

Aus dem Institut für Kulturpflanzenforschung der Deutschen Akademie der Wissenschaften,
Gatersleben, Kr. Aschersleben

Mutationsversuche an Kulturpflanzen

IX. Über den Rohprotein Gehalt röntgeninduzierter Gerstenmutanten

Von FRIEDRICH SCHOLZ

Mit 6 Abbildungen

Einleitung

Die Pflanzenzüchter bemühen sich in steigendem Maße um die Qualitätsverbesserung der Kulturpflanzen. Bei der Gerste sind die Maßstäbe für die Qualitätsanforderungen im wesentlichen durch die beiden Hauptnutzungsrichtungen gegeben, die Verwertung als Futtergerste und als Braugerste. Die Qualität von Futtergerste ist im allgemeinen um so höher zu bewerten, je höher der Eiweißgehalt ist, sofern die Eiweißzusammensetzung vorerst unberücksichtigt bleibt. Für Braugerste wird dagegen ein möglichst niedriger Eiweißgehalt angestrebt, wenn auch hier noch andere biochemisch-physiologische Eigenschaften eine entscheidende Rolle spielen.

Bekanntlich ist der Eiweißgehalt der Gerste in hohem Maße von Umwelteinflüssen abhängig und reagiert daher auch relativ stark auf verschiedene pflanzenbauliche Maßnahmen. Ob niedrige oder hohe Eiweißgehalte bei hohen Flächenerträgen erzielt werden können, hängt aber nicht nur von der Art der natürlichen oder künstlichen Umwelteinflüsse ab, sondern entscheidend auch von der genetischen Konstitution der angebauten Sorte. Da die erblich bedingten Unterschiede meist wesentlich geringer als die modifikativen Schwankungen sind und von diesen häufig überdeckt werden, sind genetische Untersuchungen sehr erschwert, so daß uns über die Genetik des Eiweißgehaltes der Gerste bisher sehr wenig bekannt ist. Gerade deshalb aber ist die Kenntnis und der Vergleich der Eiweißgehalte züchterisch wertvollen Materials sehr wichtig.

In Gatersleben konnte ein umfangreiches Sortiment röntgeninduzierter Mutanten von Sommer- und Wintergerste aufgebaut werden. Über dieses Material wurde bereits mehrfach berichtet, zuletzt von NOVER und BANDLOW (1958) sowie SCHOLZ und LEHMANN (1958); eine zusammenfassende Untersuchung des züchterischen Wertes bestimmter Mutanten liegt von SCHOLZ (1957) vor. Das gesamte, bis jetzt auf einen Umfang von etwa 800 Formen angewachsene Mutantensortiment wurde bis vor kurzem in jedem Jahre vollständig angebaut. Seit 1952, teilweise seit 1951, wird jährlich eine Kornprobe jeder angebauten Mutantenlinie auf ihren Eiweiß- bzw. Rohprotein Gehalt untersucht — es handelt sich dabei ausnahmslos um Mutanten, die nicht auf Grund von Veränderungen des Eiweißgehaltes, sondern wegen anderer, vorwiegend morphologischer Veränderungen ausgelesen worden waren.

Die Ergebnisse dieser mehrjährigen vergleichenden Rohproteinuntersuchungen werden hier zusammen-

gefaßt mitgeteilt. Wir beschränken uns dabei im wesentlichen auf züchterisch wertvolle Mutanten bzw. Mutantenlinien. Sie sind nach gemeinsamen züchterisch wichtigen Hauptmerkmalen in Gruppen zusammengestellt. Diese Gruppierung deckt sich nicht immer mit der nach rein morphologischen Gesichtspunkten vorgenommenen von SCHOLZ und LEHMANN (1958). Außer den züchterisch wertvollen Mutanten sind die Ergebnisse von solchen Mutantengruppen näher dargestellt, deren Hauptmerkmale zwar offensichtlich einen beträchtlich höheren Eiweißgehalt bedingen, aus anderen Gründen aber keine züchterische Verwertbarkeit der betreffenden Formen erwarten lassen.

Mehrjährige Rohproteinuntersuchungen an größerem Mutantenmaterial sind unseres Wissens bisher nicht durchgeführt bzw. publiziert worden. Im Rahmen einer größeren Arbeit hat lediglich GUSTAFSSON (1947) kurz über vergleichende Rohproteinanalysen an einigen wenigen, nicht näher beschriebenen Gerstenmutanten berichtet. Er stellte eine relativ starke Variation des Rohprotein Gehalts sowie eine deutlich negative Korrelation zwischen Ertrag und Rohprotein Gehalt fest.

Material und Methoden

Die hier zitierten Gaterslebener röntgeninduzierten Mutantenlinien sind zum größeren Teil bereits eingehend morphologisch beschrieben (SCHOLZ 1957, SCHOLZ und LEHMANN 1958). Soweit Mutantenlinien erwähnt werden, die bisher nicht beschrieben worden sind, werden sie in den betreffenden Abschnitten kurz charakterisiert.

Für die Rohproteinbestimmungen wurden stets Kornproben aus dem Mutantensortiment benutzt, das jährlich in Parzellen von etwa 2 m² je Nummer, mit der Hand auf 5 cm × 20 cm ausgelegt, angebaut wird; nach je 6—8 Mutanten ist eine Kontrollparzelle eingeschoben.

Die Rohproteinbestimmungen selbst erfolgten nach dem Kjeldahl-Verfahren, wobei der prozentuale Rohprotein Gehalt in der üblichen Weise als Produkt aus dem ermittelten Gehalt an Gesamt-Stickstoff und dem Faktor 6,25 errechnet wurde. Seit Januar 1954 werden diese Analysen an Mutantenmaterial im Rahmen von größeren Serienanalysen, die eine andere Zielsetzung haben, nach dem Prinzip der Müncheberger Arbeitsweise durchgeführt¹, deren verbesserte Form SCHWARZE (1944) aus-

¹ Die entsprechende apparative Ausrüstung erfolgte in Zusammenarbeit mit der Chemisch-Physiologischen Abteilung des Instituts. Die Analysen wurden mit dankenswerter Präzision seit 1953 von Herrn W. MÜNNICH, zuvor von Fräulein Dr. L. ENGELBRECHT ausgeführt.

fürhlich beschrieben hat. Im wesentlichen arbeiten wir nach seinen Empfehlungen. Eine Abweichung ergibt sich dadurch, daß wir wegen des Fehlens von Stadtgas ausschließlich elektrisch beheizen. Außerdem erfolgt die Destillation nur durch Dampfdurchleitung ohne zusätzliche Erhitzung der Kolben. Als Aufschlußkatalysator verwenden wir das Selenreaktionsgemisch nach WIENINGER anstelle von Wasserstoffsperoxyd. Für den Aufschluß wird jeweils eine konstante Einwaage von nur 1 g unzerkleinerter Körner benutzt. Bei dem Mutantenmaterial gilt als Ergebnis das Mittel einer Doppelanalyse.

Von den insgesamt 117 Mutantenlinien, über die hier im einzelnen Ergebnisse angegeben sind, liegen aus den Jahren 1951—1957 meist je 5—7 Einzelwerte ebensoviel verschiedener Jahre vor, in einigen Fällen sind es nur

Der erhaltene Maßstab für P liegt so zwischen der arithmetischen und der logarithmischen Darstellung. In den diesbezüglichen Säulendiagrammen ist dieser Maßstab, von $P = 1$ ausgehend, jeweils nach oben und nach unten abgetragen, um so positive und negative Abweichungen der Mutanten von den Ausgangssorten auch hier deutlich werden zu lassen.

In die Diagramme sind auch Angaben über verschiedene Merkmale und Werteigenschaften der Mutanten aufgenommen, wie u. a. Tausendkorngewicht, Schartigkeit, Ertrag in Leistungsprüfungen (SCHOLZ 1957). Diese Merkmale beeinflussen offenbar vielfach die Höhe des Rohproteingehalts der Körner, wie sich den Zusammenstellungen entnehmen läßt. Die Korrelationskoeffizienten, die sich errechnen lassen (nach WEBER 1956), sind zum

Teil relativ hoch. Bei der Berechnung der Koeffizienten wurden die Mittelwerte benutzt, um die störenden Einflüsse der Jahresunterschiede auszugleichen. Da die Anzahl der Beobachtungen (Mutanten einer Gruppe) aber stets niedrig ist und außerdem dritte oder weitere Variable auf den Zusammenhang zweier Veränderlicher vielfach störend wirken, sind die Korrelationen höchstens schwach signifikant.

Auf die Abstammung der Mutantenlinien ist durch den Anfangsbuchstaben des Namens der jeweiligen Ausgangssorte hingewiesen: D = Ackermanns Donaria, H = Haisa (Heines Haisa), F = Friedrichswerther Berg, P = Peragis Mittelfrühe II, K = Kleinwanzlebener 12 (Peragis 12).

Tabelle 1. Rohproteingehalte der Ausgangssorten in verschiedenen Jahren.

		Rohprotein in Proz.							Durchschnitt
		1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	
Sommergerste ¹	Ackermanns Donaria	13,8	13,3	13,4	11,9	13,6	13,4	13,4	13,3
	Haisa (Heines Haisa)	13,4	12,1	12,8	12,2	13,0	13,0	13,2	12,8
Wintergerste ²	Friedrichswerther Berg	12,8	12,8	11,9	—	11,0	12,7	13,4	12,4
	Peragis Mittelfrühe II	11,9	13,5	12,4	—	11,7	12,8	13,8	12,7
	Kleinwanzlebener 12 (Peragis 12)	—	13,5	12,1	—	11,0	12,4	12,4	12,3

¹ Beide Sorten gehören zu *Hordeum vulgare* L. s. l. convar. *distichon* (L.) Alef. var. *nutans* (RODE) Alef.

² Alle drei Sorten gehören zu *Hordeum vulgare* L. s. l. convar. *hexastichon* (L.) Alef. var. *hybernum* Vib.

4 Werte. Um dafür einen allgemeinen Vergleichsmaßstab zu haben, wurde der Mittelwert aus diesen Einzelwerten jeder Mutantenlinie auf den Mittelwert aus den entsprechenden Einzelwerten (derselben Jahre) der jeweiligen Ausgangssorte bezogen. Für jede Mutantenlinie wurde die Übereinstimmung ihres Mittelwertes mit dem entsprechenden der Ausgangssorte statistisch geprüft. Es wurde der t -Test angewandt, und zwar unter der Voraussetzung, daß ein Vergleich von Mittelwerten bei paarweiser Zuordnung der Einzelwerte vorliegt (WEBER 1956, S. 188, bzw. PÄTAU 1943) — zwei die Mittelwerte und Streuungen beeinflussende Faktoren (Genotypen und Jahre), gleicher Umfang beider Stichproben (4—7), paarweise Zuordnung der Meßwerte (Mutantenlinie und Ausgangssorte).

Um die Ergebnisse möglichst gedrängt und übersichtlich darstellen zu können, werden Diagramme benutzt. Da vor allem die Abweichungen der Mutantenlinien von den Ausgangssorten interessieren, sind Mittelwert und Variationsbreite des Rohproteingehalts jeder Mutantenlinie aufgetragen, wie sie sich aus der relativen Höhe der Einzelwerte zu den entsprechenden Einzelwerten der jeweiligen Ausgangssorte (= 100) ergeben. Die tatsächlichen Rohproteingehalte der Mutantenlinien sind aus den Diagrammen also nicht zu ersehen, sie sind hier auch nicht unbedingt notwendig. Die realen Rohproteingehalte der Ausgangssorten in den einzelnen Jahren sind in Tab. 1 zusammengestellt. Der Übersichtlichkeit wegen wird auch auf die Einzeichnung der Einzelwerte verzichtet, da die Variationsbreite im Verein mit der statistischen Signifikanz (die selbstverständlich unter Verwendung der realen Rohproteingehalte als Einzelwerte errechnet wurde) ausreichende Information über das Ausmaß der Streuung vermitteln.

Die P -Werte für die Übereinstimmung des Mittelwerts jeder Mutantenlinie mit dem entsprechenden der Ausgangssorte sind ebenfalls graphisch dargestellt. Es wurde ein anschaulicher Maßstab gewählt, der aus der Beziehung zwischen t und P abgeleitet ist. Er ergibt sich aus der t -Tafel (PÄTAU 1943), wenn man t auf einer Geraden arithmetisch abträgt und die entsprechenden P -Werte für $m = \infty$ aus der Tafel abliest und in diesem Maßstab einträgt — $P = f(t) \left\{ \begin{array}{l} P = 1 \text{ entspricht } t = 0 \\ P = 0 \text{ entspricht } t = \infty \end{array} \right.$.

Ergebnisse

Sommergerste

Die bekannten sog. *erectoides*-Mutanten zeichnen sich durch dichte Ähren aus. Sie können deshalb den Varietäten *erectum* (RODE) ALEF. bzw. *breve* ALEF. zugeordnet werden, während die Ausgangssorten der var. *nutans* (RODE) ALEF. angehören. Züchterische Bedeutung haben diese Mutanten wegen ihrer stärkeren Halme, die wiederum bessere Standfestigkeit gewähren und dadurch stärkere N-Düngung erlauben. Von den etwa 80 *erectoides*-Mutanten unseres Materials wurden 25 für die Darstellung der Ergebnisse der Rohproteinanalysen ausgewählt (Abb. 1). Es handelt sich dabei um solche Mutantenlinien, von denen mindestens fünfjährige Ergebnisse vorliegen und die möglichst auch in Feldversuchen auf ihre Ertragsfähigkeit geprüft worden sind.

Es zeigt sich, daß die Rohproteingehalte dieser Mutanten gegenüber denen der Ausgangssorten (unter gleichen Anbaubedingungen) kaum verändert sind. Lediglich eine extrem dichtährige Mutante (2657, var. *heteroglumatum* SCHOLZ et LEHM.) weist einen signifikant höheren Rohproteingehalt auf. Die Mutantenlinien mit gutem oder befriedigendem Ertrag tendieren etwas zu leicht gesenkten Werten, obwohl in keinem Fall statistische Signifikanz erreicht wurde. Diejenigen Mutantenlinien, von denen keine Ertragszahlen vorliegen — sie wurden nicht geprüft, da von ihnen augenscheinlich keine befriedigenden Erträge erwartet werden konnten —, zeigen dagegen eine Tendenz zu höheren Rohproteingehalten. Jedoch wäre es falsch, aus diesen Ergebnissen auf eine allgemein negative Korrelation zwischen Ertrag und Eiweißgehalt zu schließen. Die relativ hohen Rohproteingehalte der letztgenannten Gruppe sind vielmehr mit der erhöhten

Schartigkeit und der z. T. extremen Dichtährigkeit dieser Formen in Zusammenhang zu bringen. In der Tat läßt sich an dem Material eine korrelative Abhängigkeit zwischen Rohproteingehalt und Spindel-

und einer glattgrannigen Mutante (4033, zu var. *glabrideficiens* [VAV.] MANSF.) sind in Abb. 2 dargestellt. Interessant sind davon vor allem die dreizehn halbglatten Linien mit den Nummern 3934 bis 3947. Sie

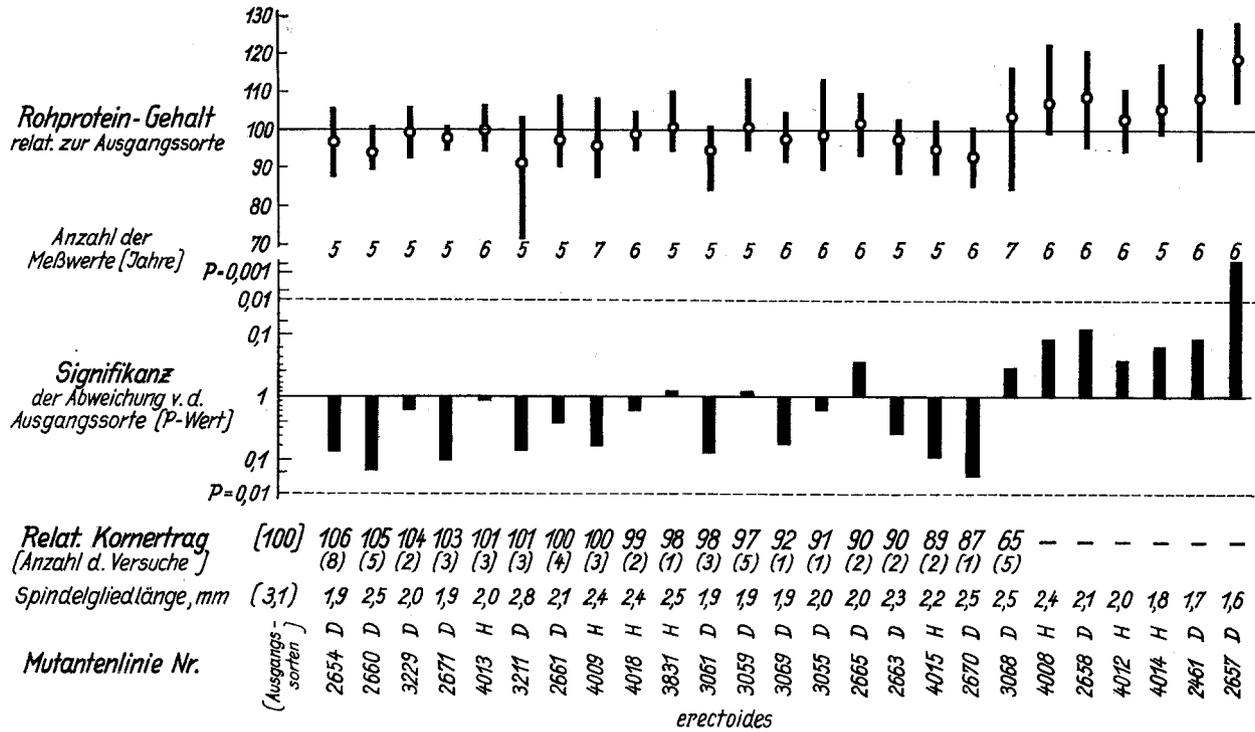


Abb. 1. Rohproteingehalt, Ertrag und Spindelgliedlänge von 25 *erectoides*-Mutanten der Sommergerste im Vergleich zu den Ausgangssorten.

gliedlänge (Ährendichte) nachweisen. Der Korrelationskoeffizient $r = -0,503$ ist annähernd signifikant ($P = 0,01$).

Die Ergebnisse unterstreichen die züchterische Bedeutung der *erectoides*-Mutanten. Abgesehen von Formen mit extrem kurzen Spindelgliedern (und damit kleinen Körnern), sind die Rohproteingehalte dieser Mutanten im Durchschnitt so hoch wie bei den Ausgangssorten bzw. sie sind etwas niedriger. Das spricht für eine mindestens ebenso gute Verwendbarkeit für Brauereizwecke. Da diese Mutanten wegen ihrer Standfestigkeit aber höhere N-Düngergaben verwerthen können als die Ausgangssorten vom *nutans*-Typ, sind sie in der Lage, mehr Eiweiß zu bilden und haben unter diesen Bedingungen erhöhten Futterwert.

Glattgrannige Mutanten sind ebenfalls von großem züchterischen Interesse, weil die Verfütterung von Stroh und Spreu glattgranniger Gersten gefahrlos für das Vieh ist und außerdem Ernte und Drusch erleichtert werden. Die Untersuchungsergebnisse an fünfzehn halbglattgrannigen (zu var. *medicuum* KÖRN.)

sind morphologisch und sehr wahrscheinlich auch genetisch nicht voneinander zu unterscheiden. Der relative Kornertrag im Durchschnitt aller 24 Versuche, die mit ihnen durchgeführt worden sind, liegt bei 107,5% gegenüber der Ausgangssorte Haisa. Neben dieser

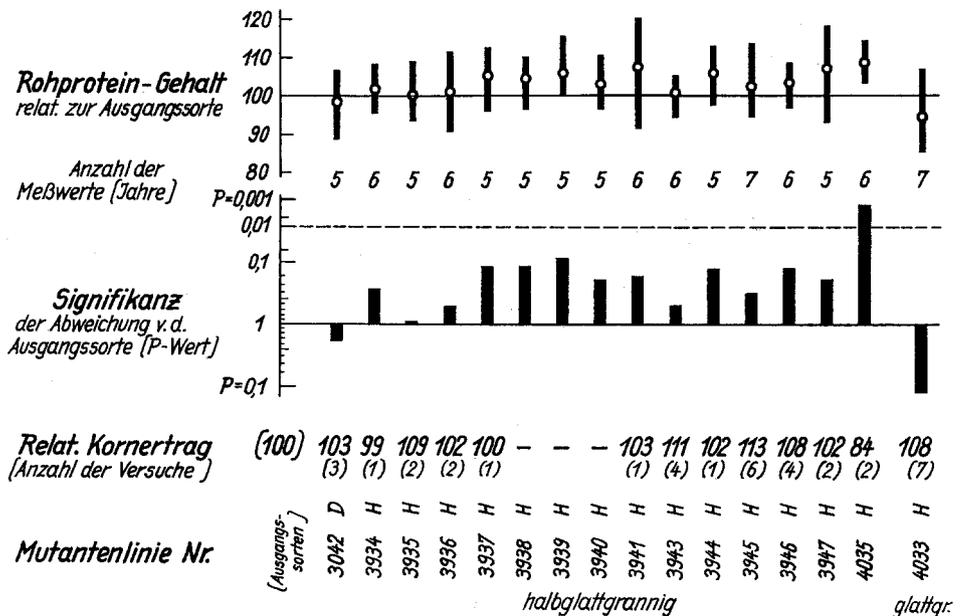


Abb. 2. Rohproteingehalt und Ertrag von 15 halbglattgrannigen und einer glattgrannigen Mutante der Sommergerste im Vergleich zu den Ausgangssorten.

eindeutigen Ertragserhöhung sind auch die Rohproteingehalte höher als bei der Ausgangssorte. Zwar ist in keinem Einzelfall die Erhöhung des Rohproteingehalts statistisch signifikant, jedoch ist bei dem relativ umfangreichen Gesamtmaterial nicht daran zu

zweifeln, daß die Erhöhungen real sind. Im Durchschnitt beträgt der Rohproteingehalt dieser dreizehn Mutantenlinien relativ zur Ausgangssorte 103,7, d. h. er ist durchschnittlich von etwa 12,8% auf etwa 13,3% gesteigert. Zieht man alle Einzelwerte dieser Mutanten zu gemeinsamer statistischer Beurteilung zusammen, was in diesem Fall durchaus berechtigt erscheint, so ergibt sich die hohe Signifikanz von $t = 4,60$ und $P < 0,0001$. Dieses Ergebnis ist auch ein Hinweis dafür, daß zwischen Ertrag und Eiweißgehalt durchaus nicht immer eine negative Korrelation bestehen muß.

Die glattgrannige Mut. 4033 weist einen etwas niedrigeren Rohproteingehalt als die Ausgangssorte auf; Signifikanz ist allerdings nicht vorhanden. Mit der Glattgrannigkeit scheint also a priori keine Erhöhung des Eiweißgehalts verbunden zu sein. Ob die Unterschiede im Eiweißgehalt zwischen der glattgrannigen Mut. 4033 einerseits und der Gruppe der oben besprochenen dreizehn halbglattgrannigen Mutanten andererseits durch die verschiedenen Allele bedingt ist, läßt sich ohne weiteres nicht entscheiden, da im Falle von Mut. 4033 unabhängig von der Glattgrann-

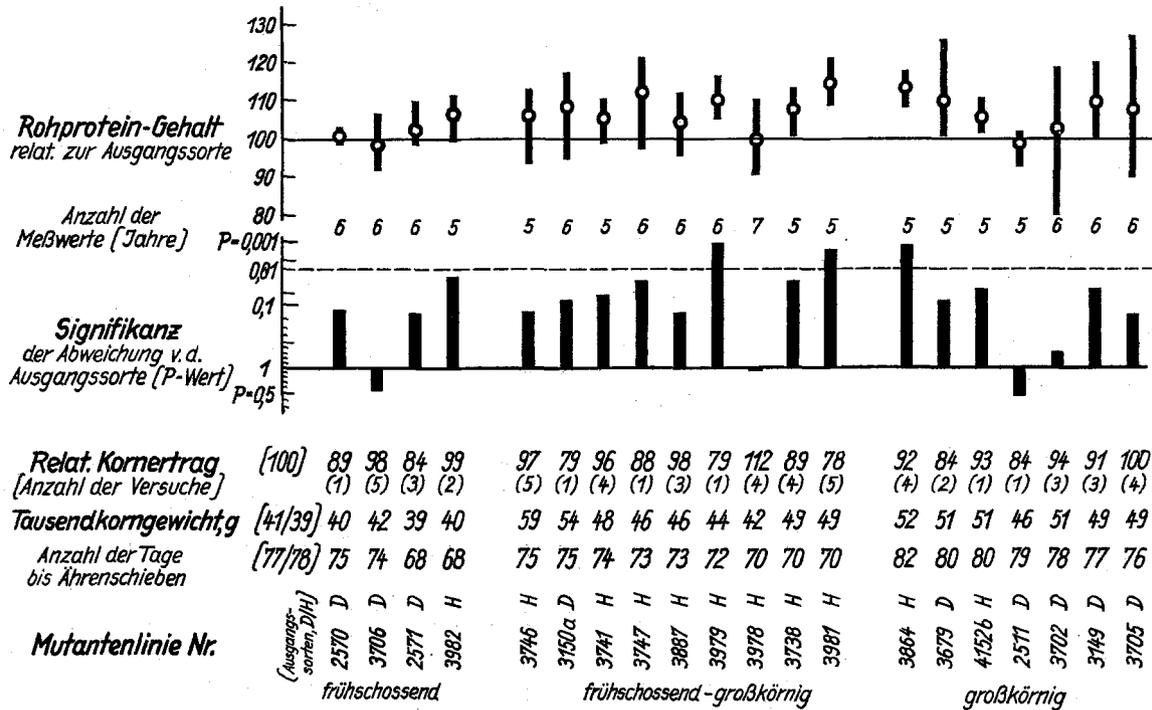


Abb. 3. Rohproteingehalt, Ertrag, Tausendkorngewicht und Vegetationslänge von 4 frühschossenden, 9 frühschossend-großkörnigen und 7 großkörnigen Mutanten der Sommergerste im Vergleich zu den Ausgangssorten.

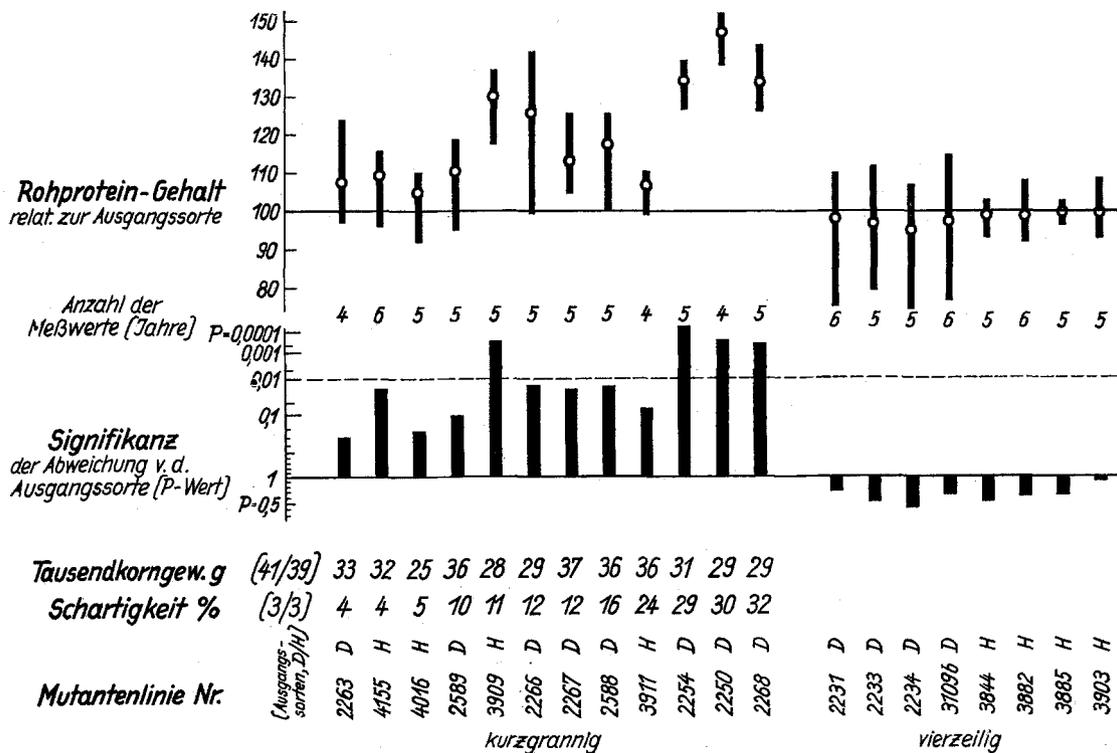


Abb. 4. Rohproteingehalt, Tausendkorngewicht und Schartigkeit von 12 kurzgrannigen und 8 vierzeiligen Mutanten der Sommergerste im Vergleich zu den Ausgangssorten.

nigkeit noch zwei weitere Gene mutiert sind (SCHOLZ 1957).

Frühschossende, frühschossende und zugleich großkörnige sowie großkörnige Mutanten der Sommergerste (Abb. 3) — sämtlich derselben Varietät *nutans* wie die Ausgangssorten zuzurechnen — haben sich in der Regel in Leistungsprüfungen als den Ausgangssorten unterlegen gezeigt. Die Rohproteingehalte fast aller dieser Mutanten sind gegenüber den Ausgangssorten erhöht, in einigen Fällen eindeutig signifikant. Im Gegensatz zu den halbglattgrannigen Mutanten ist also hier eine negative Korrelation zwischen Ertrag und Eiweißgehalt angedeutet. Es fällt auf, daß auch die ausgesprochen großkörnigen Mutanten, unberücksichtigt ihrer Vegetationslänge, höhere Rohproteingehalte aufweisen. Das widerspricht der Beobachtung, daß zwischen Korngröße und Eiweißgehalt häufig eine negative Korrelation besteht. Innerhalb der drei Mutantengruppen lassen sich Korrelationen zwischen Eiweißgehalt einerseits und Tausendkorngewicht, Vegetationslänge oder Kornertrag andererseits nicht nachweisen.

Die vielzeiligen bzw. vierzeiligen Mutanten unseres Sortiments haben, soweit sie in Leistungsprüfungen aufgenommen waren, die Erwartungen bezüglich der Ertragsleistung nicht erfüllt. Im Rohproteingehalt haben sie fast genau das gleiche Niveau wie die zweizeiligen Ausgangssorten (Abb. 4).

Die kurzgrannigen Mutanten (der Varietät *subnutans* [ORL.] MANSF. zuzuordnen), die ebenfalls in Abb. 4 aufgenommen sind, haben züchterisch kaum Interesse, da Korngröße, Fertilität und Ertragsfähigkeit unzureichend sind. Sie fallen jedoch durch zum Teil außerordentliche Steigerungen der Rohproteinwerte auf, die meist auch hoch signifikant oder dicht an der Signifikanzschwelle sind. Diese hohen Rohproteingehalte sind wohl im wesentlichen eine Folge von geringer Fertilität (Schartigkeit) und niedrigem Tausendkorngewicht. Die Berechnung der partiellen Korrelationskoeffizienten zwischen diesen drei Variablen — zur Aufklärung des Zusammenhangs zwischen je zwei Variablen bei Ausschaltung der dritten — hatte folgendes Ergebnis: Für Eiweißgehalt—Schartigkeit ist $r = 0,698$ bei $P = 0,017$; für Eiweißgehalt—Tausendkorngewicht ist $r = -0,503$ bei $P = 0,13$; für Schartigkeit—Tausendkorngewicht ist $r = 0,325$ bei $P = 0,33$. Auch die beiden erstgenannten partiellen Korrelationen sind also nicht bzw. kaum signifikant. Unter Berücksichtigung der niedrigen Anzahl von zwölf untersuchten Mutantenlinien dürfte man aber in der Annahme nicht fehlgehen, daß diese beiden Korrelationen trotzdem real sind. Daß starke Schartigkeit als auch niedrige Tausendkorngewichte, wenn auch nicht immer, so doch in vielen Fällen, den Eiweißgehalt ansteigen lassen, ist bekannt (vgl. HOFFMANN 1956). Auch die Ergebnisse an den vielen anderen unserer Mutanten, die hier nicht zitiert werden konnten, zeigen häufig einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Rohproteingehalt auf der einen und insbesondere Schartigkeit auf der anderen Seite.

Wintergerste

Die langstrohigen und die frühschossenden Mutanten der Wintergerste (Abb. 5) — sämtlich derselben Varietät wie die Ausgangssorten angehö-

rend — haben in Leistungsprüfungen zum Teil sehr gute Erträge erzielt. Bei den langstrohigen Mutanten hat das jedoch mehr oder minder nur theoretische Bedeutung, da diese Formen zugleich spätreif sind. Die Rohproteingehalte der langstrohigen, spätreifen Mutanten sind im Durchschnitt höher als die der Ausgangssorten. Der sich ergebende hohe Korrelationskoeffizient von $r = 0,869$ für die Abhängigkeit Rohproteingehalt—Vegetationslänge ist wegen des geringen Materialumfangs statistisch nicht gesichert ($P = 0,056$). Die frühschossenden bzw. frühreifen Mutanten sind bezüglich der Rohproteingehalte den Ausgangssorten annähernd ebenbürtig. Die geringe Tendenz zur Unterlegenheit im Eiweißgehalt wird weitaus kompensiert durch die durchschnittlich hohen Ertragsleistungen.

In Abb. 5 sind außerdem die Ergebnisse mit mehltaresistenten Mutanten dargestellt. Morphologisch sind sie ebenfalls der Varietät *hybernum* VIB. zuzuordnen wie die Ausgangssorte Friedrichswerther Berg. Die Mehltaresistenz der Mutanten ist monogen dominant bedingt, im Falle von Mut. 501 durch das Gen *Obsistens*, bei allen übrigen durch das Gen *Resistens* (NOVER und BANDLOW 1958). Die Ertragsleistungen der Mutantenlinien mit dem Gen *Resistens* sind zum Teil außerordentlich gut. Die Rohproteingehalte dieser Formen liegen meist unter dem Niveau der Ausgangssorte, bei der ertragreichsten Mut. 515 sogar hochsignifikant. Durch Mehltaubefall wird meist der Ertrag reduziert und der Eiweißgehalt erhöht (vgl. HOFFMANN 1956). Ein Vergleich zwischen unseren resistenten Mutanten und den anfälligen Ausgangssorten bestätigt dies. Der niedrige Rohproteingehalt ist also eine Folge der Mehltaresistenz. Für die Korrelation zwischen Ertrag und Eiweißgehalt innerhalb der mehltaresistenten Mutanten ergibt sich ein statistisch nicht gesicherter Koeffizient von $r = -0,720$ ($P = 0,068$).

Die dichtährigen Mutanten der Wintergerste (Abb. 6), die den *erectooides*-Mutanten der Sommergerste entsprechen und daher zur Varietät *parallellum* KÖRN. zu stellen sind, haben in Leistungsprüfungen bisher nicht die Erwartungen erfüllt. Ihre Rohproteingehalte sind, abgesehen von einer Ausnahme, denen der Ausgangssorte gleichwertig, obwohl die Tausendkorngewichte ziemlich niedrig sind. Der Eiweißgehalt scheint also in diesem Fall weder zur Ährendichte noch zur Korngröße in korrelativen Beziehungen zu stehen.

Kurzgrannige und grannenbrüchige Mutanten sind ebenfalls in Abb. 6 aufgenommen. Beide Gruppen haben kaum züchterische Bedeutung, obwohl sie durch stark gesteigerte Rohproteinwerte auffallen. Die kurzgrannigen Mutantenlinien, von denen zwei bereits kurz von STUBBE und BANDLOW als *curta* beschrieben worden sind, gehören taxonomisch in die Nähe von var. *breviaristatum* (VAV.) MANSF., unterscheiden sich davon aber durch Grannen, die deutlich kürzer als die Ähren sind. Ihre Rohproteingehalte sind deutlich höher als bei den Ausgangssorten, wegen der großen Jahresschwankungen sind die Unterschiede jedoch nicht signifikant. Eine positive Korrelation zwischen Rohproteingehalt und Schartigkeit ist hier höchstens angedeutet.

Die grannenbrüchigen Mutanten haben dünne, zerbrechliche und durcheinander gebogene Grannen,

die in der Milchreife abgeworfen werden; einige Linien wurden bereits kurz von STUBBE und BANDLOW (1947) als *fragilis* beschrieben. Die hier zitierten acht Linien lassen sich in vier Untergruppen mit unterschiedlichem Manifestierungsgrad des Merkmals einteilen. Drei

brüchigen Formen könnten wegen des Abwerfens der Grannen züchterisches Interesse erwecken. In Leistungsprüfungen erbrachten jedoch die zwei am geeignetsten erscheinenden Linien Erträge von kaum mehr als 50% im Vergleich mit der Ausgangssorte

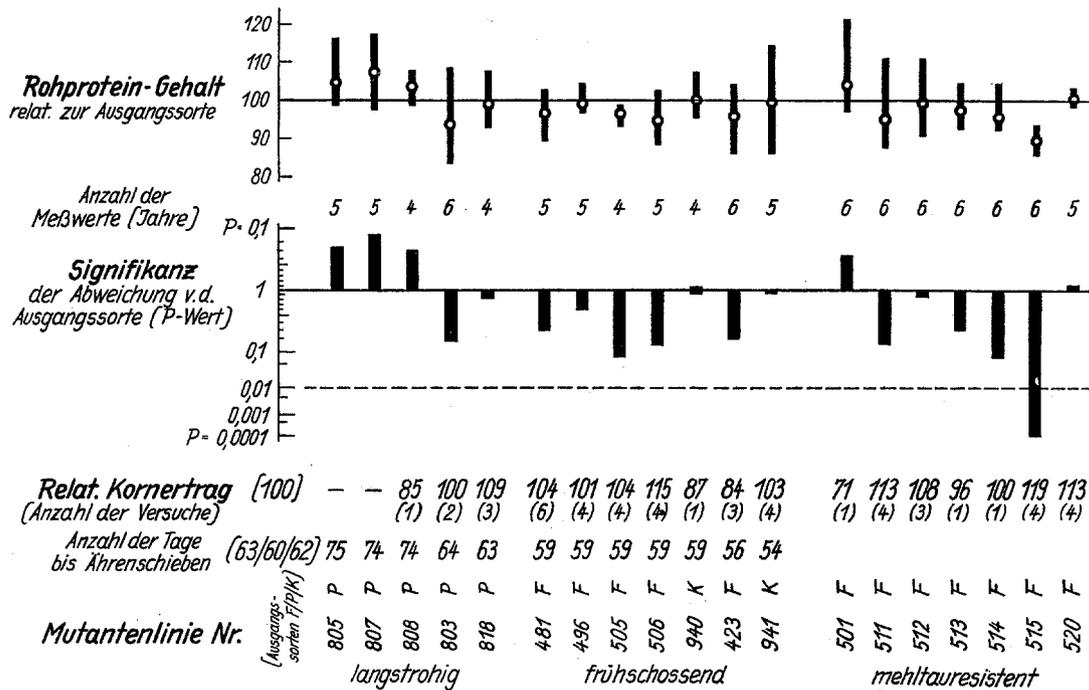


Abb. 5. Rohproteingehalt, Ertrag und Vegetationslänge von 5 langstrohigen, 7 frühschossenden und 7 mehtauresistenten Mutanten der Wintergerste im Vergleich zu den Ausgangssorten.

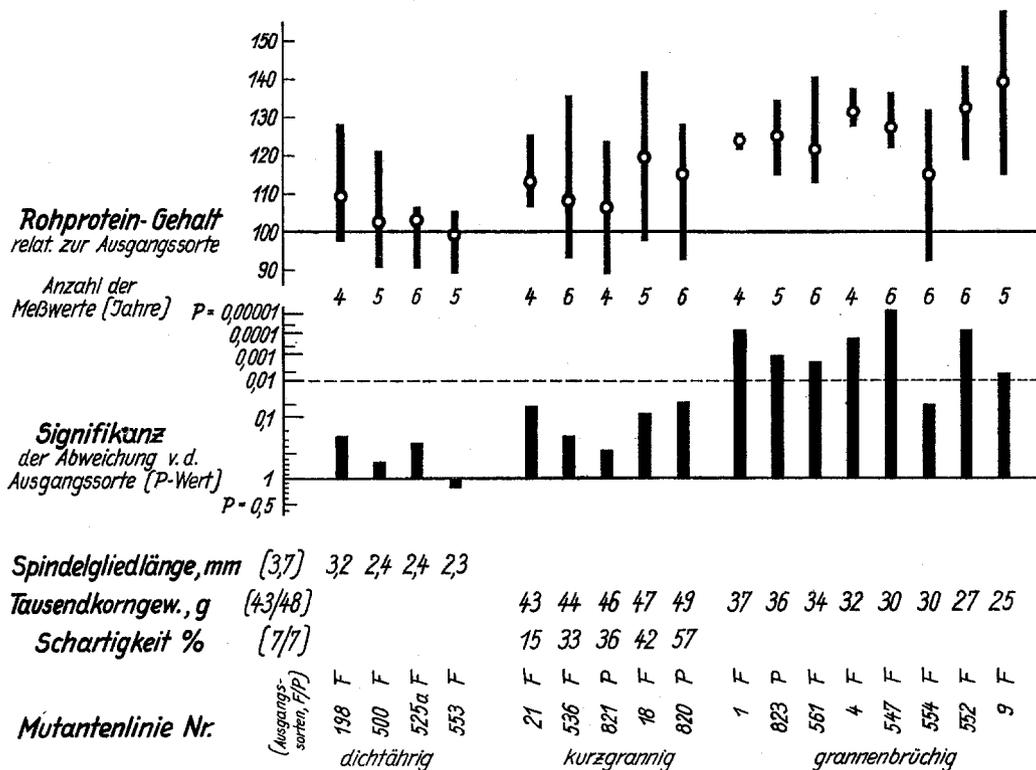


Abb. 6. Rohproteingehalt, Spindelgliedlänge, Tausendkorngewicht und Schartigkeit von 4 dichtährigen, 5 kurzgrännigen und 8 grannenbrüchigen Mutanten der Wintergerste im Vergleich zu den Ausgangssorten.

dieser Untergruppen repräsentieren höchstwahrscheinlich — diesbezügliche Analysen sind noch nicht abgeschlossen — eine unilokale Allelenserie. Die von SCHULTE (1955) als „Friedrichswerther Ogra“ bezeichnete Spontanmutante mit dem Gen *deieci* (*de*) dürfte ebenfalls dahin gehören. Diese grannen-

Friedrichswerther Berg. Die erstaunlich hohen Rohproteingehalte, die bis auf eine Ausnahme statistisch klar gesichert sind, hängen vermutlich mit dieser niedrigen Ertragsfähigkeit zusammen. Von Bedeutung für die hohen Rohproteinwerte sind vermutlich auch die niedrigen Tausendkorngewichte, vor allem da sich

innerhalb der acht Mutantenlinien eine diesbezügliche, allerdings nicht signifikante Korrelation ergibt.

Diskussion

Die Ergebnisse der mehrjährigen Rohprotein-Untersuchungen an Gerstenmutanten zeigen, daß die Eiweißgehalte der züchterisch wertvollen Mutantenlinien im allgemeinen nicht oder nur wenig gegenüber den Ausgangssorten verändert sind. Daraus ergibt sich, daß mit bestimmten, für die Züchtung bedeutsamen Merkmalsunterschieden keine wesentlichen Unterschiede im Eiweißgehalt entsprechender Formen einhergehen, sofern alle übrigen Merkmale bzw. Erbanslagen identisch sind. Bei der mutativen Auslösung wertvoller Merkmale sind also etwa die gleichen Eiweißgehalte zu erwarten wie bei den Ausgangssorten, sofern keine entscheidenden züchterischen Mängel auftreten, wie starke Schartigkeit, geringes Korngewicht o. ä. Relativ geringfügige Veränderungen in der Höhe des Rohproteingehalts können allerdings eintreten. Bei den halbglattgrannigen Mutanten wurde auf die eindeutige Tendenz zu einer geringen Erhöhung des Eiweißgehalts hingewiesen, während bei der glattgrannigen Mut. 4033 mit etwa der gleichen Ertragsleistung anscheinend das Gegenteil der Fall ist. Die frühschossenden und großkörnigen Mutanten der Sommergerste neigen ebenfalls zu etwas höheren Eiweißgehalten, während die mehlauresistenten Mutanten der Wintergerste, zumindest die ertragreichen mit dem Gen *Resistens*, weniger Eiweiß bilden. Vielfach mag das auf echte pleiotrope Nebenwirkungen der mutierten Allele zurückgehen, zum Teil sind es aber sicherlich sekundäre Erscheinungen — der etwas niedrigere Eiweißgehalt der mehlauresistenten Mutanten ist z. B. einfach als Folge des sehr geringen Mehlaubefalls der Pflanzen zu deuten (vgl. S. 293).

Wesentliche Veränderungen des Eiweißgehalts, und zwar Erhöhungen, konnten nur bei partiell sterilen (schartigen), kleinkörnigen, extrem dichtährigen und damit kleinkörnigen und schartigen oder monströsen Formen festgestellt werden. Beispiele dafür sind kurzgrannige, grannenbrüchige und manche *erectoides*-Mutanten sowie viele andere, die hier nicht zitiert sind. Auch hier sind die Erhöhungen des Eiweißgehalts vermutlich in erster Linie eine physiologische bedingte Folgeerscheinung von Schartigkeit und Kleinkörnigkeit, da die aufgenommene Stickstoffmenge auf eine geringere Anzahl bzw. kleinere Körner verteilt wird.

In der Gerstenzüchtung ließ man sich sehr lange fast ausschließlich durch die sehr konservativen hohen Anforderungen der Brauindustrie leiten, vor allem in Europa. Die Futtergerste ist gegenüber der Brauergerste stark minderbewertet worden und hat eine viel geringere züchterische Bearbeitung erfahren, obwohl der weitaus größere Teil der Gerstenernte, soweit es von Deutschland bekannt ist, nicht verbraucht, sondern verfüttert wird. Sogar etwa die Hälfte der Sommergerste, die weit stärker als Wintergerste angebaut wird, dürfte verfüttert werden. Erst in jüngster Zeit hat man sich etwas mehr der Futtergerstenzüchtung zugewandt, und aus verschiedenen Ländern sind bereits Erfolge vor allem der Wintergerstenzüchtung bekannt geworden, die auf die durchaus noch nicht ausgeschöpften Möglichkeiten der Ertragssteigerung durch Züchtung hinweisen.

Ein sehr wichtiges Zuchtziel bei Futtergerste ist jedoch die Steigerung des Eiweißgehaltes, um das von der Tierhaltung geforderte Eiweiß-Stärke-Verhältnis von etwa 1:7 für die Schweinemast zu erreichen. Bisher sind allerdings entscheidende Erfolge in dieser Richtung nicht erzielt worden, da die Züchtung auf Eiweißgehalt infolge der starken Modifizierbarkeit dieser Eigenschaft durch Außenbedingungen sehr erschwert ist (vgl. HOFFMANN 1956).

Die experimentelle Mutationsauslösung könnte sich vielleicht auch bei der Züchtung auf höheren Eiweißgehalt als sehr nützlich erweisen. Es wären dabei Mutanten anzustreben, die morphologisch nicht oder kaum verändert sind, sich aber durch einen höheren Eiweißgehalt auszeichnen. Entsprechende Versuche sind in Gatersleben durchgeführt worden. Sie erbrachten Anfangserfolge, über die bei anderer Gelegenheit berichtet werden wird.

Die entscheidende Frage bei der Züchtung auf hohen Eiweißgehalt ist die, ob eine negative Korrelation zwischen Eiweißgehalt und Ertrag besteht, d. h. ob ein genetisch erhöhter Eiweißgehalt eine entsprechende Ertragsverminderung bedingt. Eine eindeutige Klärung dieser unstrittenen Frage ist bis heute nicht erfolgt. Während in vielen Fällen einer Steigerung des Eiweißgehaltes eine Verminderung des Ertrages gegenübersteht, also tatsächlich negative Korrelationen gefunden wurden, konnten dagegen andere Autoren keine oder sogar positive Korrelationen zwischen Ertrag und Eiweißgehalt ermitteln. Die Beziehungen zwischen Eiweißgehalt und Ertrag scheinen demnach je nach dem Material, das für die Kreuzungsanalysen herangezogen wird, verschieden zu sein. Die zahlreichen diesbezüglichen Arbeiten wurden bereits von SCHWANITZ und SCHWARZE (1937), neuerdings von SCHWARZE (1956) sowie HOFFMANN (1956) referiert.

Sehr aufschlußreich in diesem Zusammenhang sind Versuche mit Mais, die seit 1896 an der Illinois Agricultural Experiment Station in Urbana durchgeführt werden. C. G. HOPKINS hatte damals mit der Selektion auf hohen und niedrigen Eiweißgehalt sowie auf hohen und niedrigen Ölgehalt begonnen, ausgehend von der Sorte Burr White. Diese Selektion wurde bis heute fortgeführt, zuletzt berichteten darüber WOODWORTH, LENG und JUGENHEIMER (1952). Aus dem Ausgangsmaterial mit einem Proteingehalt von 10,9% waren nach 50 Generationen Selektion ein eiweißreicher Stamm mit 19,5% und ein eiweißarmer Stamm mit 4,9% Protein entstanden. Interessant ist nun vor allem, daß diese beiden Stämme, obwohl sie sich von der Ausgangssorte und voneinander auch morphologisch unterscheiden, etwa den gleichen Kornertrag pro Fläche liefern. Die Eiweißerträge der beiden Stämme stehen ungefähr im Verhältnis 3:1 zueinander! Ihre Kornerträge liegen zwar nur bei etwa 50% der Erträge guter Handelshybridsorten. Die Eiweißgehalte und Eiweißerträge von Hybridstämmen, die durch Drei-Wege-Kreuzung unter Beteiligung des eiweißreichen Stammes erzeugt wurden, liegen jedoch deutlich höher als die der Handelshybridsorten. Ganz entsprechende Ergebnisse wurden bei der Selektion auf hohen bzw. niedrigen Ölgehalt erzielt.

Diese instruktiven Resultate mit diesem in seiner Art wohl einzigartigen Material zeigen, daß zwischen Eiweißgehalt und Ertrag durchaus nicht zwangsläufig negative Korrelationen bestehen müssen, wie das

vielfach angenommen wird. Die Kombination von hohem Eiweißgehalt und hohem Ertrag erscheint also nicht ausgeschlossen.

In diese Richtung deuten auch unsere hier vorgelegten Ergebnisse. Während bei manchen Gruppen von Mutantenlinien negative Korrelationen mehr oder minder stark angedeutet sind, zeichnet sich die Gruppe der dreizehn untereinander identischen halbglat-grannigen Mutanten durch erhöhten Eiweißgehalt bei gleichzeitig verbessertem Ertrag gegenüber der Ausgangssorte aus. Die Unterschiede sind zwar nicht groß, aber durchaus nicht unbedeutend, denn der Eiweiß-Flächenertrag liegt im Durchschnitt von 24 Prüfungen um 11,5% höher als bei der Ausgangssorte.

Echte Überlegenheit eines hohen Eiweißgehaltes gegenüber einem niedrigen ist aber nur dann gewährleistet, wenn keine negativen Korrelationen zur Biologischen Wertigkeit bestehen. In letzter Zeit haben verschiedene Autoren eine Verschlechterung der Eiweißqualität bei steigendem Eiweißgehalt festgestellt. Es sei dabei besonders auf die Befunde von POSTEL (1956 und 1957) hingewiesen, der auch eine Reihe anderer diesbezüglicher Arbeiten referiert. Er wies bei Gerste nach, daß sich die Rohproteinzusammensetzung an exogenen Aminosäuren in Richtung auf eine Verschlechterung der Biologischen Wertigkeit verändert, sobald der Rohproteingehalt durch ökologische Faktoren gesteigert wird. Ob ähnliche ungünstige Beziehungen zwischen Eiweißgehalt und Eiweißzusammensetzung vorliegen, wenn der Eiweißgehalt durch genetische Faktoren erhöht wird, erscheint allerdings noch fraglich; zumindest werden gegenteilige Meinungen vertreten (vgl. SCHWARZE 1956).

Mit der Gefahr muß jedoch gerechnet werden. Andererseits darf man durchaus erwarten, daß diese Beziehung dann keine allgemeine Gültigkeit hat. Unter verschiedenen Idiotypen, die einen erhöhten Eiweißgehalt bedingen, müßten mit großer Wahrscheinlichkeit sowohl solche auftreten, die gleichzeitig zu einer schlechteren Eiweißzusammensetzung führen, aber ebenso auch solche, die gleiche oder sogar günstigere Biologische Wertigkeit einschließen. Aufgabe der Züchtung wäre es dann zuerst, möglichst verschiedenartige Ausgangsmaterial herzustellen. Am Anfang aller Bemühungen aber muß das Ziel der Erhöhung des Eiweißgehaltes stehen.

Zusammenfassung

Das Gaterslebener Sortiment röntgeninduzierter Mutanten von Sommer- und Wintergerste ist bisher auf einen Umfang von etwa 800 Formen angewachsen. Alle Mutantenlinien werden jährlich auf ihren Rohproteingehalt untersucht und mit der Ausgangssorte verglichen. Vier- bis siebenjährige Ergebnisse an 117 Mutantenlinien mit bestimmten Merkmalen werden hier zusammenfassend dargestellt. Es handelt sich dabei im wesentlichen um züchterisch interessierende Formen: *erectoides*-, glattgrannige, frühreife, grobkörnige, dichtährige (standfeste) und mehltauresistente Mutanten.

Die Rohproteingehalte dieser Mutantenlinien sind im allgemeinen nicht oder nur wenig gegenüber den

Ausgangssorten verändert. Mit bestimmten Merkmalsunterschieden, die für die Züchtung Bedeutung haben, sind also keine wesentlichen Unterschiede im Eiweißgehalt verbunden. Nur relativ geringfügige Veränderungen des Rohproteingehalts wurden bei einigen Gruppen beobachtet. Bei dreizehn einander sehr ähnlichen halbglatgrannigen Mutanten z. B. ist durchschnittlich etwas erhöhter Eiweißgehalt mit durchschnittlich gesteigertem Ertrag kombiniert.

Sehr starke Erhöhungen des Rohproteingehalts wurden dagegen bei partiell sterilen, kleinkörnigen, extrem dichtährigen oder monströsen Formen festgestellt, die jedoch wegen dieser Mängel züchterisch bedeutungslos sind (u. a. kurzgrannige und grannenbrüchige Mutanten).

Soweit Art und Umfang des Materials die Ermittlung und Beurteilung von Korrelationen zwischen Eiweißgehalt einerseits und Tausendkorngewicht, Schartigkeit oder Ertrag andererseits gestatten, werden sie besprochen. Ferner werden Fragen der Züchtung auf hohen Eiweißgehalt diskutiert, unter besonderer Berücksichtigung der möglichen negativen Korrelationen zwischen Eiweißgehalt und Ertrag sowie zwischen Eiweißgehalt und Biologischer Wertigkeit des Eiweißes.

Literatur

1. GUSTAFSSON, Å.: Mutations in agricultural plants. *Hereditas* 33, 1—100 (1947). — 2. HOFFMANN, W.: Gerste (*Hordeum vulgare* L.). Futtergerstenzüchtung. Handb. Pflanzenzücht., 2. Aufl., hrsg. v. H. KAPPERT u. W. RUDORF, Berlin u. Hamburg, 2, 402—407 (1956). — 3. NOVER, I., und G. BANDLOW: Mutationsversuche an Kulturpflanzen. VIII. Mehltauresistenz und ihre Genetik bei Wintergerstenmutanten. *Der Züchter* 28, 184—189 (1958). — 4. PÄTAU, K.: Zur statistischen Beurteilung von Messungsreihen. (Eine neue *t*-Tafel). *Biol. Zbl.* 63, 152—168 (1943). — 5. POSTEL, W.: Der Einfluß genetischer und ökologischer Faktoren auf den Eiweißhaushalt von Sommergerstencaryopsen, unter besonderer Berücksichtigung der exogenen Aminosäuren. *Der Züchter* 26, 211—239 (1956). — 6. POSTEL, W.: Studien über exogene Aminosäuren in differenzierten Zonen von Gerstencaryopsen ökologisch verschiedener Standorte. *Z. Pflanzenzücht.* 37, 113—126 (1957). — 7. SCHOLZ, F.: Mutationsversuche an Kulturpflanzen. VII. Untersuchungen über den züchterischen Wert röntgeninduzierter Mutanten verschiedener Merkmalsgruppen bei Sommer- und Wintergerste. 1. u. 2. Teil. *Z. Pflanzenzücht.* 38, 181—220 u. 225—274 (1957). — 8. SCHOLZ, F., u. CHR. O. LEHMANN: Die Gaterslebener Mutanten der Saatgerste in Beziehung zur Formenmannigfaltigkeit der Art *Hordeum vulgare* L. s. l. I. *Kulturpflanze* 6, 123—166 (1958). — 9. SCHULTE, H.-K.: Untersuchungen zur Genetik und zur physiologischen Funktion der Granne bei der Gerste. *Z. Pflanzenzücht.* 34, 157—196 (1955). — 10. SCHWANITZ, F., und P. SCHWARZE: Die genetischen Grundlagen für die Züchtung von ertrag- und eiweißreichen Sorten bei unseren Getreidearten. *Forschungsdienst* 4, 60—81 (1937). — 11. SCHWARZE, P.: Über die Methodik der Auslese eiweißreicher Zuchtstämme und die Variabilität der Eiweißqualität in Zuchtmaterial. *Z. Pflanzenzücht.* 26, 1—55 (1944). — 12. SCHWARZE, P.: Stoffproduktion und Pflanzenzüchtung. Handb. Pflanzenzücht., 2. Aufl., hrsg. v. H. KAPPERT u. W. RUDORF, Berlin u. Hamburg, 1, 307—365 (1956). — 13. STUBBE, H., und G. BANDLOW: Mutationsversuche an Kulturpflanzen. I. Röntgenbestrahlungen von Winter- und Sommergersten. *Der Züchter* 17/18, 365—374 (1947). — 14. WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik für Naturwissenschaftler, Landwirte und Mediziner. 2. Aufl., 456 S., Jena (1956). — 15. WOODWORTH, C. M., E. R. LENG, and R. W. JUGENHEIMER: Fifty generations of selection for protein and oil in corn. *Agronomy J.* 44, 60—65 (1952).