltypen denn zu mehreren in den betreffenden Nachkommenschaften auf. Da das Ausgangsmaterial keine reinen Linien darstellt, sondern heterozygot ist, können nach einmaliger Selbstung bereits Rezessive herauspalten. Es ist in solchem Falle daher nicht zu entscheiden, welchen Ursprungs die Varianten sind. Unter den X_2 -Samenträgern haben wir in zwei Röntgenserien pollenerile Exemplare gefunden: 1957 in einer Nachkommenschaft 2 mit weißen leeren und 2 mit gelben, geschlossen blühenden Antheren, 1958 4 gelbe, geschlossen blühende Exemplare. Solche

Tabelle 9. Anzahl Rüben von X_2 -Knäueln aus Geschwisterbefruchtung (Oktober 1955). Links 20 kr-, rechts 23 kr-Serie.

Knäuel	Pflanzen	Knäuel	Pflanzen
3	1	2	1
3	1	2	1
14	4	4	2
16	3	4	2
18	2	7	1
24	15	8	1
24	5	11	7
25	4	20	4
27	12	23	1
31	4	25	2
39	10	32	9
40	4	32	9
42	1	33	3
123	18	40	1
131	45	110	16
174	34	120	33
178	20	121	20
190	51		
235	14		
		594	113 = 19,0%
1337	248 = 18,5%		

Typen sind für die Heterosis- und Polyploidiezüchtung sehr wichtig (BANDLOW, 1958).

Gleichzeitig haben wir auch für die Zuckerrübe entscheidende Inhaltsstoffe auf eventuelle positive Varianten geprüft. Dafür bot sich nach Maßgabe der chemischen und genetischen Arbeitsweise der Refraktometerwert (RW) an; denn es handelt sich um Einzelpflanzen, die gegebenenfalls vermehrt werden mußten. Tab. 10 zeigt den Verlauf der Untersuchungen. Das erste Muster von X_2 -Rüben (1955), die aus dem Saatgut gebeutelter Klontrübe je einer X_1 -Rübe hervorgegangen waren, variierte sehr stark mit Refraktometer-Werten von 7—21,6%. Ihre geselbsteten Samenträger ergaben 1956 eine schwache Ernte und wurden nicht weiter untersucht. Statt dessen wurden im gleichen Jahre andere X_2 -Rüben auf Exemplare mit einem höheren RW ausgewählt und 1957 als Samenträger angepflanzt. Sie waren zum Teil geklont. Tütenisolierungen wurden in allen möglichen Kombinationen — Selbstungen, Ge-

schwisterpaarungen, Fremdungen — durchgeführt. Das Saatgut ergab 1958 Rüben mit niedrigen RW-Werten von 15,9—18,7, \varnothing 16,8 (Kontrolle \varnothing 20,0). Nicht einmal die Werte der Elternrüben (20,0—22,2) wurden — offenbar wegen Inzuchtdepression — erreicht.

Die wichtigste dritte Versuchsserie begann 1957 mit X_2 -Rüben, die aus Saatgut von frei und räumlich isoliert abgeblühten X_1 -Samenträgern stammten. Die RW-Werte dieser Rüben lagen zwischen 14 und 24, \varnothing 20,2 (Kontrolle 20,5). Die besten Rüben mit 21,4—24 RW wurden zur Nachzucht herangezogen und blühten, in 6 mit Hanf isolierten Gruppen gestaffelt, frei ab. Die 6. Gruppe enthielt Pflanzen mit 23—24 RW und wurde als einzige nach freier Bestäubung 1958 geerntet. Die aus diesem Saatgut 1959 gewachsenen und untersuchten X_3 -Rüben streuten wieder mit 14—26,9; \varnothing 21,6 RW (Kontrolle 21,5). Die 15 besten Exemplare mit 23,5—26,9 wurden noch einmal zum isolierten Nachbau verwendet. Ihre Rübennachkommenschaft, jetzt eine X_4 , variierte erneut zwischen 16 und 24,9; \varnothing 21,1 (Kontrolle \varnothing 21,6). In 3 Rübengenerationen (1957, 1959, 1961) ist also trotz Auslese der jeweils besten Anteile der Refraktometerwert in seiner breiten Streuung und im Durchschnitt gleich geblieben: 20,2; 21,6; 21,1. Damit erscheint eine Selektion auf hohe RW-Werte bei Röntgenrüben nicht lohnend.

Aus den dargestellten Versuchsergebnissen folgt, daß bei Zuckerrüben eine erzwungene Selbstung — im engeren und weiteren Sinne — ungeeignet ist, um induzierte Mutanten in der X_2 herausspalten zu lassen und sie auf diesem Wege weiter zu erhalten. Drei Ursachen sind dafür verantwortlich:

1. Die starke Selbststerilität der Zuckerrüben. Einen fließenden Übergang zur Selbstfertilität, auf den SCHWANITZ (1940) hinweist, haben wir nicht festgestellt. Nach ZAJKOVSKAJA (1955) soll kühle Witterung die Selbstbefruchtung, warmes Wetter die Fremdbefruchtung bei Isolierung begünstigen. Der fehlende Fruchtansatz in dem heißen Sommer 1953 könnte damit zusammenhängen.

2. Die Rübenblüten reagieren auf Beutelung empfindlich. Das Mikroklima in der Tüte ist je nach Witterung für die Bestäubung mehr oder weniger ungünstig, speziell die Transpirationsfeuchtigkeit wird den Pollen schädigen. Beide Faktoren können sich addieren, und ein schlechtes Mikroklima kann eine mögliche Selbstbefruchtung verhindern.

3. Die Röntgenbestrahlung schädigt zudem das generative System und damit ebenfalls den Fruchtansatz.

Mutationen in Populationen

Dagegen erscheint die experimentelle Mutationsauslösung geeignet, um bestimmte Rübenstämme heterogener zu machen, wenn sie die gewünschte Variabilität durch einseitige Züchtung eingebüßt ha-

Tabelle 10. 3 Versuchsserien zur ev. Erhöhung des Refraktometerwertes von Röntgenrüben (RW in %).

1955	X_2 -Rüben aus 2 Klonen einer Pflanze RW 7—21,6	X_1 -Samenträger gebeutelt	
1956	X_2 -Samenträger	X_2 -Rüben RW 20,8—21,4	X_1 -Samenträger räumlich isoliert abgeblüht
1957		X_2 -Samenträger S, G, F gebeutelt	X_2 -Rüben RW 14—24; \varnothing 20,2
1958		X_3 -Rüben RW 15,9—18,7; 16,8 \varnothing	X_2 -Samenträger 6 Gruppen (6. Gruppe 23—24 RW)
1959			X_3 -Rüben RW 14—26,9; \varnothing 21,6
1960			X_3 -Samenträger RW 23,5—26,9
1961			X_4 -Rüben RW 16,0—24,9; \varnothing 21,1

Variationskoeffizient des Refraktometer-Wertes nach PEARSON 4,28
S = Selbstung, G = Geschwisterbestäubung, F = Fremdung

ben. Die Bestrahlung erfolgt zunächst in der angegebenen üblichen Form an ruhenden Knäueln, doch die aus den Rüben herangewachsenen Samenträger blühen dann als Population in räumlicher Isolierung frei ab. Auch auf diesem Wege können Mutanten heraußpalten. Unsere diesbezüglichen, dreijährig durchgeführten Auslesen auf höhere Refraktometerwerte haben indessen kein positives Ergebnis gehabt. Durchweg werden aber die ausgelösten Mutationen heterozygot und wegen ihrer vorherrschenden Rezessivität maskiert bleiben. Sie reichern sich nach Bestrahlungen des Ramschsaatgutes in mehreren Generationen an und verändern damit die genetische Struktur der Population. Solch eine Rübenpopulation bleibt dann dank ihrer Heterozygotie plastisch, gleichzeitig voll vital und gestattet Auslesen an Mutterrüben. GUSTAFSSON und seine Mitarbeiter (1950—1954) haben in aufschlußreichen Untersuchungen gezeigt, daß selbst homozygot wertlose oder sogar letale Mutanten als Heterozygoten wertvoll sein können.

Wir wenden dieses Verfahren z. Z. bei einem tetraploiden *Cercospora*-resistenten Zuckerrübenstamm an, der seit einigen Jahren in der Leistung stagniert. Sein Saatgut ist im Jahre 1961 mit einer Röntgendosis von 30 kr bestrahlt worden, und die erste Samenträgerpopulation blüht 1962 ab. Ein zweiter Versuch in dieser Richtung ist mit den im Mittelpunkt der Züchtung stehenden monokarpen Zuckerrüben ebenfalls 1961 begonnen worden. Ist es bisher gelungen, schon recht konstant monokarpe Stämme mit guter Keimfähigkeit und Ertragsleistung aufzubauen, so soll durch Bestrahlung weiterhin eine größere morphologische und physiologische Mannigfaltigkeit angestrebt werden, als sie in dem ersten Selektionsmaterial naturgemäß vorhanden ist. Dieses Material zeigte 1962 überraschend mannigfaltige Typen in Blatt, Wuchs und Fruchtbesatz.

Zusammenfassung

Für Zuckerrüben ist die Toleranzdosis an Knäueln untersucht worden. Sie beträgt bei diploiden und tetraploiden Zuckerrüben etwa 20 kr. Der Wurzelkörper der X_1 -Rüben reagiert auf Röntgenbestrahlung recht empfindlich. Es entstehen meist an Kopf und Hals kropfartige Wucherungen verschiedener Art und Größe. Solche Rüben wachsen mehr oberirdisch. Ihre Nachkommenschaften haben wieder eine normale, glatte Rinde und wachsen tief in der Erde. Die Blattspreite der X_1 -Rüben wird mit steigender Dosis reduziert. Die X_1 -Samenträger sind mittels Tütenisolierung zur Selbstung gezwungen worden. Wegen ausgebliebenen Knäuelansatzes wurden Geschwisterbestäubungen mit zwei Trieben durchgeführt. Fruchtansatz wurde in 4 Jahren bei 0,4%,

5%, 54% und 59% der gebeutelten Pflanzen gefunden. Fremdbefruchtung war im Vergleich zur Geschwisterbefruchtung viermal so erfolgreich. Die X_2 -Generation zeigte sich bei Selbstung in der Vitalität stark geschwächt. An Mutanten (morphologischen, physiologischen, biochemischen) wurden nur einige pollonsterile Exemplare gefunden. Die experimentelle Mutationsauslösung ist vor allem geeignet, um bei idiotypisch eingeengten Rübenpopulationen die Variabilität zu erhöhen. Polykarpe *Cercospora*-resistente und junge monokarpe Stämme werden in dieser Richtung untersucht.

Literatur

1. ANDERSSON, G., u. G. OLSSON: Svalöf's Primex white mustard — A market variety selected in X-ray treated material. *Acta Agric. Scand.* IV, 574—577 (1954). —
2. BANDLOW, G.: Über Reizfruchtungsversuche bei der Zuckerrübe. *Der Züchter* 23, 293—295 (1953). —
3. BANDLOW, G.: Die Pollensterilität der *Beta*-Rübe und ihre Bedeutung für die Polyploidiezüchtung. In: *Polyploidie der Rüben*. Beiträge zur Rübenforschung Nr. 1. Wiss. Abhdl. Nr. 34, 52—68 (1958). —
4. BRAUN, H., u. E. RIEHM: Krankheiten und Schädlinge der Kulturpflanzen und ihre Bekämpfung. Parey, Berlin 1953, 7. Aufl. —
5. BRUNS, A.: Die Auslösung von Mutationen durch Röntgenbestrahlung ruhender Samen von *Trifolium pratense*. *Angew. Bot.* 28, 120—155 (1954). —
6. GUSTAFSSON, Å.: Induction of changes in genes and chromosomes II. Mutations, environment and evolution. *Cold Spring Harbor Symposia on quantitative biology XVI*, 263—281 (1951). —
7. GUSTAFSSON, Å.: The cooperation of genotypes in barley. *Hereditas XXXIX*, 1—18 (1953). —
8. GUSTAFSSON, Å.: Mutations, viability and population structure. *Acta Agr. Scand.* IV, 601—632 (1954). —
9. GUSTAFSSON, Å., and N. NYBOM: The viability reaction of some induced and spontaneous mutations in barley. *Hereditas XXXVI*, 119—133 (1950). —
10. GUSTAFSSON, Å., N. NYBOM and U. VON WETTSTEIN: Chlorophyll factors and heterosis in barley. *Hereditas XXXVI*, 383—392 (1950). —
11. HEINZE, K.: Die Schädlinge, Krankheiten und Schädigungen unserer Hackfrüchte (Kartoffeln und Rüben). Dunker u. Humblot, Berlin 1953. —
12. SCHEIBE, A.: Einführung in die allgemeine Pflanzenzüchtung. Stuttgart 1951. —
13. SCHEIBE, A., u. A. BRUNS: Eine kurzröhrlige weißblühende Mutante bei *Trifolium pratense* nach Röntgenbestrahlung. *Angew. Bot.* 27, 70—74 (1953). —
14. SCHEIBE, A., u. G. HÜLSMANN: Über das Auftreten bitterstoffärmer Pflanzen von *Melilotus albus* in der C_2 -Generation nach Behandlung mit mutageneren Chemikalien. *Die Naturwissenschaften* 44, 17—18 (1957). —
15. SCHEIBE, A., u. G. HÜLSMANN: Mutationsauslösung durch Chemikalien bei Steinklee (*Melilotus albus*). *Zeitschr. f. Pflanzenzüchtg.* 39, 299—324 (1958). —
16. SCHLECHT, F.: Untersuchungen über die Befruchtungsverhältnisse bei Rotklee (*Trifolium pratense*). *Z. f. Pflanzenzüchtg.* 8, 121—157 (1922). —
17. SCHWANITZ, F.: Beiträge zur Züchtung und Genetik selbstfertilierter Rüben (*Beta vulgaris* L.). I. Erste Ergebnisse von Kreuzungen zwischen *Beta vulgaris* L. und selbstfertilierter *Beta maritima* L. *Z. Pflanzenzüchtg.* 24, 290—291 (1940). —
18. ZAJKOVSKAJA, N. E.: Die Veränderlichkeit der Bestäubung und Befruchtung bei der Zuckerrübe in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen (russ.). *Dokl. Akad. Nauk* 102, 177—179 (1955). —