Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 50 (1940)

Artikel: Untersuchungen über stofflichen Veränderungen im wachsenden und reifenden Weizenkorn

Autor: Koblet, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-34248

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Untersuchungen über die stofflichen Veränderungen im wachsenden und reifenden Weizenkorn.[1]

Von *R. Koblet.*

(Aus der Eidg. landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Zürich-Oerlikon.)

Eingegangen am 7. November 1939.

Inhalt.

		Seite
I.	Einleitung	99
II.	Versuchsanlage und Gewinnung des Körnermaterials	101
III.	Die Veränderung von Frischgewicht, Wassergehalt und Trockengewicht	119
	1. Frischgewicht	119
	2. Wassergehalt	120
	3. Trockengewicht	127
IV.	Die Veränderung des Gehaltes an Kohlehydraten	134
V.	Die Veränderungen der stickstoffhaltigen Verbindungen	150
	1. Gesamtstickstoff	150
	2. Eiweiss- und Nichteiweißstickstoff	157
	3. Die löslichen Stickstoffverbindungen	165
	4. Die Aktivität der proteolytischen Enzyme	186
	5. Stickstoffversorgung des Kornes und Bildung der Reserveproteine	199
VI.	Die Veränderung des Gehaltes an Mineralstoffen	203
VII.	Das gegenseitige Verhältnis der einwandernden Stoffe und die Beziehungen zwischen Stoffzufuhr und Beschaffenheit des reifen Kornes	211
VIII.	Zusammenfassung	222
Literatur		227

I. Einleitung.

Im Laufe des Entwicklungs- und Reifungsprozesses wandern grosse Mengen löslicher Stoffe in die Getreidefrucht ein, um hier nach mannigfachen Umwandlungen grösstenteils als hochmolekulare Reservestoffe abgelagert zu werden. Menge und Zusammensetzung des einwandernden Nährstoffstroms und die Art des Ablaufes der Aufbauvorgänge sind von ausschlaggebendem Einfluss auf den Ertrag und die Beschaffenheit des Ernteproduktes. Es ist daher verständlich, dass diese Vorgänge schon vielfach studiert worden sind. Die während der Entwicklung und des Ausreifens eintretenden Veränderungen der Hauptstoffgruppen sind denn auch weitgehend bekannt; hinsichtlich der einzelnen Teilprozesse bestehen jedoch in unsern Kenntnissen noch manche Lücken, die nur durch weitere Untersuchungen geschlossen werden können.

---

[1] Der Abteilung für Landwirtschaft der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich zur Erlangung der venia legendi eingereichte Arbeit.

Die in der vorliegenden Arbeit niedergelegten Untersuchungen galten in erster Linie dem Studium des *Stickstoffhaushaltes* des wachsenden und reifenden Weizenkornes. Wir suchten auf diese Weise einen vertieften Einblick zu gewinnen in jene Vorgänge, die letzten Endes zum Aufbau der für die Ernährung der zukünftigen Keimpflanze und für die technische Verarbeitung des Kornes zu Mehl und Brot so wichtigen Eiweißstoffe führen. Da es nicht ratsam schien, aus einem kompliziert arbeitenden Organismus einzelne Prozesse herauszugreifen und isoliert zu betrachten, wurden gleichzeitig mit den einzelnen Gruppen stickstoffhaltiger Verbindungen auch die übrigen Zellinhaltstoffe, insbesondere die *Kohlehydrate* und die *Mineralstoffe* in die Untersuchung einbezogen. Zur Schaffung einer geeigneten Bezugsgrösse war es weiterhin notwendig, die im Zusammenhang mit den Wachstums- und Reifungsvorgängen sich einstellenden Veränderungen des Wassergehaltes und des Trockengewichtes zu ermitteln.

Die in der Pflanze sich abspielenden Vorgänge stehen bekanntlich in enger Wechselbeziehung zu den herrschenden Aussenbedingungen. Um gegen allerlei Zufälligkeiten gewappnet zu sein, war es gegeben, das Ausreifen des Versuchsmaterials unter wechselnden äusseren Bedingungen vor sich gehen zu lassen. Die Anzucht der Pflanzen unter kontrollierten Bedingungen, wie sie etwa ein Gewächshaus mit auf bestimmte Temperaturen oder einen bestimmten täglichen Temperaturwechsel eingestellten Kammern bieten könnte, war aus praktischen Gründen unmöglich. Wir verwendeten daher für unsere Untersuchungen die Körner von Freilandpflanzen, und zwar suchten wir eine gewisse Variation der äusseren Bedingungen durch wechselnde Aussaatzeiten zu erreichen. Es konnte so damit gerechnet werden, dass die Pflanzen der verschiedenen Parzellen unter abweichenden Witterungsverhältnissen wachsen und ausreifen würden. Selbstverständlich ist es bei dieser Versuchsanlage nicht möglich, den Einfluss der einzelnen äusseren Faktoren auf die stofflichen Veränderungen mit Sicherheit zu ermitteln; es kann aber auf diese Weise wenigstens der Gefahr ungerechtfertigter Verallgemeinerungen, wie sie bei der Auswertung von nur einer Versuchsserie besteht, weitgehend vorgebeugt werden.

Wir geben im folgenden, entsprechend dem soeben skizzierten Programm, zunächst eine Beschreibung der Entwicklung der Versuchskulturen und des Vorgehens bei der Gewinnung des Körnermaterials; in einem weiteren Abschnitt folgt eine Darstellung des allgemeinen Verlaufs der Stoffeinwanderung, worauf in den Abschnitten IV—VI die bei den einzelnen Stoffgruppen (Kohlehydraten, stickstoffhaltigen Bestandteilen, Mineralstoffen) festgestellten Veränderungen besprochen werden. Ein letzter Abschnitt ist schliesslich dem gegenseitigen Verhältnis der einwandernden Stoffe und den Beziehungen zwischen den Einwanderungsvorgängen und der Beschaffenheit des reifen Kornes gewidmet.

Die Beschreibung der Untersuchungsmethoden erfolgt in den einzelnen Abschnitten; ebenso soll auch die einschlägige Literatur bei der Behandlung der Einzelfragen näher besprochen werden.

II. Versuchsanlage und Gewinnung des Körnermaterials.

1. Versuchsparzellen und Anlage der Versuche.

Das zur Untersuchung gelangende Körnermaterial stammte in der Hauptsache von Sommerweizenkulturen, die im Frühjahr 1938 zu verschiedenen Zeiten angesät wurden. Als Versuchsfläche diente Parzelle 8 des Versuchsfeldes der Eidgenössischen Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Zürich-Oerlikon. Die Parzelle hatte im Vorjahr Sojabohnen getragen; sie wurde im Herbst gepflügt und erhielt am 10. März 1938 eine Düngung von 120 kg Phosphorsäure und 180 kg Kali pro ha. Der Boden stellt einen schwach humosen tonigen Lehm dar und weist ein pH von 7.8 und einen $CaCO_3$-Gehalt von 2.5 % auf. Eine zur Zeit der Ernte entnommene Bodenprobe erwies sich auf Grund der Untersuchung nach Dirks und Scheffer weder als phosphorsäure- noch als kalibedürftig. Das Versuchsfeld wurde in 18 Parzellen zu je 20 m² eingeteilt; je drei derselben wurden am 10. März, am 9. April und am 9. Mai mit Huronweizen und je drei weitere gleichzeitig mit Marquis bestellt. Der ausgesäte Marquisweizen stammte aus dem im Vorjahr in Kloten durchgeführten Sommerweizenversuch; bei der Sorte Huron verwendeten wir Saatgut der Vermehrungsstelle Frienisberg, das uns hinsichtlich Sortenreinheit und Freiheit von Flugbrand als einwandfrei bekannt war.

Als Ergänzung zu unserem Saatzeitversuch diente eine im Herbst 1937 angesäte Huronweizenparzelle des Winterweizen-Zuchtgartens von Oerlikon, dem eine Anzahl Aehren zur Durchführung einer kleinen Versuchsserie entnommen werden konnten. Der Boden dieser Parzelle ist dem des Hauptversuches sehr ähnlich. Im weiteren wurde ein Huron- und ein Strickhofweizenfeld der Landwirtschaftlichen Schule Strickhof, welche beide auf Wiesenumbruch standen, zur Körnergewinnung herangezogen. Die zuletzt erwähnte Kultur bot willkommene Gelegenheit, unsere Untersuchungen auf Winterweizen auszudehnen; der Huronweizen des Strickhofes diente namentlich dem Studium der stofflichen Veränderungen in den einzelnen Teilen des Weizenkornes. Der Strickhofweizenacker wies ein pH von 7.7 und einen $CaCO_3$-Gehalt von 6.1 % auf; der Boden des Huronweizenfeldes zeigte ein pH von 7.6 und enthielt 2.9 % kohlensauren Kalk. Nach Dirks und Scheffer erwiesen sich beide Felder zur Zeit der Ernte als nicht phosphorsäurebedürftig, sie enthielten aber im Bikarbonatauszug nur 0.7 bzw. 0.57 mg wasserlösliches Kali pro 100 g Boden und sind daher nach den Erfahrungen der Versuchsanstalt Oerlikon als kalibedürftig anzusprechen

(vgl. Kalidünge-Tabelle von L. Gisiger bei Wiegner-Pallmann, 1938, S. 269).

Schliesslich legten wir auf dem Versuchsfeld des Lehrstuhls für Pflanzenbau der E. T. H. in Nante (1425 m über Meer) eine kleinere Versuchsparzelle von Marquisweizen an, in der Absicht, dieses später reifende Material für allfällige ergänzende Untersuchungen zu benützen.[1] Hinsichtlich der Bodenverhältnisse sei bemerkt, dass es sich hier um einen sauer reagierenden tonigen Sand handelt, der dank der in der Gegend üblichen reichlichen Stallmistdüngung ziemlich viel Humus enthält.

2. *Die Entwicklung der Versuchskulturen.*

Der Witterungsverlauf des Jahres 1938 ist charakterisiert durch ein sehr trockenes Frühjahr und einen ziemlich feuchten Sommer, in welchem längere niederschlagsreiche Perioden mit kürzeren warmen und trockenen Zeitabschnitten abwechselten (vgl. Tab. 1 und Fig. 1). Der Boden befand sich während des ganzen Frühjahrs in vorzüglichem Garezustand. Die frühen und mittelspäten Saaten entwickelten sich denn auch trotz der spärlichen Niederschläge verhältnismässig gut; immerhin war das Blattwerk bei der mittelspäten Aussaat etwas schmächtig, dies insbesondere im Vergleich mit den schon vor dem Eintreten stärkerer Niederschläge recht üppig wachsenden Wintersaaten. Die letzte Aussaat keimte infolge Wassermangels sehr langsam; sie lief zum grössten Teil erst auf, nachdem um Mitte Mai bedeutende Regenmengen gefallen waren.

Die frühen und mittelspäten Saaten entwickelten sich nach dem Einsetzen feuchter Witterung in jeder Hinsicht normal. Abgesehen von etwelcher Schädigung des Blattwerkes durch das Getreidehähnchen und durch schwachen, ziemlich spät auftretenden Braunrostbefall war keine nennenswerte Beeinträchtigung des Wachstums durch Pflanzenkrankheiten zu beobachten. Dank der nicht allzu üppigen Blattentwicklung vermochten diese Kulturen auch den schweren Platzregen des Monats Juli, die dem Wintergetreide vielerorts stark zusetzten, gut zu widerstehen. Die frühgesäten Parzellen wiesen lediglich einige kleine « gestossene » Partien auf; eigentliche Lagerfrucht war nicht festzustellen.

Bedeutend stärkere Schädigungen erlitten die spätgesäten Kulturen beider Versuchssorten. Sie wurden, wie dies bei Spätsaaten unter unsern Verhältnissen stets der Fall ist, zunächst ziemlich stark von der Fritfliege befallen. Der dünne Bestand an normalen Pflanzen wurde in der Folge durch die Halmfliege weiter beeinträchtigt. Dazu kam die Beschädigung der Blätter durch den Braunrost, der hier in einem früheren

---

[1] Herrn Prof. Dr. Volkart und Dr. R. Salzmann danke ich bestens für die Anlage dieser Versuchsparzelle und die über die Entwicklung dieses Weizens gemachten Aufzeichnungen.

Tabelle 1.

Allgemeiner Witterungsverlauf während der ersten 10 Monate des Jahres 1938.

(Nach Angaben der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich.)

		Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
Temperatur (Monatsmittel in ° C)	1938	1.5	0.8	8.0	6.2	11.4	17.6	17.2	17.3	14.8	9.5
	Mittel 1866—1925 .	—0.9	0.9	4.2	8.5	13.0	16.3	18.0	17.2	13.9	8.5
Niederschlagssumme in mm	1938	125	30	38	27	102	133	186	171	101	35
	Mittel 1866—1925 .	54	55	74	94	106	132	130	129	103	92
Mittlere relative Luftfeuchtigkeit in %	1938	80	76	64	64	67	68	75	79	80	78
	Mittel 1901—1930 .	84	79	75	71	70	71	72	75	80	83
Sonnenscheindauer in Stunden	1938	43	102	240	196	182	247	218	203	177	133
	Mittel 1911—1925 .	48	97	130	150	215	231	251	232	164	96

Entwicklungsstadium auftrat als bei den übrigen Kulturen, und kurz vor der Ernte machte sich namentlich bei der Sorte Marquis noch die Lagerfusskrankheit bemerkbar.

Von den übrigen zur Körnergewinnung herangezogenen Kulturen entwickelten sich der Huronweizen des Strickhofs, der im Herbst gesäte Huronweizen des Zuchtgartens von Oerlikon und der Marquis von Nante in jeder Hinsicht normal. Dagegen wurde der von uns ausgewählte Acker Strickhofweizen am 1. Juli durch einen von starken Winden begleiteten Platzregen zu Boden geworfen. Die Entwicklung war in diesem Zeitpunkt bereits soweit fortgeschritten, dass sich die Pflanzen nicht mehr aufzurichten vermochten; es fand lediglich ein ganz schwaches Aufbiegen des obersten Halmgliedes statt. Einige inmitten des gelagerten Feldes stehengebliebene Partien ermöglichten es uns, die begonnene Versuchsserie sowohl mit nichtgelagertem als auch mit gelagertem Weizen zu Ende zu führen.

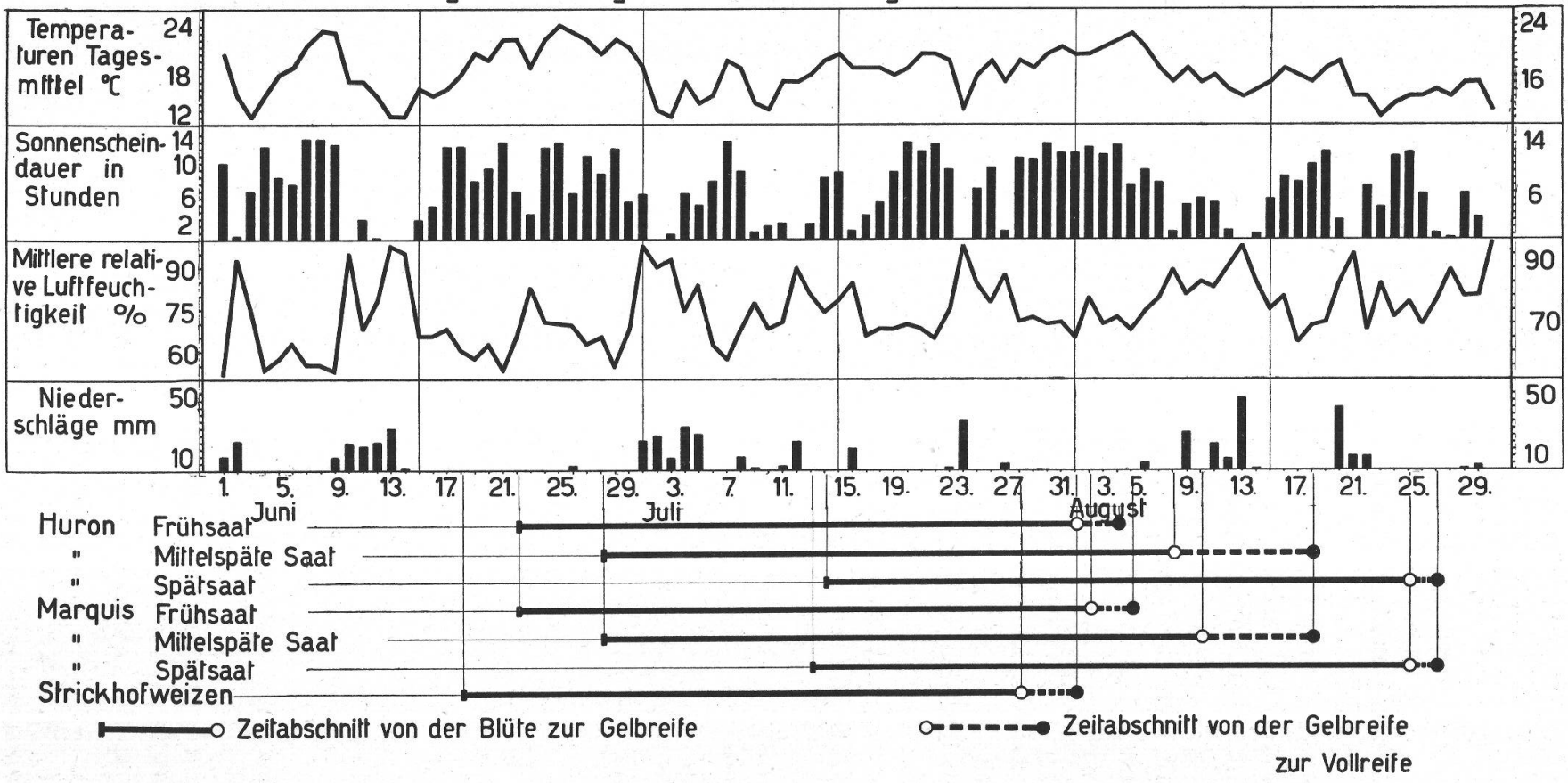
Infolge der gestaffelten Saatzeit gelangten die einzelnen Kulturen — wie durch die Versuchsanlage beabsichtigt — zu verschiedenen Zeiten zur Blüte und zur Reife. Die näheren diesbezüglichen Angaben sind in nachstehender Uebersicht und, zusammen mit den entsprechenden meteorologischen Daten, in Fig. 1 enthalten.

Versuchsserie	Aufgang	Beginn der Blüte	Gelbreife	Vollreife	Reifungsdauer: Blüte bis Gelbreife	Reifungsdauer: Blüte bis Vollreife	Wachstumsdauer: Aufgang bis Gelbreife
					Tage	Tage	Tage
Versuchsfeld Oerlikon:							
Huron Frühsaat	25. III.	22. VI.	1. VIII.	4. VIII.	40	43	129
» mittelspäte Saat . . .	24. IV.	28. VI.	8. VIII.	18. VIII	41	51	106
» Spätsaat	24. V.	14. VII	25. VIII.	27. VIII.	42	44	93
Marquis Frühsaat	25. III.	22. VI.	2. VIII	5. VIII.	41	44	130
» mittelspäte Saat . .	26. IV.	28. VI.	10. VIII.	18. VIII.	43	51	106
» Spätsaat	24. V.	13. VII.	25. VIII.	27. VIII.	43	45	93
Strickhof:							
Strickhofweizen (Winterweizen)	—	18. VI.	28. VII.	1. VIII.	40	44	—
Huron (Frühsaat)	—	21. VI.	1. VIII.	4. VIII.	41	44	—

Beim Winterweizen und bei den Frühsaaten des Sommerweizens fiel die Blüte in die Schönwetterperiode der zweiten Hälfte des Monats Juni. Nach dem rasch erfolgten Abblühen hielt das warme und trockene Wetter noch 8—12 Tage an, worauf eine längere veränderliche Periode mit reichlichen Niederschlägen folgte. Gegen Ende Juli setzte wiederum trockene Witterung ein, die etwa 2 Wochen dauerte und ein rasches Abreifen des Winterweizens und des frühgesäten Sommerweizens ermög-

Fig. 1 Witterungsverlauf während der Sommermonate 1938 und Reifungsdauer der Versuchskulturen.

Temperaturen und Niederschlagsmengen gemessen an der Versuchsanstalt Oerlikon. Sonnenscheindauer und relative Luftfeuchtigkeit nach Angaben der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich.



lichte. Die Witterung kann, soweit sie keine Lagerfrucht zu erzeugen vermochte, für diese Kulturen als durchaus günstig bezeichnet werden: schöner « Blühet », später genügend Niederschläge, ohne Bodennässe zu erzeugen, und schliesslich trockenes Wetter zum Ausreifen.

Die mittelspät gesäten Sommerweizenkulturen blühten ebenfalls noch in der zweiten Junihälfte, und zwar dank des entwicklungsfördernden Einflusses der warmen Witterung nur 6 Tage später als die Frühsaaten. Unmittelbar nach der Blüte der mittelspäten Saaten setzte die erwähnte kühle, niederschlagsreiche Periode ein. Die Körner entwickelten sich anfänglich nur langsam, erst unter dem Einfluss der Ende Juli einsetzenden trockenen Witterung ging auch hier das Ausreifen rascher vor sich. Das Stadium der Gelbreife wurde beim Huronweizen 41 Tage, beim Marquis 43 Tage nach Beginn der Blüte erreicht; die Zeitspanne zwischen Blüte und Gelbreife war somit um 1 bzw. 2 Tage länger als bei den Frühsaaten. Da das Wetter in der zweiten Augustwoche wieder feuchten, kühlen Charakter annahm, ging bei den mittelspäten Saaten der Uebergang von der Gelb- zur Vollreife nur sehr langsam vor sich. Es dauerte 5 bzw. 6 Tage, bis die letzten Reste grünen Farbstoffs aus den oberen Knoten verschwunden waren; bis zur völligen Erhärtung der Körner waren, von der Gelbreife an gerechnet, sogar 10 bzw. 8 Tage erforderlich.

Bei den Spätsaaten vollzog sich die Kornentwicklung wiederum unter wesentlich anderen äusseren Bedingungen. Hier fielen die Blüte und das Ende des Reifungsprozesses in kühle, niederschlagsreiche Perioden, während die Zwischenzeit teilweise durch trockene Witterung begünstigt war. Infolge der nach der Milchreife einsetzenden nasskalten Witterung zog sich das Ausreifen trotz des frühzeitigen Absterbens der Blätter ziemlich in die Länge.

Der Marquis-Weizen von Nante, der am 11. Mai gesät wurde, entwickelte sich, wie zu erwarten war, verhältnismässig langsam; er blühte erst in der zweiten Hälfte August und erreichte gegen Mitte Oktober das Stadium der Milchreife.

3. *Die Probeentnahme.*

Um ein zuverlässiges Bild über die im Laufe des Wachstums und der Reife eintretenden Veränderungen zu erhalten, müssen die von Zeit zu Zeit zur Untersuchung entnommenen Aehrenproben einem möglichst gleichmässig sich entwickelnden Pflanzenmaterial entstammen. Diese Forderung stösst insofern auf Schwierigkeiten, als selbst bei genetisch einheitlichem Material und bei sorgfältigster Kultur die einzelnen Pflanzen eines Weizenfeldes und die einzlnen Halme ein und derselben Pflanze die verschiedenen Reifestadien nicht gleichzeitig passieren. Es war daher angezeigt, schon zum voraus eine genügende Zahl von Trieben auszuwählen, die sich im gleichen Entwicklungsstadium befanden (vgl.

Brenchley und Hall, 1909). Zu diesem Zwecke wurden zu Beginn der Blüte für jede Hauptversuchsserie etwa 2000—3000 Aehren, deren mittlere Aehrchen eben die Staubbeutel heraustreten liessen, markiert. Dem so bezeichneten Material wurden in der Folge die zur Untersuchung bestimmten Aehren entnommen.[1] Zwar machten sich später auch unter den ausgewählten Pflanzen noch gewisse Entwicklungsunterschiede geltend; die stärker vom Durchschnitt abweichenden Individuen liessen sich jedoch bei der jeweiligen Probeentnahme ohne Schwierigkeit ausschalten.

Die ersten Aehrenproben wurden 11 bzw. 13 Tage nach Beginn der Blüte entnommen; die weitern Ernten folgten in wöchentlichen Abständen; den Abschluss jeder Serie bildeten schliesslich die im Stadium der Gelb- und Vollreife geernteten Proben. Die Ernte erfolgte stets um die gleiche Zeit, nämlich zwischen ungefähr 6 Uhr und 8 Uhr morgens. Auf das Wetter konnte dabei keine Rücksicht genommen werden, da ohnehin innert verhältnismässig kurzer Zeit eine grosse Zahl von Proben geerntet und verarbeitet werden musste. Ueber die während der Probeentnahme herrschenden meteorologischen Verhältnisse finden sich in der Uebersicht Seite 108—115 einige kurze Hinweise. Wir bemerken dazu, dass die in den Erntestunden herrschende Witterung keinen erkennbaren Einfluss auf die Ergebnisse unserer Analysen ausübte.

Ueber den Entwicklungszustand der Huron- und Strickhofweizenpflanzen zur Zeit der Probeentnahme geben die auf Seite 108—115 zusammengestellten Notizen nähere Auskunft; da sich der Wachstumsverlauf des Marquisweizens nur wenig von dem des gleichzeitig gesäten Huronweizens unterschied, verzichten wir auf die detaillierte Wiedergabe der beim Marquis gemachten Beobachtungen.

Zusammenfassend lässt sich der Entwicklungszustand der Körner zur Zeit der verschiedenen Probeentnahmen wie folgt charakterisieren. Bei der ersten und zum Teil auch noch bei der zweiten Ernte (1½ bis 3 Wochen nach Beginn der Blüte) waren die Körner im allgemeinen weissgrün gefärbt, und die noch mächtig entwickelte Fruchtknotenwand umschloss ein wässriges bis wässrig-milchiges Endosperm. Zur Zeit der dritten Probeentnahme waren die mittleren Zellschichten des Perikarps bereits weitgehend zurückgebildet und die chlorophyllführende Querzellenschicht nahe an die Oberfläche gerückt; die hieraus resultierende grasgrüne Kornfarbe und die typisch milchige Beschaffenheit des Endosperminhaltes können als charakteristisch für das Stadium der *Milchreife* gelten (Nowacki, 1870). Bei der vierten Ernte (33—35 Tage nach Beginn der Blüte) traten neben den noch ziemlich ausgedehnten

[1] Bei den nicht gelagerten Partien des Strickhofweizenfeldes und bei den Spätsaaten von Huron und Marquis waren wir, um die Versuchsserie zu Ende führen zu können, zum grössten Teil auf nicht bezeichnete Aehren angewiesen.

Entwicklungszustand der Versuchspflanzen

Versuchsserie	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Halm	Knoten	Blattscheiden
Huron Frühsaat	5.VII.	13	grün	grün	—
	13.VII.	21	grün	grün	—
	20.VII.	28	grün bis gelblichgrün	grün	oberste grün, übrige ganz oder teilweise vertrocknet
	27.VII.	35	gelb bis grünlichgelb	obere grün, untere z. T. bräunlich	oberste teilweise grün, untere grösstenteils vertrocknet
	1.VIII.	40	weiss-gelb bis gelb	oberste meist grün, untere bräunlich, meist noch saftig	gelb
	4.VIII.	43	weiss-gelb bis gelb	grösstenteils zusammengefallen	vertrocknet
Huron mittelspäte Saat	11.VII.	13	grün	grün	—

zur Zeit der Probeentnahme.

Blattspreiten	Spelzen	Grannen	Körner	Reifestadium	Bemerkungen betreffend Witterung usw. zur Zeit der Ernte
obere grün, untere ± vergilbt	grün	grün	weissgrün	—	—
obere grün, untere vergilbt	grün	bräunlich	weissgrün bis grün	—	bedeckt, Pflanzen vom Regen nass
oberste grün, mit vertrockneter Spitze, übrige vergilbt	grün, rötlich berandet	bräunlich	grün (teilweise ganz schwacher Stich ins Bräunliche); Inhalt milchig	Milchreife	schön, starker Tau
vergilbt	braun bis grünlichbraun	braun	grünlichbräunlich; [1] Konsistenz fadenziehend bis teigig	—	über Nacht ziemlich starker Regen
vertrocknet	rotbraun	braun	gelb- bis rotbraun (« weizenfarbig »); wachsig weich, über dem Nagel brechend	Gelbreife	schön, ziemlich starker Tau
vertrocknet	rotbraun	braun	gelb bis rotbraun; hart	Vollreife	schön, starker Tau
obere grün, untere z. T. vergilbt	grün	grün	weissgrün; Inhalt wässrig bis milchig	—	kühl, kein Tau

[1] Obere Hälfte : Rückenseite hellbräunlich
Furchenseite grünlich bis bräunlich-grünlich
Untere Hälfte : Rückenseite grünlich bis grünlich-bräunlich
Furchenseite grünlich

Versuchsserie	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Halm	Knoten	Blattscheiden
Huron mittelspäte Saat (Fortsetzung)	19.VII.	21	grün	grün	obere grün, unterste vergilbt
	26.VII.	28	grün	grün	obere grösstenteils grün, untere vergilbt
	2.VIII.	35	gelb bis grüngelb	obere grün, untere z. T. bräunlich	oberste teilweise noch grün, übrige vergilbt
	8.VIII.	41	gelbweiss	oberste grün, übrige braun, teilweise noch saftig, teilweise eingefallen	vergilbt
	13.VIII.	46	gelbweiss, z. T. schwarz gestreift	gebräunt, ± morsch	vertrocknet
	18.VIII.	51	gelbweiss, zum Teil schwärzlich	braun, eingefallen	vertrocknet
Huron Spätsaat	27.VII.	13	grün	grün	—

Blattspreiten	Spelzen	Grannen	Körner	Reifestadium	Bemerkungen betreffend Witterung usw. zur Zeit der Ernte
oberste grün, teilweise mit vertrocknender Spitze, untere teilweise oder ganz vergilbt	grün, leicht rötlich berandet	leicht bräunlich	weissgrün bis grün; Inhalt milchig bis wässrig-milchig	—	bewölkt, trocken
oberste z. T. noch grün, mit etwas Braunrost, übrige grösstenteils vergilbt	grün, rötlich berandet	bräunlich, unten noch grün	grün; Inhalt milchig	Milchreife	Nebel
vergilbt	bräunlich-grün	braun	gelbbräunlich-grün; Konsistenz milchig bis fadenziehend	—	schön, ziemlich starker Tau
vertrocknet	braun	braun	rotbraun; Konsistenz wachsig-weich, knetbar	Gelbreife	bewölkt, Pflanzen vom Regen etwas feucht
vertrocknet	braun	braun	rotbraun; weich, knetbar	—	strömender Regen
vertrocknet	braun	braun	rotbraun, hart	Vollreife	bewölkt, Pflanzen trocken
oberste grün, untere ziemlich rostig, teilweise abgestorben	grün	grün	weissgrün, Inhalt wässrig	—	über Nacht starker Regen, Pflanzen nass

Versuchsserie	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Halm	Knoten	Blattscheiden
Huron Spätsaat (Fortsetzung)	4.VIII.	21	grün	grün	oberste grösstenteils grün, untere v. der Blattspreite her absterbend
	11.VIII.	28	grün	grün	obere unterwärts noch grün, untere ganz vergilbt
	18.VIII.	35	grösstenteils gelb, unter den Aehren u. den Knoten teilweise noch grüne Partien	obere grün, untere meist braun	grösstenteils vergilbt
	25.VIII.	42	gelb	oberster grün, saftig, untere ± braun	vertrocknet
	27.VIII.	44	gelblichweiss bis bräunlichgelb	zusammengefallen	vertrocknet
Strickhofweizen	29.VI.	11	grün	grün	grün
	6.VII.	18	grün	grün	grün

Blattspreiten	Spelzen	Grannen	Körner	Reifestadium	Bemerkungen betreffend Witterung usw. zur Zeit der Ernte
oberste grösstenteils grün, ziemlich stark vom Braunrost befallen, untere abgestorben	grün	grün, Spitzen grünlichbraun	grün, Furchenseite unten weissgrün; Inhalt milchig, teilweise noch wässrigmilchig	[2]	schönes Wetter, starker Tau
oberste rostbraun, verwelkt, untere vertrocknet	gelbgrün, rötlich berandet	unten grün, Spitze braun	gelbgrün mit Stich ins Rötliche, Inhalt milchig bis fadenziehend	[2]	neblig, Pflanzen nass
vertrocknet	untere grünlich, obere bräunlich	braun	Rückenseite überwiegend bräunlich, Furchenseite meist ± grün; Inhalt ± teigig	—	ziemlich schönes Wetter, schwacher Tau, Feld «gestossen»
vertrocknet	blassbraun	braun	« weizenfarbig»; Konsistenz im allg. wachsigweich, obere teilweise etwas erhärtet	Gelbreife	schönes Wetter, starker Tau
vertrocknet	blassbraun	braun	rotbraun, hart	Vollreife	bedeckt, kein Tau
grün	grün	—	weissgrün; Inhalt wässrig	—	schönes Wetter
obere grün, untere vergilbend	grün	—	weissgrün, einzelne grasgrün	—	über Nacht Regen, Pflanzen nass

[2] Bei dieser Versuchsserie wurde das Stadium der typischen Milchreife zwischen der 2. und 3. Probeentnahme erreicht.

Versuchsserie	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Halm	Knoten	Blattscheiden
Strickhofweizen (Fortsetzung)	14.VII.	26	grün	grün	—
	21.VII.	33	gelbgrün bis gelb	grün	oberste meist grün, untere von d. Spreite her absterbend
	28.VII.	40	gelb, zum Teil etwas schwärzlich	obere grün, untere gebräunt und zum Teil zusammengefallen	vergilbt
	1.VIII.	44	weissgelb	grösstenteils eingefallen	vertrocknet

Blattspreiten	Spelzen	Grannen	Körner	Reifestadium	Bemerkungen betreffend Witterung usw. zur Zeit der Ernte
obere grün, leichter Rostbefall, untere vergilbt	grün, teilweise fleckig	—	grün, einzelne mit leichtem Stich ins Gelbgrüne; Inhalt milchig	Milchreife	leichter Morgennebel
oberste ± grün, mit vergilbter Spitze, ziemlich viel Braunrost, untere vertrocknet	grüngelb	—	grünbräunlich bis grünlich; Inhalt fadenziehend bis teigig	—	schönes Wetter, starker Tau
vertrocknet	gelb	—	gelbbraun (ganz vereinzelte Körner zeigen auf d. Furchenseite einen schwachen Stich ins Grünliche); Konsistenz wachsigweich, vereinzelt noch etwas teigig	Gelbreife	leichter Morgennebel
vertrocknet	± weiss	—	gelbbraun, hart	Vollreife	schönes Wetter (Ernte um 10—11 Uhr)

grünen Partien bereits die für die reifen Körner unserer Versuchssorten typischen rotbraunen Farbtöne deutlich hervor. Das Endosperm war von mehr oder weniger teigiger Konsistenz; der Reifezustand entsprach ungefähr dem Stadium, das in der englischen Sprache als «early dough» bezeichnet wird. Die fünfte Ernte erfolgte in der *Gelbreife*. Bei der Erkennung dieses Stadiums konnten wir nur zum Teil auf die bekannte Nagelprobe abstellen; dafür wurde neben der Beurteilung der Halm- und Blattmerkmale (gelbe Halme, vergilbte Blattscheiden und -spreiten, untere Knoten eingeschrumpft, obere noch saftig) besonders auf das Verschwinden des grünen Farbstoffs aus der Furchenpartie des Kornes geachtet (vgl. Nowacki, 1905). Die letzte Ernte *(Vollreife)* wurde nach dem völligen Erhärten der Körner vorgenommen. Die Erhärtung erfolgte meistens ungefähr gleichzeitig mit dem Zusammenschrumpfen und der braunen Verfärbung der oberen Blattknoten. Eine Ausnahme von dieser Regel machte sich bei den mittelspäten Saaten geltend; hier fielen die oberen Knoten schon mehrere Tage vor der durch regnerisches Wetter verzögerten Austrocknung der Körner der Vermorschung anheim.

4. Die Gewinnung und Verarbeitung des Körnermaterials.

Die abgeschnittenen Aehren wurden in weiten, mit eingeschliffenem Deckel versehenen Standgläsern gesammelt, ins Laboratorium gebracht und unter Inanspruchnahme einer grösseren Zahl von Hilfskräften möglichst rasch entkörnt. Um vergleichbare Proben zu erhalten, wurden grundsätzlich alle Körner, auch die weniger entwickelten der dritten und vierten Blüten der Aehrchen, berücksichtigt; in Wegfall kamen lediglich einzelne von der Weizengallmücke befallene oder sonstwie beschädigte Karyopsen. Das gewonnene Material wurde in grossen Wägegläschen gesammelt und diese fortlaufend in einen auf zirka 4° C eingestellten Kühlschrank gebracht. Nachdem die erforderlichen Körner beisammen waren, wurde ihnen eine kleinere Probe zur Bestimmung des Wassergehaltes und eine grössere, 8—10 g Trockensubstanz entsprechende Probe zur Ermittlung der proteolytischen Aktivität entnommen. Die Hauptmenge des gewonnenen Materials wurde nach erfolgter Wägung während 8—10 Stunden im Vakuum bei 60° C getrocknet und hernach in geschlossenen, mit Paraffin abgedichteten Standgläsern aufbewahrt. Vor der weiteren Verarbeitung wurden die Körner gezählt, gewogen und in einer Teilprobe der Trockensubstanzgehalt, der meistens etwa 91—94 % betrug, ermittelt. Auf diesen Feststellungen fusst die Berechnung des Trockengewichtes von 1000 Körnern. Das Körnermaterial wurde schliesslich in einer « Perl »-Mühle, wie sie in unserem Mahl- und Backlaboratorium zur Herrichtung der zur Kleberauswaschung bestimmten Proben Verwendung findet, gemahlen und das erhaltene Mehl für die in Frage kommenden Analysen verwendet. Nach dem Vermahlen wurde der Trockensubstanzgehalt nochmals ermittelt; der so ge-

wonnene Wert diente zur Umrechnung der später bei der Analyse des Mehls erhaltenen Zahlen auf Trockensubstanz.

Zur Ergänzung der an den ganzen Körnern ermittelten Resultate suchten wir bei zwei Versuchsserien einen Einblick in die in den einzelnen Teilen stattfindenden Veränderungen zu gewinnen. Zu diesem Zwecke wurden in fünf verschiedenen Entwicklungsstadien je 1000 Körner in Embryo- und Endospermteil zerlegt und innerhalb des letzteren eine weitere Unterteilung in eine untere, dem Embryo anliegende, und eine obere Hälfte vorgenommen. Die getrennte Untersuchung der beiden Endospermhälften war von Interesse, weil nach den mikroskopischen Untersuchungen von Brenchley (1909) und Percival (1921) die Stärkeeinlagerung im distalen Teil des Kornes frühzeitiger beginnt und früher zum Abschluss gelangt als in den dem Embryo anliegenden Partien des Endosperms. Von einer getrennten Untersuchung der Frucht- und Samenschale wurde abgesehen, da diese mit den angrenzenden Geweben des Endosperms und in den letzten Reifestadien auch mit denjenigen des Embryos sehr innig verwachsen sind und sich mit genügender Exaktheit nur schwer abpräparieren lassen. Auch ohne Loslösung der Frucht- und Samenschale erforderte die Trennung in Embryo- und Endospermteil verhältnismässig viel Zeit, und es wurde, um Stoffumsetzungen nach Möglichkeit zu vermeiden, jeweils nur eine kleine Körnerprobe dem Kühlschrank entnommen und die in kleinen Wägegläschen gesammelten Teile möglichst rasch wieder in die tiefe Temperatur zurückgebracht. Die Weiterverarbeitung erfolgte in ähnlicher Weise wie bei den ganzen Körnern, nur mit dem Unterschied, dass die fettreichen Embryonen nicht mit der Mühle, sondern im Porzellanmörser zerkleinert wurden.

Zum Schluss sei noch kurz darauf hingewiesen, dass die Trocknung im Vakuum bei 60° C sich nach unsern Beobachtungen zur Konservierung von Weizenkörnern bedeutend besser eignet als die Trocknung in einem auf die gleiche Temperatur eingestellten gewöhnlichen Trockenschrank. Beim letztgenannten Verfahren erfolgte die Wasserabgabe selbst bei guter Luftzirkulation so langsam, dass noch bedeutende Stoffumsetzungen nachweisbar waren.

Ausser der Trocknung wurde in Vorversuchen auch die Behandlung mit siedendem Alkohol geprüft. Die Aufbewahrung in Alkohol kam zwar in unserem Fall, wo eine Bestimmung der verschiedenen Gruppen löslicher Stickstoffverbindungen vorgesehen war, von vornherein nicht in Frage, da die Aminosäuren in alkoholischer Lösung nicht unbeträchtliche Mengen Ammoniak abspalten (vgl. Stuart, 1935). Es bestand aber die Möglichkeit, den Alkohol nur kurze Zeit zur Abtötung der Enzyme einwirken zu lassen, um später, nach erfolgter Eindunstung des Alkohols, das Material trocken aufzubewahren. Dieses Verfahren hatte

Tabelle 2.

Frischgewicht von 1000 Körnern im Laufe der Entwicklung.

A. Huronweizen	13	21	28	35	40	41	42	43	44	46	51	Tage nach Beginn der Blüte
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Herbstsaat	25.14 [1]	50.85	56.85	63.43	—	56.93	—	—	50.76	—	—	
Frühsaat	32.33	48.53	58.07	63.50	51.25	—	—	44.40	—	—	—	
Mittelspäte Saat	20.21	42.16	54.63	59.66	—	52.12	—	—	—	51.81	42.53	
Spätsaat	28.50	42.18	54.20	50.28	—	—	42.41	—	35.36	—	—	
B. Marquisweizen	11	19	26	33	41	43	—	44	45	49	51	Tage nach Beginn der Blüte
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühsaat	26.62	41.30	52.01	60.04	47.53	—	—	41.48	—	—	—	
Mittelspäte Saat	18.87	39.08	53.99	61.18	—	52.21	—	—	—	45.82	40.50	
Spätsaat	25.01	43.82	58.21	56.85	—	43.91	—	—	34.88	—	—	
C. Strickhofweizen	11	18	26	33	40	—	—	44	—	—	—	Tage nach Beginn der Blüte
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
nicht gelagert	30.58	43.41	55.60	65.03	61.70	—	—	46.64	—	—	—	
vom 13. Tag an gelagert	30.58	44.43	53.64	62.07	55.69	—	—	39.92	—	—	—	
					Gelbreife			Vollreife				

[1] geerntet nach 11 Tagen

jedoch den Nachteil, dass der aus der alkoholischen Lösung zurückgewonnene Anteil sich mit dem unlöslichen Rückstand nur schwer in homogene Mischung bringen liess. Zudem war die Trennung von Eiweiss- und Nichteiweiss-Stickstoff beim alkoholbehandelten Material mit bedeutenden Schwierigkeiten verbunden. Wir gaben daher für unsere Hauptversuche der Vakuumtrocknung den Vorzug.

III. Die Veränderung von Frischgewicht, Wassergehalt und Trockengewicht.

1. Frischgewicht.

Die stofflichen Veränderungen, die mit der Entwicklung des Weizenkornes zusammenhängen, äussern sich zunächst in einem kontinuierlichen Ansteigen des Frischgewichtes. Die Gewichtszunahme hielt in den meisten unserer Versuchsserien an bis zu der der Gelbreife vorangehenden Probeentnahme, um sodann mit dem Uebergang zur Gelb- und Vollreife einem ziemlich raschen und anhaltenden Gewichtsrückgang Platz zu machen (Tab. 2 und Fig. 2). Ein etwas abweichender Verlauf machte sich einzig bei den Spätsaaten geltend, wo das Höchstgewicht infolge des frühzeitigen Absterbens der Assimilationsorgane schon ungefähr 4 Wochen nach der Blüte erreicht wurde.

Aehnlich wie die als Ganzes untersuchten Körner nahmen auch Embryo- und Endospermteil bis etwa eine Woche vor der Gelbreife an Gewicht zu (Tab. 3). Hinsichtlich der Geschwindigkeit der Gewichtszunahme unterschied sich aber der Embryo nicht unwesentlich vom

Tabelle 3.

Veränderung des Frischgewichtes von Embryo- und Endospermteil.

Strickhofweizen			Huronweizen		
Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Frischgewicht von 1000 Stück in g		Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Frischgewicht von 1000 Stück in g	
	Embryoteil	Endospermteil		Embryoteil	Endospermteil
19	0.883	52.76	21	1.174	47.84
26	1.914	60.77	28	1.832	50.80
33	2.489	64.22	35	2.891	58.85
40 (Gelbreife)	2.416	55.59	41 (Gelbreife)	1.883	46.27

Anmerkung. Die im Stadium der Vollreife geernteten Körner wurden, um eine einwandfreie Trennung in Embryo- und Endospermteil zu ermöglichen, ca. 19 Stunden in destilliertem Wasser von 5° C eingequollen; Frischgewicht und Wassergehalt der einzelnen Teile des Kornes konnten daher für das Stadium der Vollreife nicht festgestellt werden.

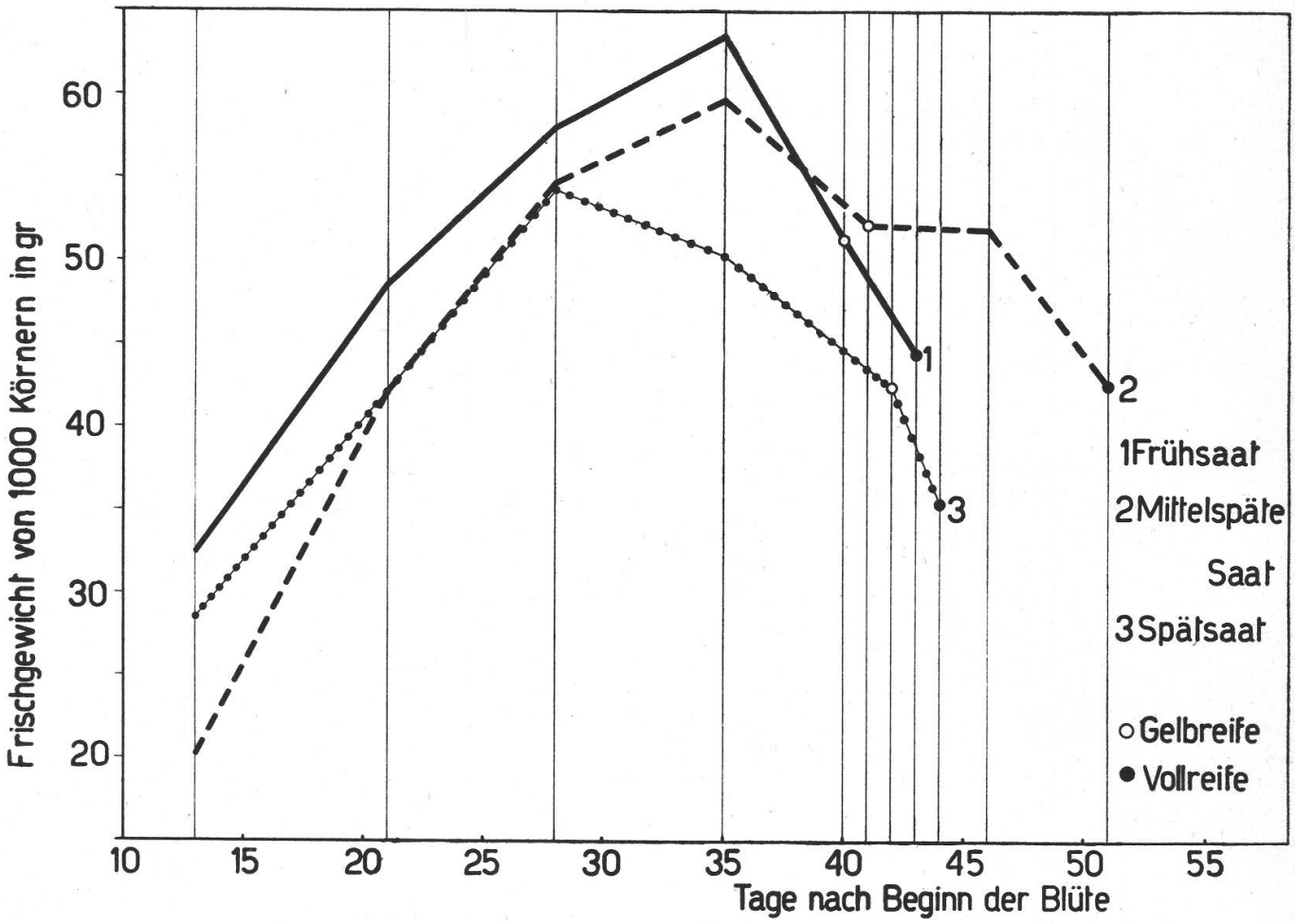


Fig. 2.
Frischgewicht der Körner von Huronweizen im Laufe der Entwicklung.

Endospermteil. Während letzterer 19 bzw. 21 Tage nach Beginn der Blüte bereits mehr als ¾ des Höchstgewichtes erreicht hatte, betrug das Gewicht der Embryonen im gleichen Zeitpunkt erst ⅓ bzw. ⅖ des 14 Tage später erreichten Maximums. Die von andern Autoren (Nowacki, 1870; Brenchley, 1909; Percival, 1921; Günther, 1927) durch mikroskopische Prüfung festgestellte Tatsache, dass das Endosperm dem Embryo in der Entwicklung vorauseilt, findet demnach in unsern Versuchen ihre zahlenmässige Bestätigung.

2. *Wassergehalt.*

Wie bei allen Samen, geht auch beim Weizenkorn der *prozentuale Wassergehalt* mit fortschreitender Entwicklung und Reife zurück (siehe Tab. 4 und Fig. 3). Dieser Rückgang hängt damit zusammen, dass die Masse der Reservestoffe mehr und mehr zunimmt, während der Anteil des lebenden Protoplasmas, bezogen auf das Gesamtgewicht, fortlaufend geringer wird. Die einzelnen Versuchsserien unterscheiden sich insofern voneinander, als bei langsamer Entwicklung (mittelspäte Saat von

Tabelle 4.

Wassergehalt der Weizenkörner im Laufe der Entwicklung.

(Die Werte beziehen sich auf das Frischgewicht.)

A. Huronweizen	13	21	28	35	40	41	42	43	44	46	51	Tage nach Beginn der Blüte
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Herbstsaat	72.4 [1]	58.0	49.4	43.4	—	37.4	—	—	27.7	—	—	
Frühsaat	71.1	63.0	52.2	45.5	32.1	—	—	20.8	—	—	—	
Mittelspäte Saat	74.3	65.8	56.2	45.7	—	34.4	—	—	—	33.0	18.8	
Spätsaat	73.8	57.5	48.0	40.4	—	—	31.5	—	20.8	—	—	
B. Marquisweizen	11	19	26	33	41	43	—	44	45	49	51	Tage nach Beginn der Blüte
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Frühsaat	71.2	62.6	54.5	48.6	31.2	—	—	20.2	—	—	—	
Mittelspäte Saat	74.1	69.0	59.8	50.5	—	37.7	—	—	—	29.0	20.1	
Spätsaat	75.3	64.5	54.8	49.0	—	33.4	—	—	20.8	—	—	
C. Strickhofweizen	11	18	26	33	40	—	—	44	—	—	—	Tage nach Beginn der Blüte
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
nicht gelagert	71.2	64.1	54.3	46.9	39.8	—	—	19.7	—	—	—	
vom 13. Tag nach der Blüte an gelagert	71.2	63.1	53.3	46.0	37.7	—	—	16.8	—	—	—	
					Gelbreife			Vollreife				

[1] geerntet 11 Tage nach Beginn der Blüte

Huron und Marquis) die Verminderung des Wassergehaltes etwas verzögert, bei raschem Ausreifen (z. B. beim spät gesäten Huronweizen von der dritten Woche an) dagegen beschleunigt wird. Der Wassergehalt der wachsenden Körner kann als geeigneter Maßstab für den Entwicklungszustand gelten, dies um so eher, als er nach unsern Beobachtungen durch die bei der Probeentnahme herrschende Witterung (Niederschläge, Luftfeuchtigkeit) im allgemeinen nur unwesentlich beeinflusst wird.[1] Dies gilt aber nur solange, als die Stoffeinwanderung anhält; die mit dem eigentlichen Abreifen zusammenhängende Wasserabgabe ist dagegen in starkem Masse von den meteorologischen Verhältnissen abhängig. So sank der Wassergehalt beim Strickhofweizen, der Ende Juli bei trockenem, warmem Wetter ausreifte, in 4 Tagen von 40 auf 20 % bzw. von 38 auf 17 %, während beim mittelspät gesäten Huronweizen, der am 8. August gelbreif wurde, der Wassergehalt infolge feuchtkühler Witterung tagelang auf ungefähr gleicher Höhe blieb und erst am 18. August auf 19 % zurückging. Dieses Verhalten ist ohne weiteres erklärlich; denn es handelt sich beim Uebergang von der Gelb- zur Vollreife — im Gegensatz zu den früheren Entwicklungsstadien — im wesentlichen um ein passives Austrocknen, das bei trockener und warmer Witterung sehr rasch, bei hoher Luftfeuchtigkeit und regnerischem Wetter dagegen nur langsam, resp. mit längeren oder kürzeren Unterbrüchen vor sich geht.

Der Wassergehalt zur Zeit der Gelbreife schwankte zwischen 31 und 40 %. Vergleichsweise sei erwähnt, dass Nowacki (1870) für dasselbe Stadium einen Wassergehalt von durchschnittlich 25.7 % und Forgwer (1906) einen solchen von 26—35 % feststellte. Dass die zwischen den einzelnen Versuchsserien zutage tretenden Unterschiede nicht etwa auf der ungleichen Beurteilung des Reifezustandes oder auf Zufälligkeiten der Probeentnahme beruhen, geht aus folgenden ergänzenden Beobachtungen hervor. Beim frühgesäten Huronweizen enthielten am 31. Juli die untersten Körner der Aehren auf der Furchenseite durchwegs noch grünen Farbstoff. Der Wassergehalt betrug in diesem Stadium, das noch keineswegs als gelbreif angesprochen werden konnte, 39 %, also ungefähr gleichviel wie bei den in der Gelbreife geernteten Proben des Strickhofweizens und des mittelspät gesäten Marquisweizens. Ein nur wenig höherer Wassergehalt, nämlich 42 %, konnte beim frühgesäten Marquisweizen zwei Tage vor der Gelbreife — hier enthielten Körner und Spelzen noch Chlorophyll, und der Korninhalt war von teigiger Konsistenz — festgestellt werden.

---

[1] Ausgesprochener Wassermangel kann natürlich auch den Wassergehalt der Körner in Mitleidenschaft ziehen und zur Notreife führen. Wenn umgekehrt die in Entwicklung begriffenen Weizenkörner selbst nach starken Niederschlägen keinen merklich erhöhten Wassergehalt aufweisen, so erklärt sich dies wenigstens zum Teil aus der schweren Benetzbarkeit der Oberfläche der jungen Körner.

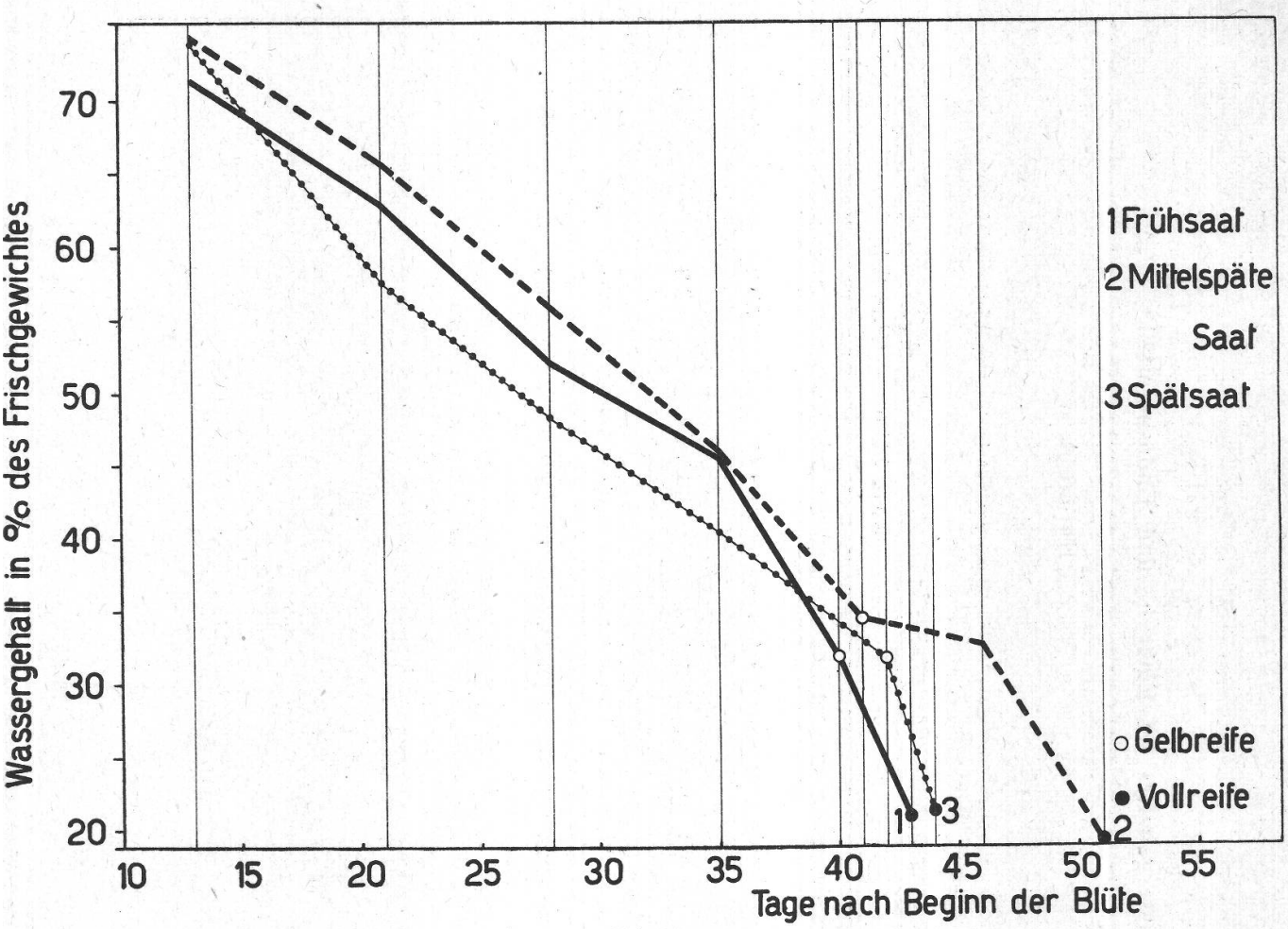


Fig. 3.
Wassergehalt der Körner von Huronweizen im Laufe der Entwicklung.

Es zeigt sich also, dass das Stadium der Gelbreife nicht durch einen bestimmten, eng umgrenzten Feuchtigkeitsgehalt der Körner gekennzeichnet ist. Dies ist verständlich, wenn wir bedenken, dass es sich bei den äusseren Merkmalen der Gelbreife in der Hauptsache um das Resultat von Absterbeerscheinungen handelt, deren Ablauf durch eine Reihe von Faktoren, also keineswegs durch den Wassergehalt allein bestimmt wird. Zudem darf nicht übersehen werden, dass im Moment, wo die zuletzt reifenden, unteren Körner der Aehren ihren letzten grünen Farbstoff verlieren, die oberen in der Reife bereits weiter fortgeschritten sind (vgl. Nowacki, 1870); der Wassergehalt der in der Gelbreife geernteten Proben, welcher einen Durchschnittswert darstellt, kann daher auch durch die Gleichmässigkeit des Abreifens wesentlich beeinflusst werden.

Die einzelnen Teile des Weizenkornes unterscheiden sich hinsichtlich des Wassergehaltes insofern, als der Embryo während der ganzen Entwicklung bedeutend wasserreicher ist als das Endosperm (Tab. 5). Dagegen liess sich zwischen der unteren, dem Embryo angrenzenden und der oberen Hälfte des Endospermteils kein Unterschied feststellen.

Tabelle 5.

Veränderung des Wassergehaltes im Embryo- und Endospermteil.

Strickhofweizen				Huronweizen				
Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Wassergehalt in % des Frischgewichtes			Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Wassergehalt in % des Frischgewichtes			
	Embryoteil	Endospermteil, untere Hälfte	Endospermteil, obere Hälfte		Embryoteil	Endospermteil, untere Hälfte	Endospermteil, obere Hälfte	Ganze Körner
19	63.9	59.5	57.8	21	70.4	60.4	59.0	60.8
26	57.1	49.0	49.1	28	55.4	46.9	46.9	52.6
33	48.0	39.8	40.9	35	54.5	43.6	43.1	44.4
40 (Gelbreife)	42.8	29.6	30.8	41 (Gelbreife)	29.2	22.9	24.3	26.1

Tabelle 6.

Absoluter Wassergehalt der Weizenkörner im Laufe der Entwicklung.

(Ausgedrückt in g H_2O pro 1000 Körner.)

A. Huronweizen	13	21	28	35	40	41	42	43	44	46	51	Tage nach Beginn der Blüte
Herbstsaat	18.20[1]	29.52	28.08	27.55	—	21.29	—	—	14.09	—	—	
Frühsaat	23.00	30.57	30.29	28.87	16.46	—	—	9.24	—	—	—	
Mittelspäte Saat	15.02	27.76	30.68	27.28	—	17.93	—	—	—	17.11	8.02	
Spätsaat	21.03	24.24	26.00	20.32	—	—	13.36	—	7.36	—	—	
B. Marquisweizen	**11**	**19**	**26**	**33**	**41**	**43**	**—**	**44**	**45**	**49**	**51**	**Tage nach Beginn der Blüte**
Frühsaat	18.95	25.85	28.34	29.19	14.84	—	—	8.36	—	—	—	
Mittelspäte Saat	13.98	26.97	32.27	30.95	—	19.70	—	—	—	13.27	8.12	
Spätsaat	18.83	28.26	31.88	27.86	—	14.65	—	—	7.25	—	—	
C. Strickhofweizen	**11**	**18**	**26**	**33**	**40**	**—**	**—**	**44**	**—**	**—**	**—**	**Tage nach Beginn der Blüte**
nicht gelagert	21.77	27.82	31.20	30.52	24.54	—	—	9.18	—	—	—	
vom 13. Tag nach Beginn der Blüte an gelagert	21.77	28.02	28.63	28.57	20.97	—	—	6.73	—	—	—	
					Gelbreife			Vollreife				

[1] geerntet 11 Tage nach Beginn der Blüte

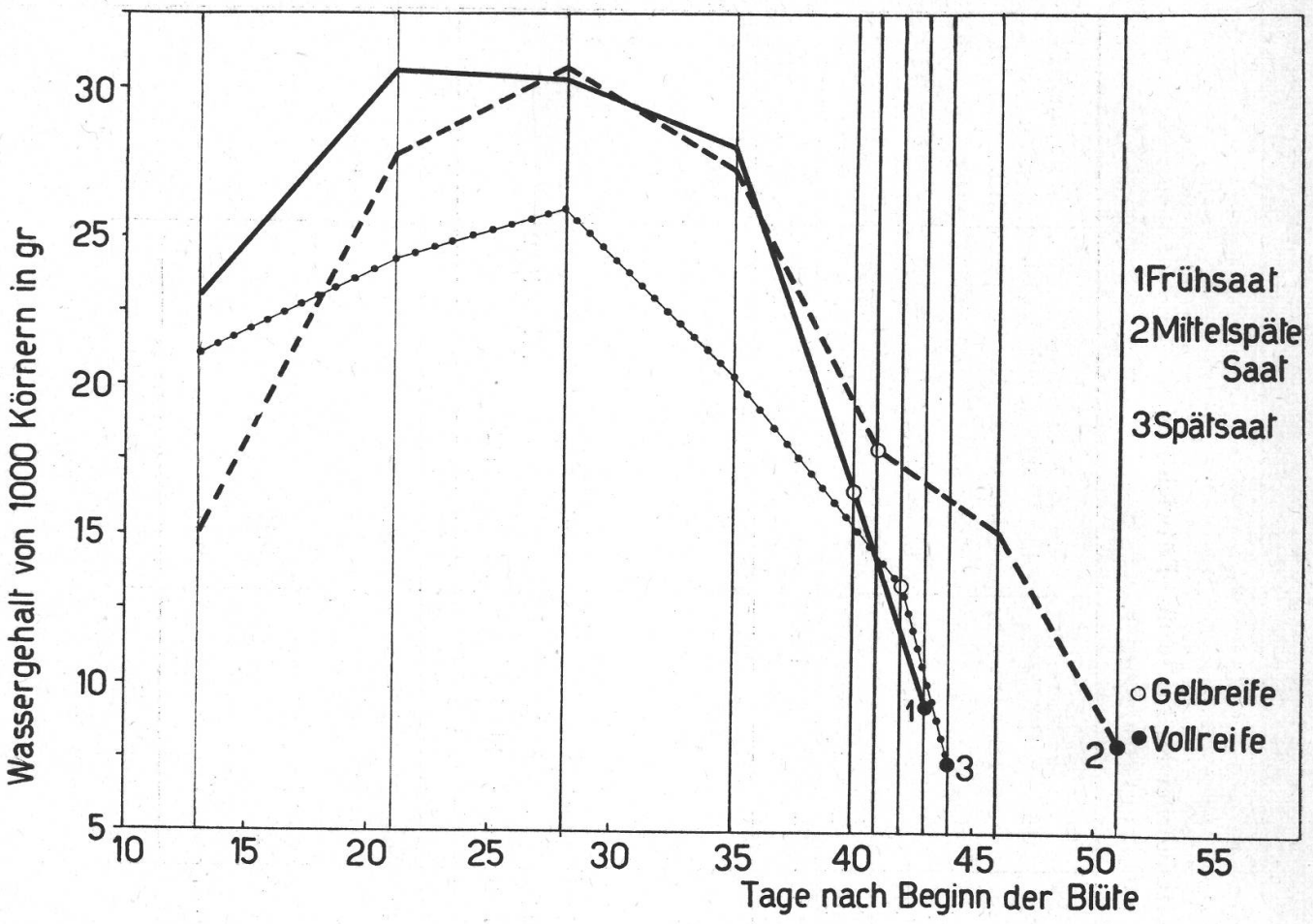


Fig. 4.
Absoluter Wassergehalt von 1000 Körnern von Huronweizen im Laufe der Entwicklung.

Einen charakteristischen Verlauf nimmt, wie aus Tab. 6 und Fig. 4 hervorgeht, der auf 1000 Körner berechnete *absolute Wassergehalt*. Dieser steigt zunächst entsprechend dem Wachstum der Körner an; er bleibt sodann während der vierten und fünften Woche in den meisten Versuchsserien auf annähernd der gleichen Höhe, um schliesslich mit dem Uebergang zur Gelb- und Vollreife mehr oder weniger rasch auf einen minimalen Wert zu sinken. Bemerkenswert ist die schon von Brenchley und Hall (1909) festgestellte und später auch von Woodman und Engledow (1924) und McCalla und Newton (1935) bestätigte Tatsache, dass der absolute Wassergehalt während längerer Zeit, und zwar gerade während der Periode der intensivsten Reservestoffeinlagerung, annähernd konstant bleibt. Dieses Verhalten beruht möglicherweise darauf, dass von der frühen Milchreife an bis etwa eine Woche vor der Gelbreife zwar eine Menge Reservestoffe, namentlich Stärke, deponiert werden, dass aber dabei allem Anschein nach die lebende Substanz weder nennenswert vermehrt noch vermindert wird. Dies gilt allerdings nur für das Korn als Ganzes bzw. für das

Tabelle 7.

Absoluter Wassergehalt von Embryo- und Endospermteil im Laufe der Entwicklung.

Strickhofweizen			Huronweizen		
Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Wassergehalt von 1000 Stück in g		Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Wassergehalt von 1000 Stück in g	
	Embryo-teil	Endosperm-teil		Embryo-teil	Endosperm-teil
19	0.564	30.95	21	0.827	28.58
26	1.093	29.81	28	1.015	23.83
33	1.195	25.95	35	1.574	25.52
40 (Gelbreife)	1.034	16.81	41 (Gelbreife)	0.549	10.94

Endosperm. Im Embryo ist bis zuletzt mit einer Vermehrung lebender Gewebe zu rechnen, und es wird denn auch der höchste absolute Wassergehalt im Embryo erst kurz vor der Gelbreife erreicht (Tab. 7).

3. *Das Trockengewicht.*

In der Veränderung des Trockengewichtes kommt *die Gesamtmenge der ins Getreidekorn einwandernden Stoffe* am deutlichsten zum Ausdruck. Unsere diesbezüglichen Feststellungen sind in Tab. 8 niedergelegt und teilweise in Fig. 5 veranschaulicht. Das Trockengewicht von 1000 Körnern stieg in der Regel bis ungefähr 5 Wochen nach der Blüte ziemlich gleichmässig an. In der der Gelbreife vorangehenden Woche vermehrte sich die Trockensubstanz nicht mehr oder nur noch wenig; nach der Gelbreife war überhaupt keine die Fehlergrenzen übersteigende Zunahme mehr zu beobachten.

Die Trockengewichtszunahme erfolgte bei den einzelnen Versuchsserien mit ungleicher Geschwindigkeit. Der Strickhofweizen und die Frühsaaten von Huron und Marquis, die bei trockener Witterung blühten und deren erste Entwicklung in eine Warmwetterperiode fiel, wiesen schon bei der ersten Probeentnahme ein beträchtliches Tausendkorngewicht auf; auch die weitere Zunahme an Trockenmasse vollzog sich ziemlich rasch und gleichmässig. Viel langsamer begann die Stoffeinwanderung bei den mittelspäten Saaten. Das Trockengewicht von 1000 Körnern betrug hier bei der ersten Ernte nur 5.19 bzw. 4.89 g, d. h. weniger als ⅔ des Gewichtes der im gleichen Zeitpunkt (13 bzw. 11 Tage nach Beginn der Blüte) geernteten Körner der Frühsaaten. Diese langsame Trockengewichtszunahme hängt ohne Zweifel mit der unmittelbar nach der Blüte einsetzenden kühlen, regnerischen Witterung zusammen. Die Körner der mittelspäten Saaten blieben gegenüber den gleichaltrigen der Frühsaaten auch weiterhin im Rückstand; erst Ende Juli machte die Stoffeinwanderung bei jenen so rasche Fortschritte, dass

Tabelle 8.

Trockengewicht von 1000 Körnern im Laufe der Entwicklung.

A. Huronweizen	13	21	28	35	40	41	42	43	44	46	51	Tage nach Beginn der Blüte
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Herbstsaat	6.94 [1]	21.33	28.77	35.88	—	35.64	—	—	36.67	—	—	
Frühsaat	9.33	17.96	27.78	34.63	34.79	—	—	35.16	—	—	—	
Mittelspäte Saat	5.19	14.40	23.95	32.38	—	34.19	—	—	—	34.70	34.51	
Spätsaat	7.47	17.94	28.20	29.96	—	—	29.05	—	28.00	—	—	
B. Marquisweizen	11	19	26	33	41	43	—	44	45	49	51	Tage nach Beginn der Blüte
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühsaat	7.67	15.45	23.67	30.85	32.69	—	—	33.12	—	—	—	
Mittelspäte Saat	4.89	12.11	21.72	30.23	—	32.51	—	—	—	32.55	32.38	
Spätsaat	6.18	15.56	26.33	28.99	—	29.26	—	—	27.63	—	—	
C. Strickhofweizen	11	18	26	33	40	—	—	44	—	—	—	Tage nach Beginn der Blüte
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
nicht gelagert	8.82	15.59	25.40	34.51	37.16	—	—	37.46	—	—	—	
vom 13. Tag nach der Blüte an gelagert	8.82	16.41	25.01	33.50	34.72	—	—	33.19	—	—	—	
					Gelbreife			Vollreife				

[1] geerntet nach 11 Tagen

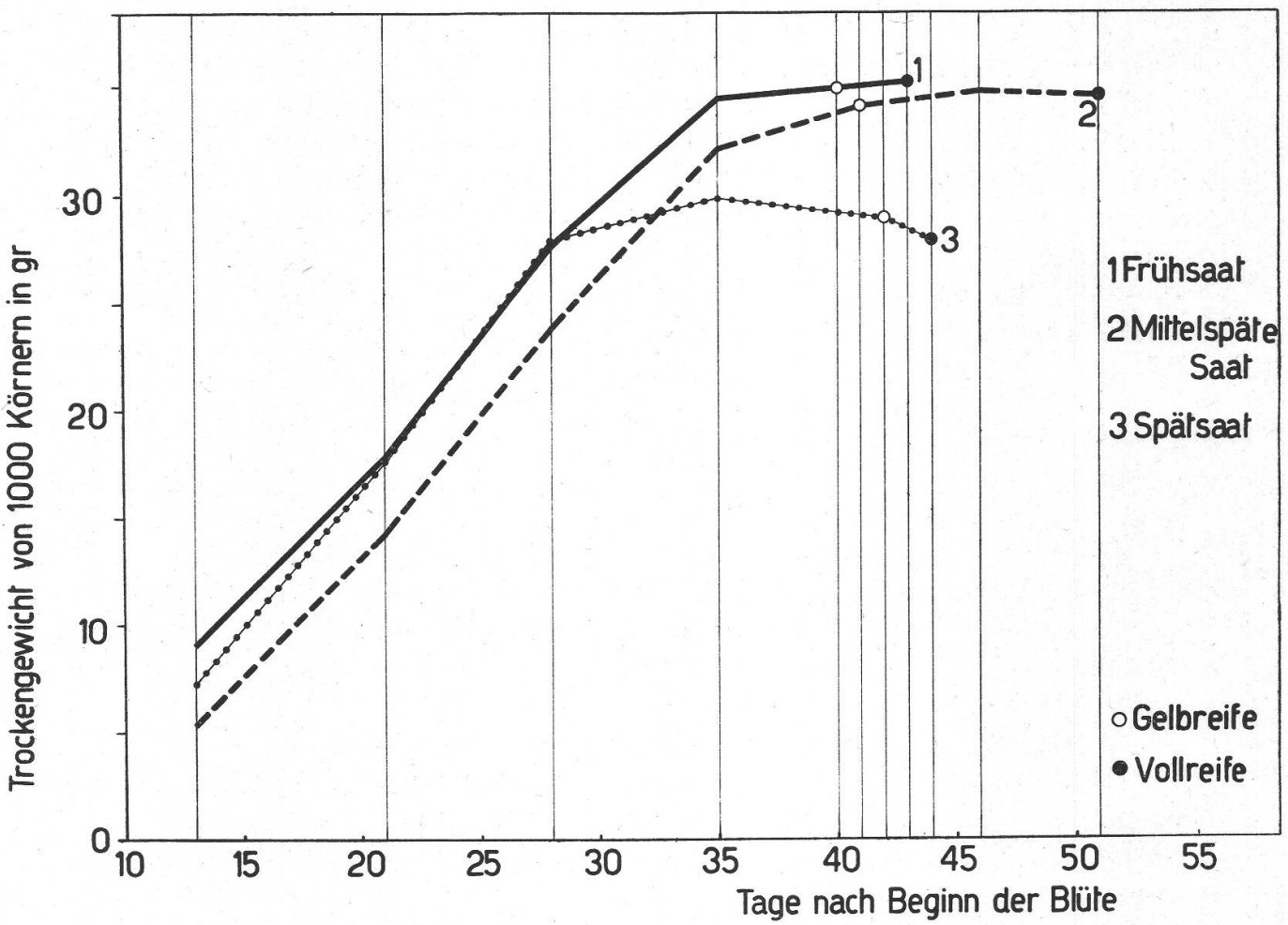


Fig. 5.
Trockengewicht der Körner von Huronweizen im Laufe der Entwicklung.

sie im Stadium der Gelbreife dem Gewicht nach nicht oder nur unbedeutend hinter den Körnern der frühgesäten Kulturen zurückblieben. Bei den Spätsaaten erfolgte die Trockengewichtszunahme anfänglich etwas langsam; in der dritten und vierten Entwicklungswoche hielt sie ungefähr mit derjenigen der Frühsaaten Schritt. Nach Ablauf der vierten Woche war die Stoffeinwanderung bei den Spätsaaten nur noch gering, und wenn sich auch das Ausreifen infolge der feuchtkühlen Witterung in die Länge zog, so blieben die Körner doch bedeutend kleiner als bei den frühen und mittelspäten Saaten. Für diese mangelhafte Ausbildung der Körner ist in erster Linie das frühzeitige Absterben der Assimilationsorgane verantwortlich zu machen. Beim Strickhofweizen machte sich gegen das Ende der Entwicklung der Einfluss der Lagerung bemerkbar. Von der fünften Woche an blieb das Tausendkorngewicht der Lagerfrucht mehr und mehr hinter dem des nichtgelagerten Weizens zurück, bis schliesslich zur Zeit der Vollreife der Unterschied etwa 4 g betrug. In diesem Manko kommt die infolge Lagerung gehemmte Stoffzufuhr deutlich zum Ausdruck.

Die starke Abhängigkeit der Trockengewichtszunahme von den äussern Bedingungen wird besonders augenfällig, wenn wir die Entwicklung des Marquisweizens von Nante mit zum Vergleich heranziehen. Dieser Weizen begann ungefähr am 20. August zu blühen; die Entwicklung fiel daher in eine überwiegend kühle Periode, sie wurde schliesslich durch die in der ersten Hälfte Oktober einsetzenden Fröste im Stadium der Milchreife unterbrochen. Das Trockengewicht von 1000 Körnern dieses Weizens, der sich übrigens durch guten Stand und kräftige Entwicklung auszeichnete, veränderte sich wie folgt:

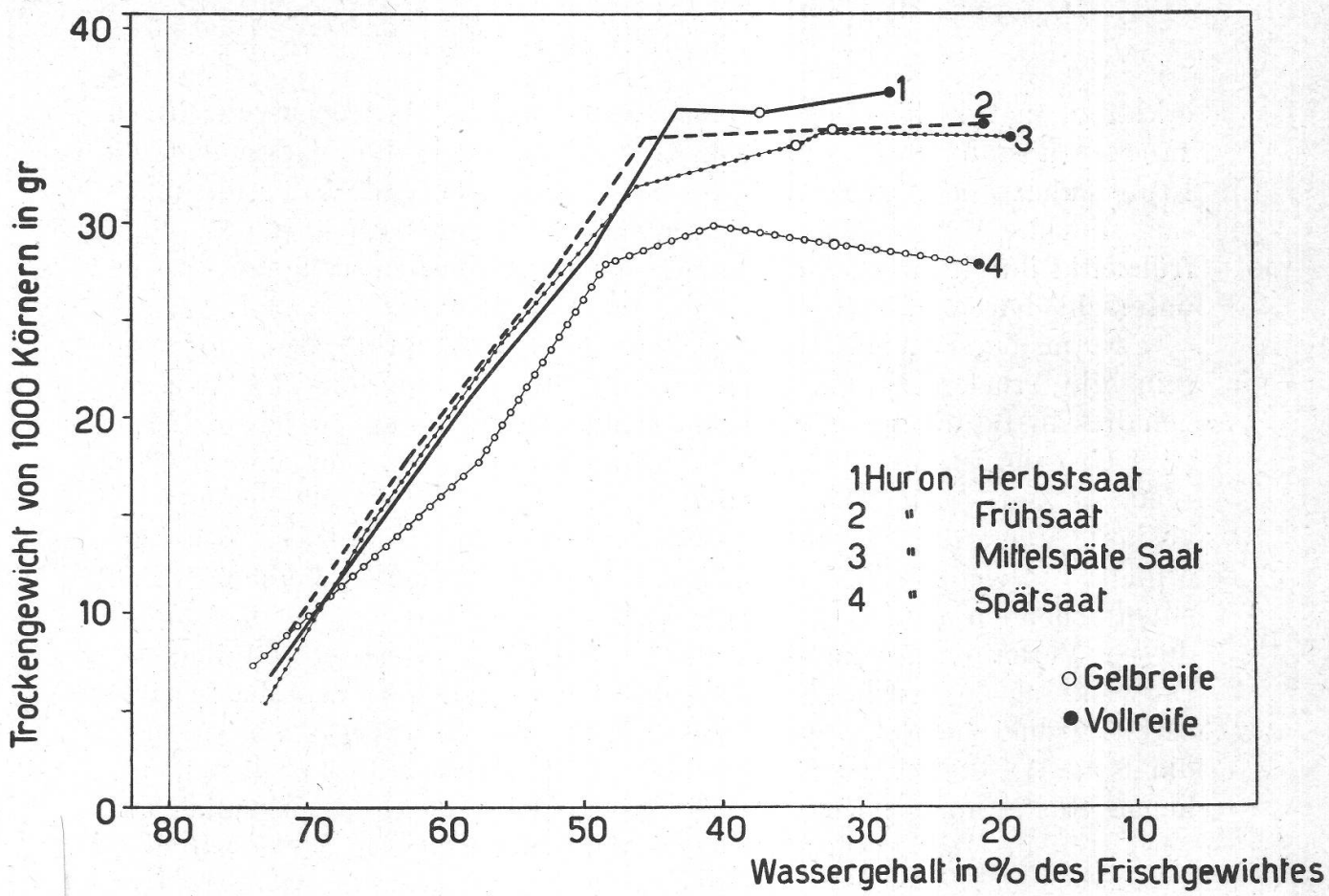
4. September	15. September	30. September	10. Oktober (Milchreife)
9.43 g	13.01 g	20.43 g	27.83 g

Bei diesem in grosser Höhenlage (1425 m ü. M.) angebauten Weizen waren zirka 50 Tage erforderlich, um Körner von ähnlichem Trockengewicht zu erzeugen, wie sie in Oerlikon in ungefähr einem Monat heranwuchsen.

Nach diesem allgemeinen Ueberblick über den Verlauf der Trockensubstanzeinwanderung soll nun noch näher untersucht werden, in welchem Reifestadium das Maximum an Trockenmasse erreicht wird. Die Festlegung dieses Stadiums ist im Hinblick auf die Ermittlung des zweckmässigsten Zeitpunktes der Ernte von so grossem Interesse, dass sich bereits eine Reihe älterer Untersuchungen mit diesem Gegenstand befassen. Wir erwähnen die Arbeiten von Hannon (1863), Siegert (1864) und insbesondere diejenige von Nowacki (1870), in welcher einwandfrei nachgewiesen wird, dass beim Weizen die Trockensubstanzzunahme in der Gelbreife zum Abschluss kommt. Diese Feststellung wurde später von Forgwer (1906) bestätigt; auch aus verschiedenen neueren Untersuchungen geht hervor, dass während der eigentlichen Austrocknungsperiode keine oder nur noch eine geringe Trockengewichtszunahme eintritt (Sounders, 1921; Arny und Sun, 1927; Woodman und Engledow, 1924; Mc Calla und Newton, 1935).[1]

In Uebereinstimmung mit den Angaben der Literatur war auch in unsern Versuchen die Trockengewichtszunahme zur Zeit der Gelbreife beendigt. Wenn die für das Stadium der Vollreife gefundenen Zahlen in einzelnen Fällen noch etwas höher ausfielen, so lässt sich dies ohne weiteres aus den unvermeidlichen Zufälligkeiten bei der Probeentnahme

[1] Im Gegensatz zum Weizen scheint beim Roggen auch nach dem Stadium, wo das Korn über dem Nagel bricht, noch eine Stoffwanderung stattzufinden (Lucanus, 1862; Forgwer, 1906). Dies hängt wohl damit zusammen, dass der Roggen in diesem Stadium noch wasserreicher ist als der Weizen.



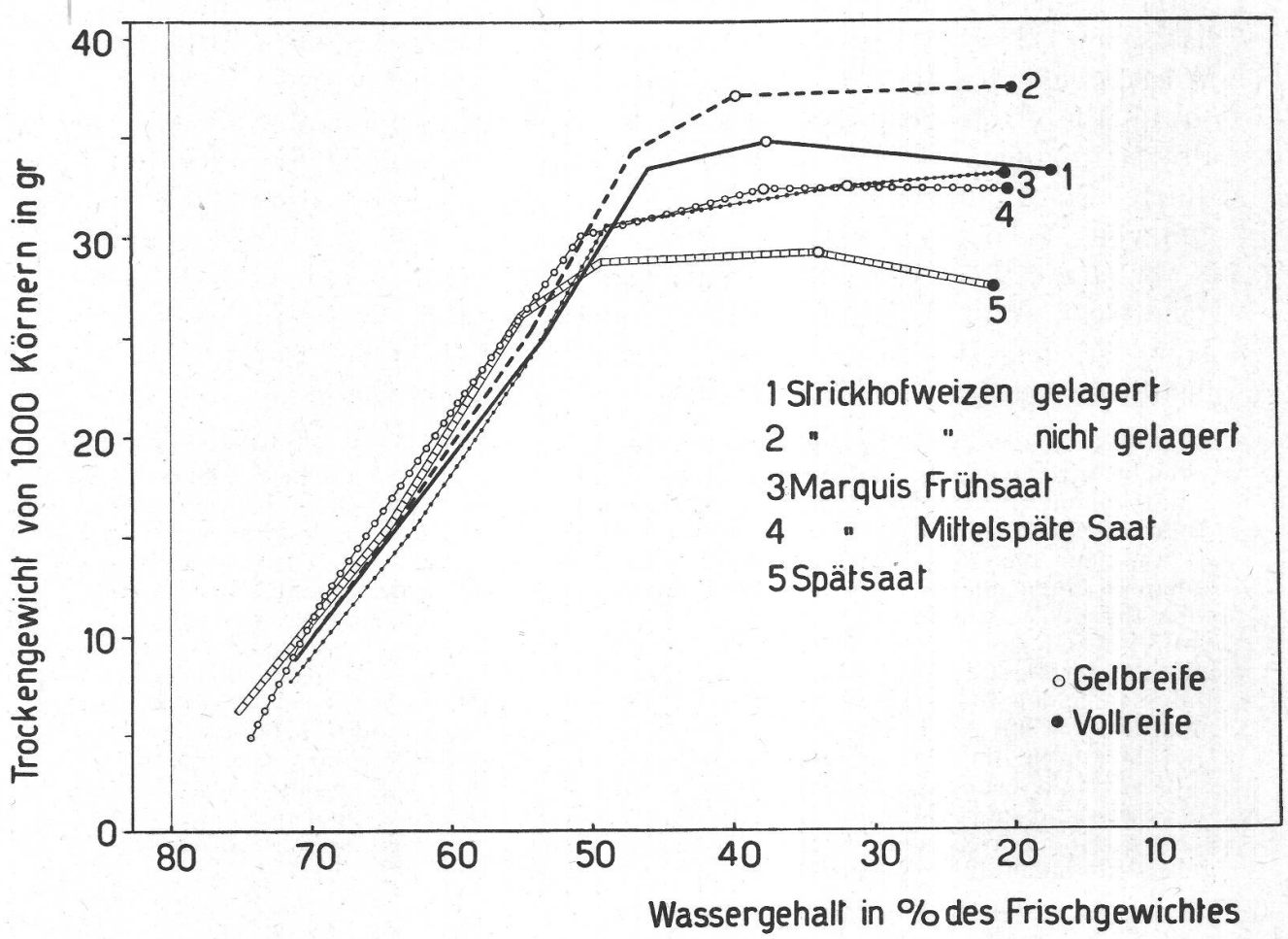


Fig. 6 und 7.
Trockengewicht von 1000 Körnern in Beziehung zum Wassergehalt.

erklären. In verschiedenen Versuchsserien wurde das Höchstgewicht an Trockensubstanz schon anlässlich der der Gelbreife vorangehenden Ernte nahezu oder ganz erreicht. Dies trifft insbesondere für die Spätsaat und die Herbstsaat des Huronweizens zu, die sich übrigens schon frühzeitig durch ihren niedrigen Wassergehalt von den übrigen Kulturen unterschieden (vgl. Tab. 4).

Es mag gerade im Hinblick auf diese Beobachtung von Interesse sein, die Trockengewichtszunahme mit der Veränderung des Wassergehaltes in Beziehung zu bringen. Der Zusammenhang zwischen diesen zwei Grössen ist, wie die Figuren 6 und 7 zeigen, ein sehr enger. Während der Zeit, da der Wassergehalt von etwas über 70 % bis gegen 40 % absinkt, steigt das Trockengewicht fast geradlinig an. Diese Zunahme erfolgt so gleichmässig, dass sich die den verschiedenen Versuchsserien entsprechenden Kurven in ihrem ansteigenden Teil nahezu decken. In diesem Verhalten kommt deutlich zum Ausdruck, dass der während der Entwicklung des Kornes eintretende Rückgang des Wassergehaltes, wie bereits früher bemerkt, eine direkte Folge der Reservestoffeinlagerung darstellt. Wesentlich anders liegen die Verhältnisse während der eigentlichen Ausreifungsperiode, wo die Trockengewichtskurven ziemlich unvermittelt ins Waagrechte umbiegen. Dieser Verlauf deutet darauf hin, dass die Trockengewichtszunahme bei einem bestimmten Wassergehalt verhältnismässig rasch zum Stillstand kommt. Auf diese Erscheinung hat schon Olson (1923) hingewiesen. Nach Olson liegt der kritische Wassergehalt bei 40 %, einem Zahlenwert, der auch für unser Material, soweit die etwas grossen Abstände zwischen den aufeinanderfolgenden Probeentnahmen einen solchen Schluss zulassen, ungefähr zutreffen dürfte. Ein ähnlicher Grenzwert ergibt sich auch aus den Untersuchungen von Woodman und Engledow (1924) und McCalla und Newton (1935). Wir können daher annehmen, dass bei einem Wassergehalt von zirka 40 % die Stoffeinwanderung aufhört, bzw. nur noch so gross ist, dass sie die durch die Atmung hervorgerufenen Substanzverluste dem Gewicht nach ungefähr auszugleichen vermag.[1]

[1] Bei diesem Wassergehalt handelt es sich um den Durchschnittswert, der erreicht wird, wenn in der ganzen Aehre die Trockensubstanzzunahme zum Stillstand kommt. In diesem Stadium liegt aber bei den zuerst reifenden Körnern der Aehre das Ende der Stoffeinlagerung bereits einige Zeit zurück. Es ist daher damit zu rechnen, dass das einzelne Korn im Moment des Abschlusses der Gewichtszunahme einen noch etwas höheren Wassergehalt besitzt. Der zahlenmässige Nachweis für diese Annahme ist allerdings schwer zu erbringen, da der Verlauf der Stoffeinwanderung nicht an ein und demselben Individuum, sondern nur durch aufeinanderfolgende Beobachtung verschiedener Individuen verfolgt werden kann. Indessen haben Harlan und Pope (1923) auf indirektem Wege schliessen können, dass bei der Nacktgerste «Jet», wo sich das Ende der Funktionsfähigkeit der Gewebe durch die Bildung eines schwarzen Pigmentes im Perikarp anzeigt, die Substanzeinlagerung in die einzelnen Körner bei einem Wassergehalt von 46 % zum Stillstand kam, während im Zeitpunkt, wo die Trockengewichtszunahme in den zuletzt reifenden Körnern der Aehre beendigt war, der durchschnittliche Wassergehalt nur noch 42 % betrug.

Tabelle 9.

Veränderung des Trockengewichtes von Embryo- und Endospermteil.

Strickhofweizen					Huronweizen				
Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Trockengewicht von 1000 Stück in g		Trockengewicht in % des Höchstgewichtes		Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Trockengewicht von 1000 Stück in g		Trockengewicht in % des Höchstgewichtes	
	Embryoteil	Endospermteil	Embryoteil	Endospermteil		Embryoteil	Endospermteil	Embryoteil	Endospermteil
19	0.319	21.81	23.08	56.24	21	0.347	19.26	25.78	54.51
26	0.821	30.96	59.41	79.83	28	0.817	26.97	60.70	76.34
33	1.294	38.27	93.63	98.68	35	1.317	33.33	97.84	94.34
40 (Gelbreife)	1.382	38.78	100.00	100.00	41 (Gelbreife)	1.334	35.33	99.11	100.00
44 (Vollreife)	1.376	37.56	99.57	96.85	44 (Vollreife)	1.346	34.69	100.00	98.19

Zum Schluss soll das Trockengewicht der einzelnen Teile des Weizenkornes noch kurz erörtert werden (siehe Tab. 9). Hier fällt zunächst das geringe Gewicht der Embryonen in den frühen Entwicklungsstadien auf. Das Trockengewicht der Embryonen betrug 19 bzw. 21 Tage nach Beginn der Blüte erst ¼, dasjenige des Endospermteils dagegen schon mehr als die Hälfte des im reifen Zustand erreichten Gewichtes. Aus dieser Beobachtung geht noch deutlicher als aus der Betrachtung des Frischgewichtes hervor, dass *das Endosperm dem Embryo in der Entwicklung vorauseilt.* Da der Embryo im Stadium der Milchreife (26 bzw. 28 Tage nach Beginn der Blüte), wo das äussere Wachstum der Körner abgeschlossen ist, erst 60 % des maximalen Trockengewichtes erreicht hat, ist es ohne weiteres verständlich, dass er gegen das Ende der Entwicklung den Inhalt der angrenzenden Endospermzellen resorbiert und von diesen nur die Zellwände zurücklässt, die im mikroskopischen Bild des reifen Kornes als Schicht zusammengedrückter Endospermzellen erkennbar sind (vgl. Brown und Morris, 1890; Günther, 1927). Während der der Gelbreife vorangehenden Woche war die Trockengewichtszunahme sowohl im Embryo- als auch im Endospermteil nur noch gering. Nach der Gelbreife blieb das Trockengewicht der Embryonen unverändert; dagegen machte sich im Endospermteil eine leichte Gewichtsverminderung bemerkbar. Wie für das *Weizenkorn als Ganzes* gilt daher auch für den *Embryo-* und *Endospermteil* die Regel, dass *die Trockensubstanzzunahme im Stadium der Gelbreife beendigt ist.*

IV. Die Veränderung des Gehaltes an Kohlehydraten.

a) Einleitung.

Im Laufe der Entwicklung macht sich im Getreidekorn ganz allgemein eine Zunahme des Gesamtgehaltes an Kohlehydraten bemerkbar. An dieser Zunahme ist beim Weizen fast ausschliesslich die Stärke beteiligt; der Zuckergehalt geht dagegen mit fortschreitender Reife ziemlich kontinuierlich zurück (Brenchley und Hall, 1909; Thatcher, 1915; Colin und Belval, 1923). Die ins Weizenkorn einwandernden Zucker werden also in den späteren Entwicklungsstadien allem Anschein nach sehr rasch in hochmolekulare Reservestoffe umgewandelt.

Ueber den näheren Verlauf der Stärkesynthese ist man nur sehr wenig orientiert. Bemerkenswerterweise konnten Dextrine und Maltose, welche als Zwischenprodukte des enzymatischen Stärkeabbaus schon lange bekannt sind, bis jetzt im reifenden Getreidesamen nicht nachgewiesen werden (vgl. Muntz, 1878, 1886; Czapek, 1922, I. Band, S. 451; Colin und Belval, 1923; Belval, 1924). An Zuckern sind ausser Glukose, Fruktose und Rohrzucker noch Raffinose (Schulze

und Frankfurt, 1894) und unkristallinische Substanzen gefunden worden, die bei der Hydrolyse Fruchtzucker liefern. Von der zuletzt genannten Stoffgruppe ist in erster Linie die von Tanret (1891) als Lävosin bezeichnete Zuckerart zu erwähnen, die sich nach Colin und Belval (1922, 1923) aus verschiedenen Fruktosemolekülen zusammensetzt und die nach den erwähnten Untersuchungen in den frühesten Entwicklungsstadien der Getreidekörner in bedeutend grösseren Mengen vorkommt als der Rohrzucker. Neuerdings sind derartige Fruktosane auch in den vegetativen Organen verschiedener Getreidearten gefunden worden, so von Archbold und Barter (1935) in den Blättern der Gerste, von Barnell (1938) in den Halmen und Blättern des Weizens.

Die vorübergehende Ansammlung von Fruktose und fruktosehaltigen Verbindungen im Getreidekorn ist um so auffallender, als das wichtigste Reservekohlehydrat der Getreidearten, die Stärke, sich aus Glukosemolekülen aufbaut. Das Auftreten von Fruktosanen in der jungen Getreidefrucht kann in Parallele gesetzt werden zum Vorkommen von Graminin, Phleïn und Triticin in den Rhizomen und Speicherinternodien ausdauernder Gräser (vgl. Volkart und Kirchner, 1908; Colin und Cugnac, 1926). Allem Anschein nach handelt es sich auch bei der Lävulosanbildung in den Zerealien um einen — allerdings nur vorübergehenden — Speicherungsvorgang, der von einer Herabsetzung des osmotischen Druckes begleitet ist und der besonders bei starker Zuckeranreicherung eintritt (Belval, 1924). Für diese Annahme spricht auch die Beobachtung von Archbold (1938 b), wonach Fruktosane in Gerstenblättern dann in beträchtlicher Menge gebildet werden, wenn in den übrigen Teilen der Pflanze infolge Stickstoffmangels oder aus andern Gründen nur geringe Nachfrage nach Zucker herrscht.

Es lag nicht im Rahmen der vorliegenden Arbeit, näher in die physiologisch-chemischen Probleme der Kohlehydratumwandlungen im reifenden Weizenkorn einzudringen. Dagegen erschien es wünschenswert, wenigstens die Veränderungen der Hauptgruppen der Kohlehydrate zu verfolgen. Als solche kamen in Frage die direkt reduzierenden Zucker, wohl fast ausschliesslich aus Glukose und Fruktose bestehend, sodann die durch Invertase bzw. verdünnte Säuren hydrolysierbaren zusammengesetzten Zuckerarten wie Rohrzucker, Fruktosane und dergleichen, und endlich die als typischer Reservestoff erscheinende Stärke.

b) Methodisches.

Die Zuckerbestimmung wurde in Anlehnung an die Arbeitsvorschriften der A. O. A. C. (1935) wie folgt vorgenommen. Es wurden in der Regel je 2×2 g Mehl — bei zuckerreichem Material teilweise weniger — mit 0,2 g gefälltem $CaCO_3$ vermischt, mit 50 cm³ heissem,

neutralem 70%igem Alkohol übergossen und während einer halben Stunde bei zirka 80° C im Wasserbad digeriert. Die überstehende Flüssigkeit wurde dekantiert, der Rückstand noch zweimal während je einer halben Stunde mit 50 cm³ 70%igem Alkohol behandelt, hernach aufs Filter gebracht und viermal mit heissem Alkohol ausgewaschen. Die vereinigten alkoholischen Filtrate wurden auf dem Wasserbad zur Sirupkonsistenz eingedampft, der Sirup mit heissem, CO_2-freiem Wasser aufgenommen, mit neutralem Bleiazetat geklärt und schliesslich mit Natriumoxalat vom überschüssigen Blei befreit. Je 30 cm³ des auf 100 cm³ gebrachten, geklärten und entbleiten Filtrates dienten zur Feststellung des Gehaltes an direkt reduzierendem Zucker, und zwar erfolgte die Bestimmung mit Fehlingscher Lösung unter Anwendung der Permanganattitration nach Bertrand. Weitere 60 cm³ wurden mit 8 cm³ Salzsäure 1 : 1 versetzt, das die Flüssigkeit enthaltende Kölbchen in ein auf 70° C eingestelltes Wasserbad getaucht und, nachdem die zu invertierende Lösung die Temperatur von 67° C erreicht hatte, weitere fünf Minuten im Wasserbad belassen. Nach erfolgter Inversion wurde die Lösung abgekühlt, mit NaOH neutralisiert, auf 100 cm³ aufgefüllt und in 50 cm³ die reduzierenden Zucker bestimmt. Da die Fruktosane, abgesehen von einigen Vorversuchen, nicht gesondert bestimmt wurden und da überdies die Formel der Fruktosane des Weizens nicht sicher bekannt ist, wurde der gefundene Gehalt an Gesamtzucker auf Rohrzucker umgerechnet.

Bevor die beschriebene Methode für unsere Serienversuche angewendet werden konnte, mussten verschiedene Vorfragen abgeklärt werden. Zunächst war zu prüfen, ob die vorhandenen Zucker, insbesondere die in hochgrädigem Alkohol schwerlöslichen Fruktosane, durch das angewendete Extraktionsverfahren quantitativ in Lösung gingen. Zu diesem Zwecke wurde der nach der Alkoholbehandlung verbleibende Rückstand zur Vertreibung des anhaftenden Alkohols getrocknet und während zirka 1 ½ Stunden mit kaltem Wasser digeriert. Die wässrige Lösung wurde durch Filtration von den festen Bestandteilen befreit und zur Bestimmung des Gesamtzuckers verwendet. Der gefundene Gehalt betrug bei den 11 Tage alten Strickhofweizenkörnern 0.17 % der ursprünglichen Trockensubstanz resp. 0.8% des bei der Alkoholextraktion erfassten Gesamtzuckers. Diese Zahlen zeigen, dass das beschriebene Verfahren auch bei sehr unreifem, fruktosanreichem Material zur praktisch vollständigen Extraktion der vorhandenen Zucker führt.[1]

Im weiteren musste festgestellt werden, ob durch die HCl-Behandlung im Wasserbad von 70° C — eine Methode, die in erster Linie für

[1] Es wäre an sich naheliegend, die Zuckerarten statt mit Alkohol mit heissem Wasser auszuziehen. Dieser Weg erwies sich jedoch für unser stärkereiches Material als ungangbar, da der durch die Heisswasserbehandlung gebildete Kleister die weitere Verarbeitung der Lösungen zu sehr erschwerte.

die Inversion des Rohrzuckers gedacht ist — auch die Fruktosane völlig hydrolysiert werden. Wir verglichen daher das oben beschriebene Verfahren mit der von Archbold und Barter (1935) für die Fruktosanspaltung angewendeten viertelstündigen Behandlung mit $^{n}/_{5}$ H_2SO_4 im siedenden Wasserbad.[1] Wir fanden nach beiden Methoden, sowohl bei ganz unreifem als auch bei gelbreif geerntetem Material, gut übereinstimmende Werte. Die Salzsäureinversion konnte daher auch bei fruktosanhaltigem Material ohne Bedenken angewendet werden.

Ueber die Menge der in jungen Weizenkörnern vorkommenden Fruktosane geben schliesslich folgende Versuchsergebnisse etwelche Anhaltspunkte. Die 11 Tage alten Strickhofweizenkörner wiesen nach Inversion mit HCl 24.4 % Invertzucker auf, nach einstündiger Einwirkung von Invertin Merck bei 38° C, unter Zusatz von Dinatriumzitrat — ein Verfahren, das nach Archbold und Barter (1935) zur Rohrzuckerinversion genügt, die Fruktosane jedoch nur wenig angreift — dagegen nur 16.1 %. Es waren somit in der vorliegenden Probe etwa 8% Zucker vorhanden, die durch verdünnte Säure, nicht aber durch einstündige Einwirkung von Invertase in reduzierenden Zucker umgewandelt wurden. Es darf wohl angenommen werden, dass es sich dabei wenigstens in der Hauptsache um Fruktosane handelt. Bei dem in der Gelbreife geernteten Strickhofweizen wurden nach der Salzsäurebehandlung 2.61 %, nach der Invertinbehandlung 2.53 %, also annähernd gleichviel Invertzucker gefunden. In diesem Reifestadium waren somit beim Strickhofweizen ausser Rohrzucker nur geringe Mengen mit verdünnter Salzsäure spaltbarer Zuckerarten enthalten.

Die Stärkebestimmung erfolgte nach dem direkten Verfahren von Fellenberg (1928, 1937), welches gegenüber den indirekten Methoden den grossen Vorzug besitzt, dass ausser Stärke keine weiteren Polysaccharide erfasst werden. Da v. Fellenberg seine Methode u. a. auch an Kleie, Mehl u. dgl. ausgearbeitet hat, konnte sie für unsere Bestimmungen ohne weiteres übernommen werden.

c) Untersuchungsergebnisse.

Wir beginnen die Besprechung des Kohlehydrathaushaltes an Hand der beim Huronweizen ermittelten Analysenergebnisse (siehe Tab. 10 und Fig. 8). Diese bestätigen zunächst die bereits bekannte Tatsache, dass der Zuckergehalt im Laufe der Entwicklung zurückgeht, die Stärke dagegen stark zunimmt.

---

[1] Die Inversion mit $^{n}/_{5}$ H_2SO_4 musste vor der Klärung der Lösungen vorgenommen werden, da das Bleiazetat und das zur Entbleiung zugesetzte Natriumoxalat infolge ihrer starken Pufferwirkung das pH einer so verdünnten Säurelösung zu stark verändert hätten.

Tabelle 10.

Kohlehydratgehalt der Körner von Huronweizen im Laufe der Entwicklung.

	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Bezogen auf Trockensubstanz			Absoluter Gehalt von je 1000 Körnern		
			Direkt red. Zucker (als Invertzucker)	Gesamtzucker (als Rohrzucker)	Stärke	Direkt red. Zucker (als Invertzucker)	Gesamtzucker (als Rohrzucker)	Stärke
			%	%	%	g	g	g
Frühsaat . . .	5.VII.	13	4.22	27.12	36.5	0.394	2.529	3.40
	13.VII.	21	1.15	9.15	56.4	0.205	1.643	10.13
	20.VII.	28	0.62	4.53	65.0	0.172	1.258	18.06
	27.VII.	35	0.57	3.94	64.7	0.197	1.365	22.41
	1.VIII. (Gelbreife)	40	0.04	2.99	65.5	0.014	1.040	22.78
	4.VIII. (Vollreife)	43	0	2.99	66.6	0	1.051	23.42
Mittelspäte Saat	11.VII.	13	7.21	45.89	18.7	0.374	2.380	0.97
	19.VII.	21	1.26	11.96	49.9	0.181	1.723	7.19
	26.VII.	28	0.58	4.28	62.2	0.139	1.025	14.90
	2.VIII.	35	0.40	3.94	63.7	0.130	1.276	20.62
	8.VIII. (Gelbreife)	41	0.06	2.81	64.3	0.021	0.961	21.99
	13.VIII.	46	Spuren	2.19	64.3	Spuren	0.760	22.31
	18.VIII. (Vollreife)	51	Spuren	2.19	64.6	Spuren	0.756	22.30
Spätsaat . . .	27.VII.	13	4.01	29.38	28.2	0.299	2.194	2.11
	4.VIII.	21	0.85	5.07	60.6	0.152	0.910	10.87
	11.VIII.	28	0.47	3.57	64.0	0.133	1.007	18.05
	18.VIII.	35	0.36	2.80	60.3	0.108	0.839	18.07
	25.VIII. (Gelbreife)	42	0	2.29	64.1	0	0.665	18.62
	27.VIII. (Vollreife)	44	0.04	2.30	64.3	0.011	0.644	18.00

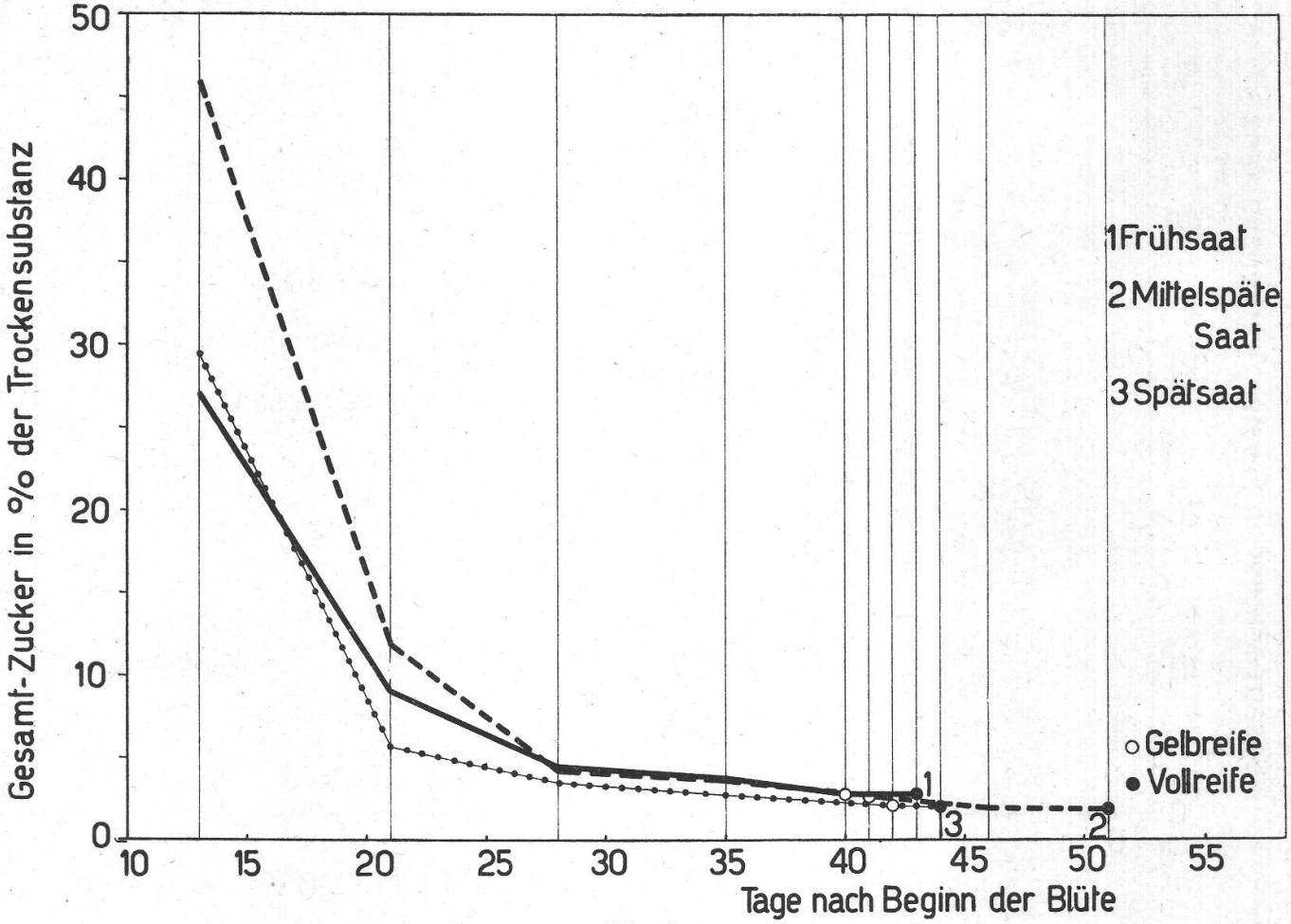


Fig. 8.
Zuckergehalt der Körner von Huronweizen im Laufe der Entwicklung.

Bei näherer Betrachtung der Einzelwerte fällt in erster Linie der in den jüngsten Entwicklungsstadien zutage tretende hohe Gesamtzuckergehalt auf; macht doch der Zucker bei den 13 Tage alten Körnern der mittelspäten Aussaat 46 % der Trockensubstanz aus.[1] Diese Zahlen deuten darauf hin, dass die *einströmenden Kohlehydrate in einem Teil der Gewebe der jungen Getreidefrucht überwiegend in Form zusammengesetzter Zuckerarten gespeichert werden.* Der Gehalt an Gesamtzucker ging in der Folge in kurzer Zeit auf einen Bruchteil des Anfangsgehaltes zurück; er betrug bei den reifen Körnern nur noch 2—3 % der Trockensubstanz. Auch der prozentuale Gehalt an direkt reduzierendem Zucker, der gegenüber dem Gesamtzuckergehalt durchgehends stark zurücktritt, nahm anfänglich rasch, später langsamer ab; von der Gelbreife an wurden höchstens noch Spuren direkt reduzierenden Zuckers gefunden. Der Stärkegehalt war 13 Tage nach Beginn der Blüte, also in dem Stadium, wo das Perikarp noch einen beträchtlichen

[1] Einen ungefähr ebenso hohen Zuckergehalt (45 %) hat Muntz (1878) in 10 Tage alten Roggenkörnern gefunden.

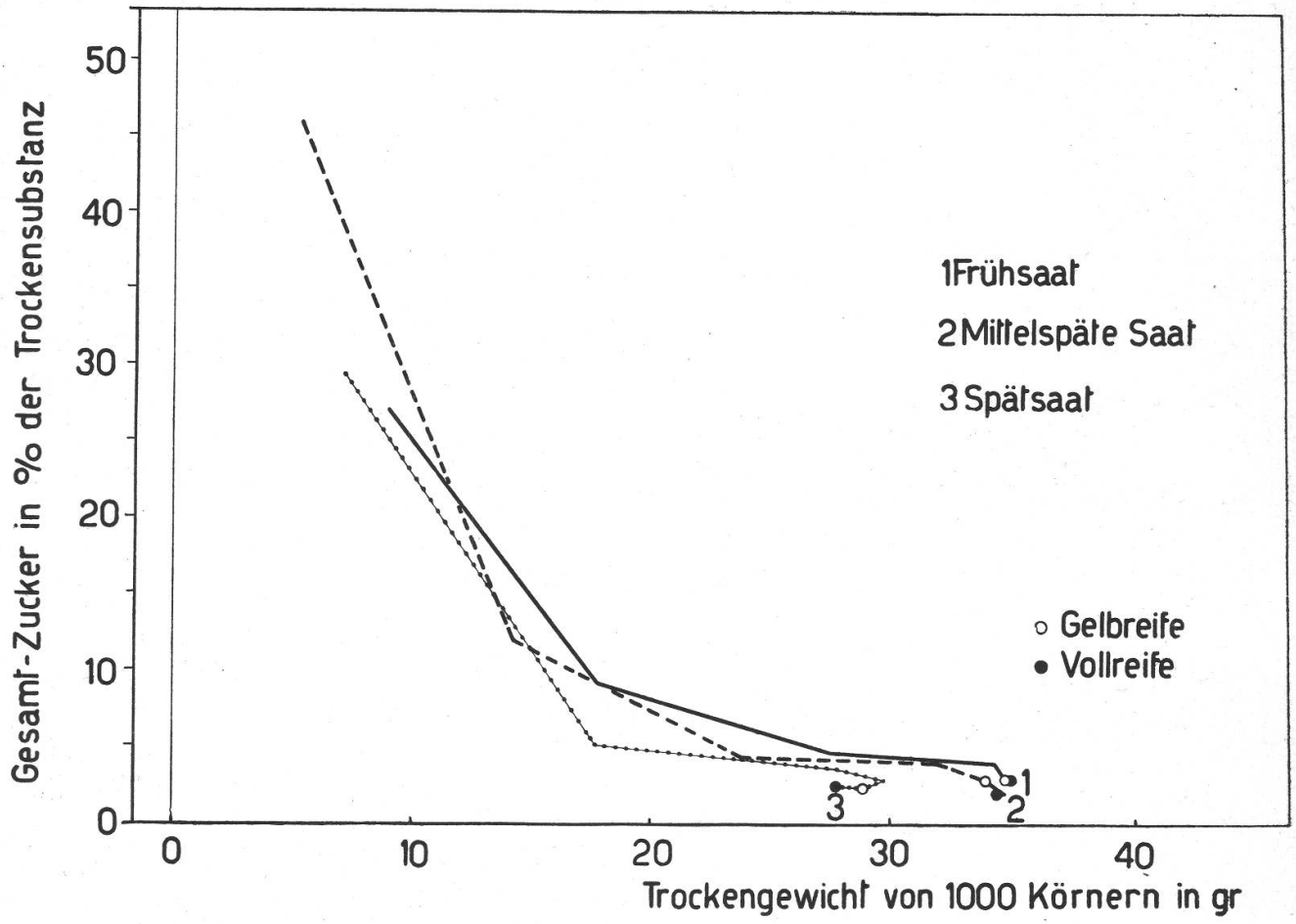


Fig. 9.
Zuckergehalt der Körner von Huronweizen in Beziehung zum Trockengewicht.

Teil des Kornes ausmachte, schon recht ansehnlich; er stieg in der Folge, entsprechend dem Rückgang des Zuckers, sehr rasch an, so dass bereits bei der dritten Ernte, d. h. zur Zeit der Milchreife, der prozentuale Höchstgehalt praktisch erreicht war.

Vergleichen wir die Veränderung des Kohlehydratgehaltes bei den verschiedenen Versuchsserien, so zeigen sich namentlich am Anfang der Entwicklung grosse Unterschiede (vgl. Tab. 10 und Fig. 8). Die Körner der Frühsaat enthielten 13 Tage nach Beginn der Blüte 27.1 % Zucker und 36.5 % Stärke, die der mittelspäten Saat dagegen 45.9 % Zucker und nur 18.7 % Stärke. Es liegt nahe, die Ursache für diese Differenzen in der Witterung zu suchen. Bei näherem Zusehen zeigt sich jedoch, dass es sich hier weniger um einen direkten als um einen indirekten Einfluss der äusseren Bedingungen handelt. Wir haben schon früher aus der Veränderung des Wassergehaltes und des Trockengewichtes schliessen können, dass sich die Körner der mittelspät gesäten Kulturen anfänglich sehr langsam entwickelten; sie befanden sich daher 13 Tage nach der Blüte in einem jüngeren Entwicklungsstadium und waren aus diesem

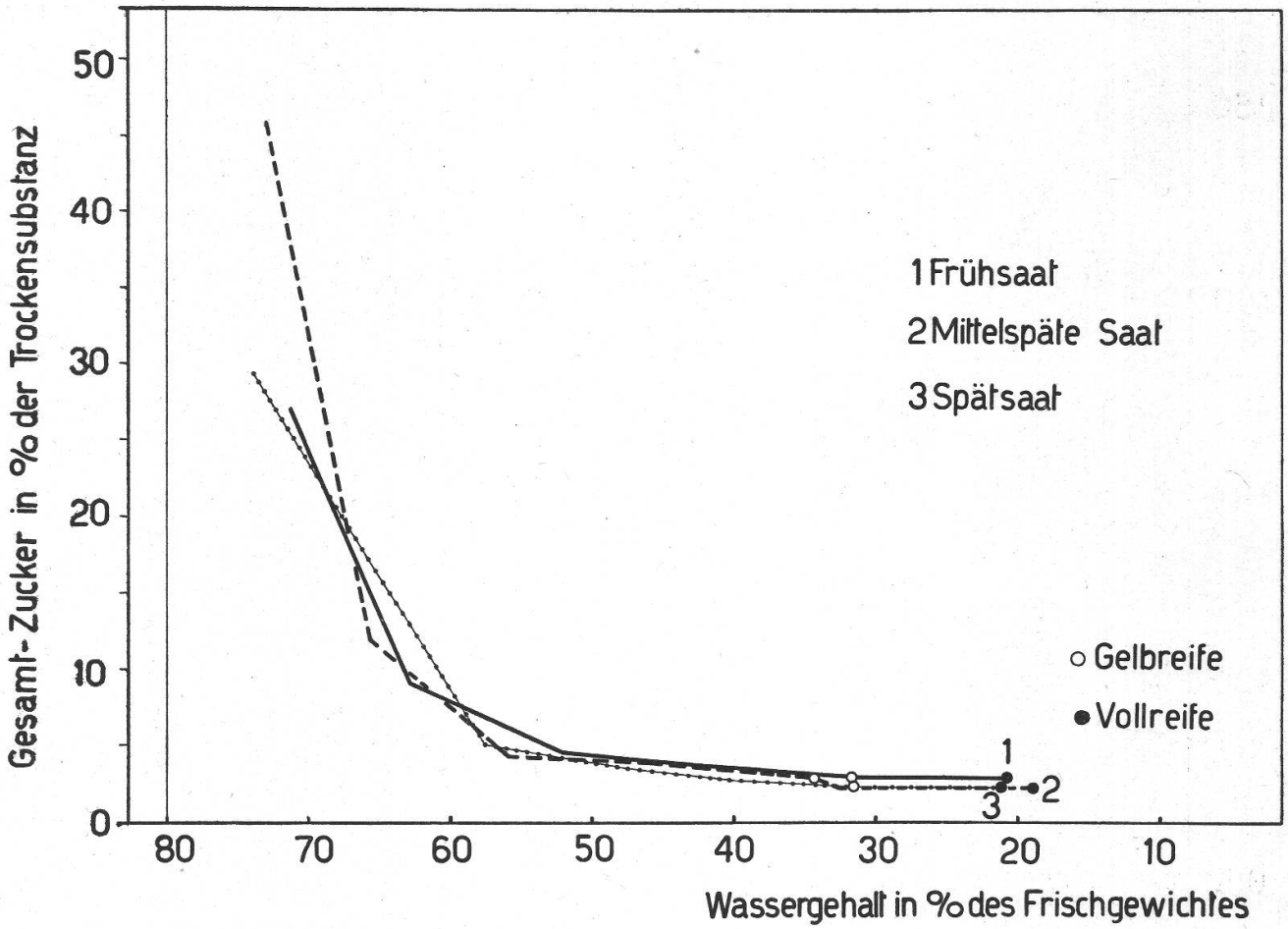


Fig. 10.
Zuckergehalt der Körner von Huronweizen in Beziehung zum Wassergehalt.

Grunde zuckerreicher und stärkeärmer als die im gleichen Zeitpunkt geernteten Körner der Frühsaaten. In ähnlicher Weise erklärt sich der bei der zweiten Ernte in Erscheinung tretende niedrige Zucker- und verhältnismässig hohe Stärkegehalt der Körner des spätgesäten Huronweizens; diese waren nämlich, wie aus dem niedrigen Wassergehalt (Tab. 4) ohne weiteres ersichtlich ist, drei Wochen nach Beginn der Blüte in der Reife bedeutend weiter voran als die entsprechenden Körner der frühen und mittelspäten Saat.

Dass das verschiedene Tempo der Entwicklung in erster Linie für die zwischen den einzelnen Serien zutage tretenden Differenzen verantwortlich zu machen ist, zeigt sich auch deutlich, wenn wir die Verschiebungen im Zuckergehalt mit der Veränderung des Trockengewichtes bzw. des Wassergehaltes in Beziehung bringen (siehe Fig. 9 und 10). Bei dieser Darstellung nehmen nämlich die den einzelnen Versuchsserien entsprechenden Kurven einen gleichförmigeren Verlauf als in Fig. 8, wo der Zuckergehalt, unbekümmert um die Geschwindigkeit der Entwicklung, als Funktion der Zeit eingetragen wurde.

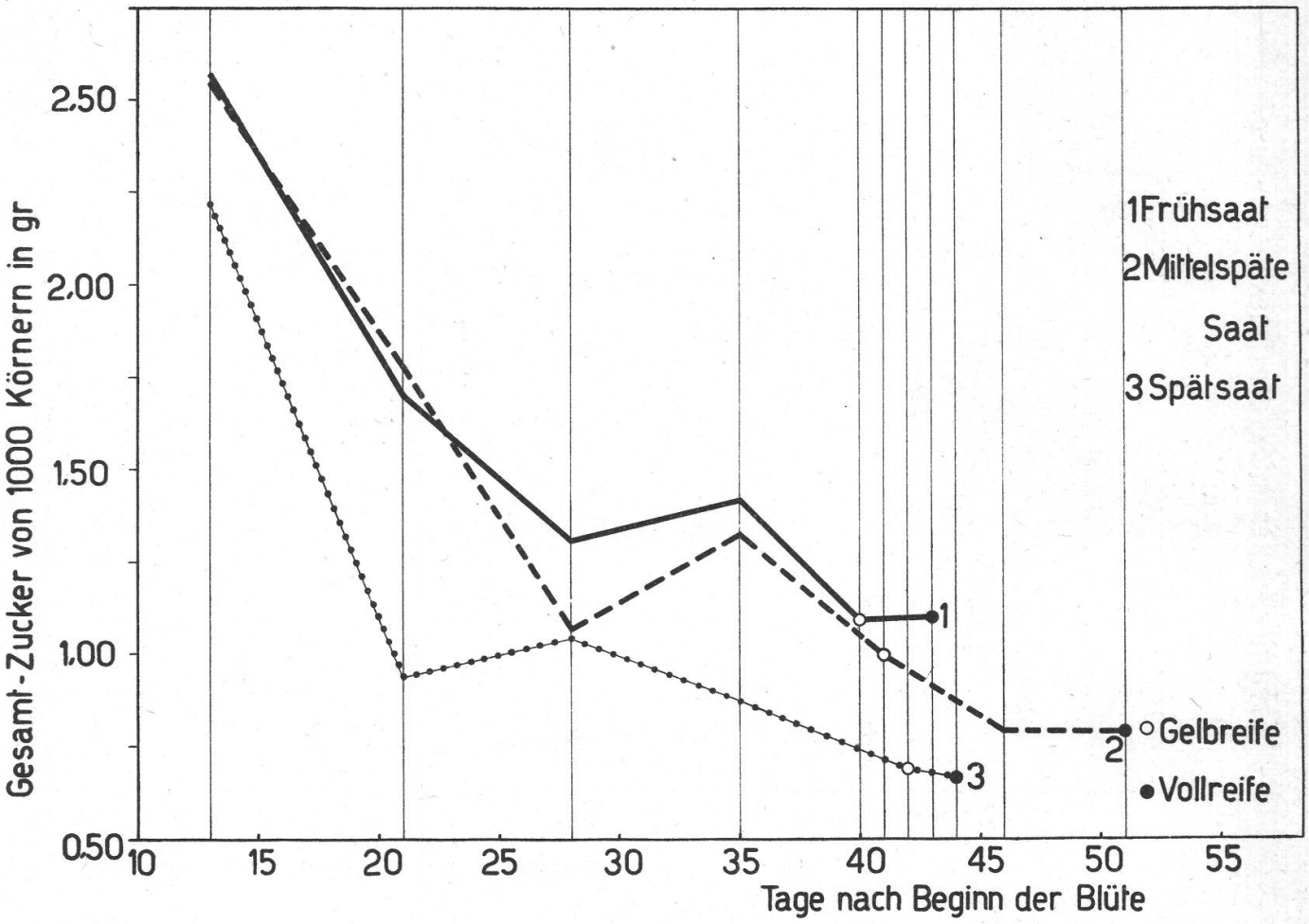


Fig. 11.
Absoluter Zuckergehalt von 1000 Huronweizenkörnern im Laufe der Entwicklung.

Die äusseren Bedingungen scheinen somit auf das Zucker/Stärkeverhältnis in der Hauptsache nur insofern einzuwirken, als sie die Entwicklung der Körner beschleunigen oder verzögern. Dagegen ist natürlich damit zu rechnen, dass die Witterungsverhältnisse einen bedeutenden Einfluss auf die Intensität der Assimilation und damit auf die Gesamtmenge der dem Korn zuströmenden Kohlehydrate ausüben. Bezeichnenderweise wirkt sich aber auch dieser Einfluss weniger im prozentualen Gesamtgehalt an Zucker und Stärke, als vielmehr in der Grösse der Körner aus. Immerhin sei erwähnt, dass die Körner der Frühsaat zur Zeit der Reife etwas mehr Kohlehydrate aufwiesen als die der übrigen Kulturen; dieser Mehrgehalt entspricht, wie später eingehend erörtert werden soll, einem niedrigeren Gehalt an Eiweißstoffen.

Gewisse kleinere Unterschiede im Zuckerhaushalt machen sich zwischen den einzelnen Versuchsserien noch während der Austrocknungsperiode geltend. Beim mittelspät gesäten Huronweizen sank nämlich der Zuckergehalt während des Ueberganges von der Gelb- zur Vollreife von 2.81 % auf 2.19 %; bei der Frühsaat und der Spätsaat war dagegen

nach der Gelbreife keine Aenderung des Zuckergehaltes mehr festzustellen. Dieses abweichende Verhalten lässt sich ohne weiteres aus der während des Abreifens herrschenden Witterung erklären. Bei der mittelspäten Saat fielen nach dem Eintreten des Stadiums der Gelbreife starke Niederschläge; der Wassergehalt hielt sich mehrere Tage lang auf ungefähr 33—35 %; es ist infolgedessen mit einer hohen Atmungsintensität und damit im Zusammenhang mit einem bedeutenden Zuckerverbrauch zu rechnen. Demgegenüber vollzog sich beim früh- und spätgesäten Huronweizen der Uebergang von der Gelb- zur Vollreife sehr rasch; es ist daher verständlich, dass unter diesen Umständen keine Aenderung des Zuckergehaltes eintrat. Eine gewisse Mittelstellung nimmt übrigens in dieser Hinsicht unser Strickhofweizen ein (Tab. 11); hier war der Wassergehalt zur Zeit der Gelbreife relativ hoch; der Uebergang zur Vollreife ging infolgedessen trotz der günstigen Witterung etwas langsamer vor sich als bei den Früh- und Spätsaaten des Huronweizens, und es machte sich denn auch ein gewisser, wenn auch schwacher Rückgang des Zuckergehaltes bemerkbar.

Aehnlich wie die auf die Trockensubstanz bezogenen Gehaltszahlen zeigen auch die *absoluten,* auf 1000 Körner berechneten *Werte* eine ziemlich stetige *Abnahme an Zucker* und eine entsprechende *Zunahme an Stärke* (Tab. 10, Kolonnen 7—9). Besonders grosse Mengen Stärke wurden in der dritten und vierten, teilweise auch noch in der fünften Woche der Entwicklung gebildet. In der sechsten Woche war die Stärkeeinlagerung nur noch unbedeutend; die zwischen Gelbreife und Vollreife sich geltend machenden geringen Unterschiede dürften auf Zufälligkeiten bei der Probeentnahme beruhen.

Auffallend ist der starke Rückgang des absoluten Zuckergehaltes in der dritten und teilweise auch in der vierten Entwicklungswoche, also in einem Zeitabschnitt, wo die Körner sehr stark an Gewicht zunehmen (Fig. 11). Ein Teil der in den Geweben der jungen Frucht gespeicherten zusammengesetzten Zucker findet also bald wieder im Stoffwechsel Verwendung, sei es als Atmungsmaterial, sei es zum Aufbau von Stärke, von Fetten, von Aminosäuren oder von Zellwandbestandteilen. Da die Fruktose in der pflanzlichen Zelle im allgemeinen ohne Schwierigkeit in Glukose umgewandelt werden kann (vgl. z. B. Kostytschew 1931, S. 241), dürften auch die Fruktosane nach erfolgter Hydrolyse als Ausgangsmaterial für die verschiedensten Synthesen in Frage kommen. Es ist allerdings zu bemerken, dass der bei der ersten Ernte vorgefundene Zucker nur einen Bruchteil des Materials liefern könnte, das in wenigen Tagen allein für die Stärkebildung verbraucht wird. Letztere ist daher zum weitaus überwiegenden Teil auf die fortwährende Neueinwanderung von Zucker angewiesen.

Der obenerwähnte Rückgang des absoluten Gehaltes an Gesamtzucker erfolgt nicht gleichmässig; die Kurve biegt vielmehr zur Zeit

Tabelle 11.

Zuckergehalt der Körner von gelagertem und nicht gelagertem Strickhofweizen.

Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Direkt red. Zucker (als Invertzucker) bezogen auf Trockensubstanz		Gesamtzucker (als Rohrzucker) bezogen auf Trockensubstanz		Direkt red. Zucker (als Invertzucker) in 1000 Körnern		Gesamtzucker (als Rohrzucker) in 1000 Körnern	
		ab 1. Juli gelagert	nicht gelagert	ab 1. Juli gelagert	nicht gelagert	ab 1. Juli gelagert	nicht gelagert	ab 1. Juli gelagert	nicht gelagert
		%	%	%	%	g	g	g	g
29.VI.	11	3.71	3.71	21.90	21.90	0.327	0.327	1.929	1.929
6.VII.	18	1.37	2.13	8.41	12.51	0.225	0.332	1.380	1.950
14.VII.	26	0.61	0.70	3.95	4.75	0.153	0.178	0.988	1.207
21.VII.	33	0.53	0.45	3.58	3.61	0.178	0.155	1.199	1.246
28.VII. (Gelbreife)	40	0.10	0.02	2.48	2.53	0.035	0.007	0.861	0.940
1.VIII. (Vollreife)	44	0.06	Spuren	2.30	2 38	0.020	Spuren	0.763	0.892

der Milchreife, etwa vier Wochen nach der Blüte, nach oben um, um erst kurz vor der Gelbreife erneut zu sinken. Bei der Spätsaat, die sich in der dritten und vierten Woche, wie schon mehrmals erwähnt, rascher entwickelte als die früh und mittelspät gesäten Kulturen, macht sich die erwähnte Zunahme eine Woche früher bemerkbar (Fig. 11). Da der erneute Anstieg des absoluten Zuckergehaltes in allen Versuchsserien, d. h. sowohl beim Huron- als auch beim Strickhofweizen (Tab. 11, Kolonnen 9 und 10), und zwar durchwegs im Stadium der Milchreife auftritt, kann er nicht durch besondere Witterungsverhältnisse bedingt sein; es handelt sich hier vielmehr um eine charakteristische Erscheinung, auf deren Ursache wir bei der Besprechung des Zuckergehaltes der einzelnen Samenteile näher zurückkommen werden.

Vorerst sollen noch die beim Strickhofweizen ermittelten Zuckergehalte, die wir zum Teil bereits früher zum Vergleich herangezogen haben, im Zusammenhang betrachtet werden (Tab. 11). Hier fällt vor allem auf, dass die Körner der nicht gelagerten Partie 18 Tage nach der Blüte einen deutlich höheren Gehalt an direkt reduzierendem und an Gesamtzucker aufwiesen als die des gelagerten Bestandes. Die gefundene Differenz darf aber nicht ohne weiteres dem Einfluss der Lagerung zugeschrieben werden. Wir waren nämlich, wie bereits früher bemerkt, bei der Probeentnahme aus den stehengebliebenen Partien des Strickhofweizenfeldes in der Hauptsache auf nichtmarkierte Pflanzen angewiesen, und es ist daher sehr wohl möglich, dass wir anlässlich der Ernte vom 6. Juli etwas zu junge Aehren und damit entsprechend zuckerreichere Körner erwischten. Da der Zuckergehalt am Anfang der Entwicklung rasch abnimmt und somit als besonders feiner Anzeiger des Entwicklungszustandes gelten darf, kann die in Frage stehende Differenz sehr wohl auf der nicht ganz einwandfreien Probeentnahme beruhen. Für diese Annahme spricht übrigens das um 0.8 g niedrigere Tausendkorngewicht (Tab. 8) und der um 1 % höhere Wassergehalt (Tab. 4) der der nichtgelagerten Partie entnommenen Probe. In den späteren Entwicklungsstadien zeigten sich hinsichtlich des prozentualen Zuckergehaltes zwischen dem gelagerten und dem nicht gelagerten Weizen nur geringe Unterschiede. Die absoluten Gehalte an Gesamtzucker waren bei den Körnern der stehengebliebenen Pflanzen etwas höher, was in erster Linie ihrem höheren Tausendkorngewicht zuzuschreiben ist.

Eine wertvolle Ergänzung der bis jetzt besprochenen Resultate bieten die Untersuchungen über den *Zuckergehalt der einzelnen Teile des Weizenkornes.* Als Material hierfür dienten die in Embryo- und Endospermteil zerlegten Körner von nicht gelagertem Strickhofweizen. Die den *Endospermteil* betreffenden Versuchsergebnisse sind in Tab. 12 zusammengestellt.

Was zunächst den prozentualen Gehalt an direkt reduzierendem und an Gesamtzucker anbelangt, machte sich hier wie in den als Ganzes

Tabelle 12.

Zuckergehalt des Endospermteils von Strickhofweizen im Laufe der Entwicklung.

Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Direkt red. Zucker (als Invertzucker) bezogen auf Trockensubstanz		Gesamtzucker (als Rohrzucker) bezogen auf Trockensubstanz		Direkt red. Zucker (als Invertzucker) in 1000 Endospermhälften		Gesamtzucker (als Rohrzucker) in 1000 Endospermhälften	
	untere Hälfte	obere Hälfte	untere Hälfte	obere Hälfte	untere Hälfte	obere Hälfte	untere Hälfte	obere Hälfte
	%	%	%	%	g	g	g	g
19	0.93	0.64	7.22	6.07	0.101	0.070	0.788	0.662
26	0.52	0.39	4.06	3.86	0.080	0.060	0.628	0.597
33	0.46	0.23	3.29	3.02	0.088	0.040	0.629	0.578
40 (Gelbreife)	0.09	0	2.22	2.12	0.017	0	0.429	0.410
44 (Vollreife)	0.06	0.10	2.32	2.05	0.011	0.019	0.435	0.386

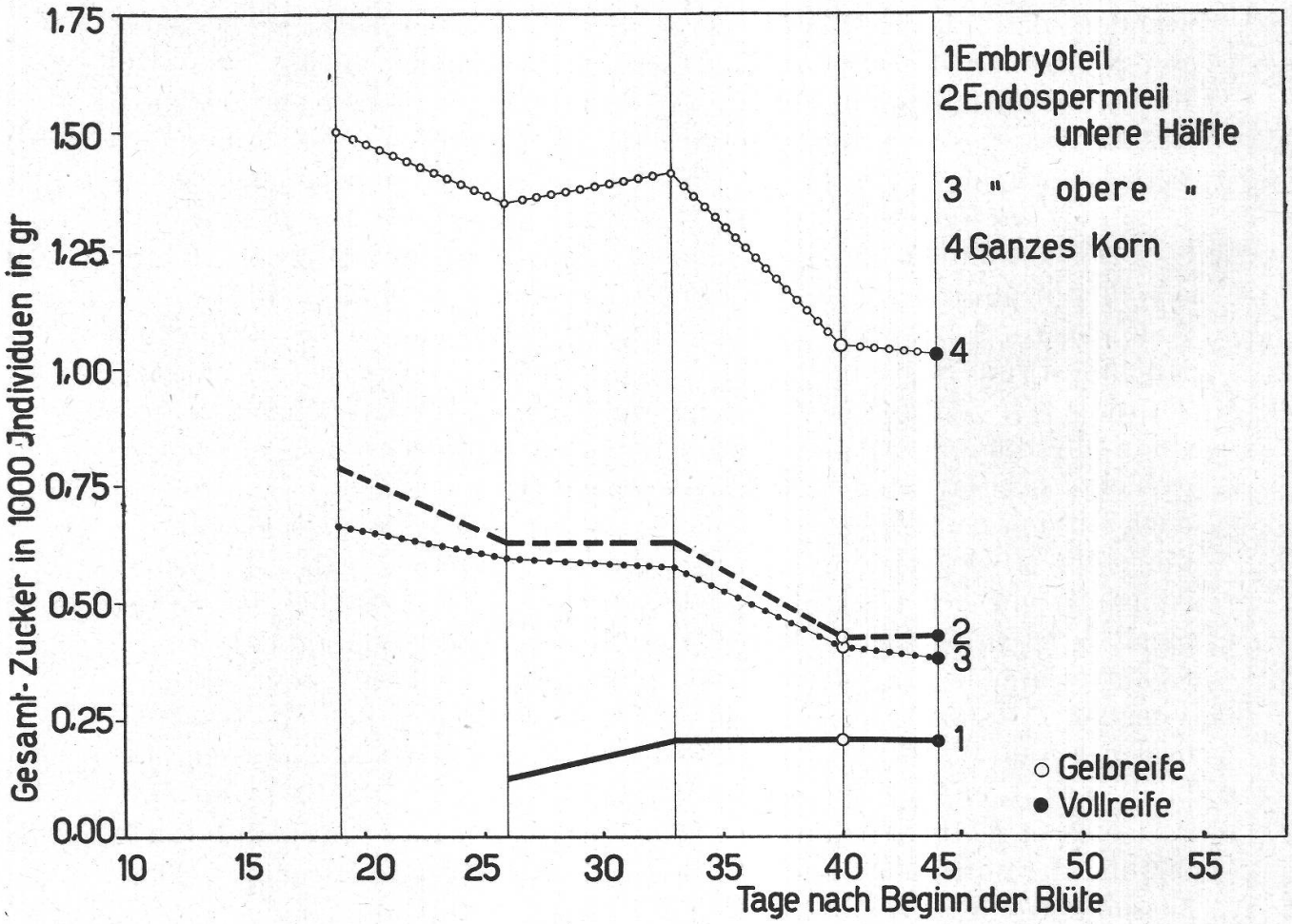


Fig. 12.

Absoluter Zuckergehalt der einzelnen Teile des Weizenkorns im Laufe der Entwicklung.

untersuchten Körnern ein anhaltender Rückgang bis zur Gelbreife geltend. In der unteren, dem Embryo angrenzenden Hälfte wurde durchwegs etwas mehr Zucker gefunden als in der oberen Hälfte des Endospermteils. Dieser Befund könnte dahin gedeutet werden, dass die Stärkeeinlagerung und mit ihr die ganze Entwicklung im oberen Teil des Endosperms rascher fortschreitet und früher zum Abschluss kommt als in den unteren Partien desselben. Damit würden die von Brenchley (1909) und Percival (1921) auf mikroskopischem Wege gemachten Beobachtungen bis zu einem gewissen Grade bestätigt. Ein solcher Schluss lässt sich jedoch aus den gefundenen geringen Differenzen nicht mit Sicherheit ziehen. Es darf übrigens nicht übersehen werden, dass bei unserer Versuchsmethodik nicht das Endosperm allein, sondern mit ihm auch die Frucht- und Samenschale und das in der Furchenpartie verlaufende Leitbündel analysiert wurden. Wir haben daher bei der Untersuchung der unteren Hälfte auch jene Zuckermengen erfasst, die gerade im Begriffe waren, in den oberen Teil des Kornes zu

wandern. Das gleiche gilt für die zur Ernährung des Embryos bestimmten Nährstoffe, die sich zur Zeit der Probeentnahme im untersten Teil des Leitbündels bzw. in den an das Schildchen angrenzenden Schichten des Endosperms befanden. Es erscheint daher schon aus diesen Gründen verständlich, dass die untere Hälfte des Endospermteils einen etwas höheren Zuckergehalt aufweist.

Der absolute Zuckergehalt nahm anfänglich sowohl in der unteren als auch in der oberen Hälfte des Endospermteils deutlich ab (Tab. 12, Kolonnen 6—9 und Fig. 12). Dieser Rückgang kam ungefähr zur Zeit der Milchreife zum Stillstand, d. h. in dem Stadium, wo nach erfolgter Resorption der farblosen Parenchymzellen der Fruchtknotenwand die chlorophyllführende Querzellenschicht nahe an die Oberfläche des Kornes gerückt ist. Da die in 1000 Körnern enthaltene Menge Gesamtzucker auch bei den früher besprochenen Versuchsserien bis ungefähr zum Stadium der Milchreife zurückging, liegt die Vermutung nahe, dass diese Abnahme mit der Rückbildung des Perikarps in ursächlichem Zusammenhang steht. Ob dies wirklich zutrifft, kann allerdings nur durch getrennte Untersuchung der Gewebe des Perikarps festgestellt werden.[1] Vom 26. bis zum 33. Tag, d. h. von der Milchreife, die den Abschluss des äusseren Wachstums markiert, bis kurze Zeit vor der Gelbreife, blieb der absolute Zuckergehalt im Endospermteil ungefähr konstant. Aus diesem Verhalten kann geschlossen werden, dass nach der Rückbildung der mittleren Schichten des Perikarps und nach Beendigung des äusseren Wachstums des Kornes die Reservestoffbildung im Endospermteil ungefähr im gleichen Tempo erfolgte wie der Zustrom löslicher

[1] Um über den Zuckergehalt des Perikarps etwelche Anhaltspunkte zu gewinnen, wurden von den 13 Tage alten getrockneten Körnern des früh gesäten Huronweizens die leicht sich loslösenden äusseren Schichten abgetrennt und im gewonnenen Material die direkt reduzierenden Zucker und die nach Salzsäure- und nach Invertinbehandlung gebildeten reduzierenden Zucker bestimmt. Unter der nicht ganz zutreffenden Voraussetzung, dass die einstündige Invertinbehandlung bei 38° den Rohrzucker invertiert, die Fruktosane aber nicht angreift, waren im untersuchten Material folgende Zuckermengen enthalten:

	Zuckergehalt in % der Trockensubstanz	
	Perikarp ohne Querzellenschicht	Endosperm, Samenschale plus Querzellenschicht
Direkt reduzierende Zucker (als Invertzucker berechnet)	11.6	3.4
Rohrzucker	8.3	18.0
Fruktosane (als Rohrzucker berechnet)	17.6	4.5
Gesamtzucker (als Rohrzucker berechnet)	36.8	25.7

Diese Zahlen deuten darauf hin, dass sich die äusseren Schichten der Fruchtknotenwand junger Weizenkaryopsen durch einen hohen Gehalt an Fruktosanen auszeichnen. Es ist daher sehr wohl möglich, dass die Abnahme des Fruktosangehaltes im Laufe der Entwicklung mit der Rückbildung des Perikarps in direktem Zusammenhang steht.

Kohlehydrate. Mit dem Uebergang zur Gelbreife ging der absolute Gehalt an direkt reduzierendem und an Gesamtzucker erneut zurück; zwischen Gelb- und Vollreife war dagegen praktisch keine Veränderung mehr festzustellen.

Ganz anders als im Endospermteil liegen die Verhältnisse im *Embryo* (Tab. 13). Hier blieb der prozentuale Gehalt an Gesamtzucker vom 26. Tag an bis zur Vollreife annähernd gleich hoch, d. h. er machte durchwegs etwa 15—16 % der Trockensubstanz aus. Die in 1000 Embryonen enthaltene absolute Zuckermenge nahm dagegen entsprechend dem fortschreitenden Wachstum vom 26. bis zum 33. Tag sehr stark zu. Dieses Ansteigen, das zusammenfällt mit der Periode des gleichbleibenden Zuckergehaltes im Endosperm, gibt uns die Erklärung für die früher bei der Untersuchung der ganzen Körner beobachtete vorübergehende Zunahme des absoluten Zuckergehaltes (vgl. namentlich Fig. 12). Die Zuckerkurve der Embryonen nimmt ohne Zweifel deswegen einen ganz andern Verlauf, *weil der Zucker im Embryo nicht nur als wanderungsfähiger, zur raschen Weiterverarbeitung bestimmter Baustoff, sondern überdies als typischer Reservestoff auftritt.*

Tabelle 13.
Gesamtzuckergehalt der Embryonen von Strickhofweizen.

Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Gesamtzucker (als Rohrzucker)	
	bezogen auf Trockensubstanz	in 1000 Embryonen
	%	g
26	15.8	0.129
33	16.2	0.210
40 (Gelbreife)	15.4	0.213
44 (Vollreife)	15.4	0.211

Zusammenfassend ergibt sich aus den vorliegenden Untersuchungen über den Kohlehydrathaushalt des Weizenkornes folgendes Bild. Die Weizenfrucht enthält schon in den frühen Entwicklungsstadien bedeutende Mengen von Kohlehydraten. Die Speicherung der einwandernden Kohlehydrate erfolgt zunächst, wie schon Muntz (1878, 1886), Tanret (1891) und Colin und Belval (1923) nachgewiesen haben, überwiegend in Form zusammengesetzter Zuckerarten, unter welchen den Fruktosanen eine besondere Bedeutung zukommt. Mit der weiteren Entwicklung des Endosperms gelangen grosse Mengen Stärke zur Ablagerung; gleichzeitig geht der Zuckergehalt relativ und absolut zurück.

Die absolute Abnahme des Zuckergehaltes dauerte in unsern Versuchen bis ungefähr zur Milchreife, d. h. dem Stadium, wo die Resorption der farblosen Parenchymzellen der Fruchtknotenwand und das äussere Wachstum des Kornes abgeschlossen sind. Von diesem Zeitpunkt an bis kurz vor der Gelbreife blieb der Gesamtzuckergehalt im Endospermteil annähernd konstant, woraus geschlossen werden kann, dass die Reservestoffablagerung, insbesondere die Stärkebildung, in diesem Zeitabschnitt mit ungefähr gleicher Geschwindigkeit vor sich ging wie der Zustrom löslicher Kohlehydrate. Gleichzeitig stieg der absolute Zuckergehalt des rasch an Gewicht zunehmenden Embryos stark an, so dass das Weizenkorn als Ganzes in diesem Entwicklungsabschnitt eine Zunahme an Zucker aufwies. Mit dem Uebergang zur Gelbreife ging der absolute Gehalt an Gesamtzucker sowohl im Endosperm als auch im ganzen Korn erneut zurück; gleichzeitig verschwanden die direkt reduzierenden Zucker bis auf geringe Spuren, während der absolute Stärkegehalt noch eine leichte Zunahme erkennen liess. Nach der Gelbreife waren in der Regel keine deutlichen Verschiebungen im Kohlehydratgehalt mehr festzustellen; einzig bei ausgesprochen feuchter Witterung machte sich ein weiterer Rückgang des Zuckergehaltes bemerkbar.

Die äusseren Bedingungen beeinflussten den Gehalt an Zucker und Stärke in erster Linie insofern, als sie die Entwicklung der Körner beschleunigten oder verzögerten. Störungen in der Zufuhr von Kohlehydraten, sei es infolge Lagerung, sei es infolge des frühzeitigen Absterbens der zur Assimilation befähigten Gewebe, führten zu einer Reduktion der absoluten Menge der eingelagerten Kohlehydrate und zu einer Verminderung des Tausendkorngewichtes; dagegen wurde die prozentuale Zusammensetzung der reifen Körner durch ungünstige äussere Verhältnisse weniger augenfällig beeinflusst.

V. Die Veränderungen der stickstoffhaltigen Verbindungen.

1. Gesamtstickstoff.

Der Stickstoffgehalt des Getreidekorns und seine Veränderung im Laufe des Entwicklungs- und Reifungsprozesses erfreuen sich schon in der älteren einschlägigen Literatur einer besonderen Beachtung. Ausgehend von der Feststellung, dass in der *Getreidepflanze* die Stickstoffaufnahme der Produktion organischer Substanz vorauseilt und dass der grösste Teil des zum Aufbau der Pflanze benötigten Stickstoffs schon vor der Kornentwicklung aufgenommen wird (Lucanus, 1862; Pierre, 1866; Heinrich, 1867; Liebscher, 1887; Adorjan, 1902; Dehérain und Dupont, 1902), wurde vielfach angenommen, dass auch im *Getreidekorn* in den frühen Entwicklungsstadien die Einwanderung stickstoffhaltiger Bestandteile überwiege,

während das Ende des Reifungsprozesses hauptsächlich durch die Auffüllung des Endosperms mit Stärke gekennzeichnet sei. Diese Annahme schien in guter Uebereinstimmung mit den im Laufe der Kornentwicklung beobachteten morphologischen Veränderungen; denn der Inhalt der Endospermzellen besteht anfänglich in der Hauptsache aus Protoplasma, in welches später Stärkekörner eingelagert werden, bis schliesslich das Plasma nur noch als Kittsubstanz zwischen den sich drängenden Stärkekörnern erscheint.

Verschiedene Arbeiten über die Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Weizenkorns stellen tatsächlich eine Abnahme des prozentualen Stickstoffgehaltes während des ganzen Reifungsprozesses fest, so insbesondere die Untersuchungen von Heinrich (1871), Kedzie (1893), Nedokutschajew (1902), Toulaikoff und Pisarevski (1927) und zum Teil auch diejenigen von Mangels (1925). Auch Arny und Sun (1927) fanden bei der Prüfung des Ertrages ganzer Parzellen 7 Tage vor der Reife einen höheren Stickstoffgehalt als in der Vollreife. Die Versuche von Adorjan (1902, 1903) und Olson (1923) lassen in den frühen Entwicklungsstadien ein Absinken, in den späteren Stadien dagegen ein annäherndes Gleichbleiben des N-Gehaltes erkennen; diejenigen von Rousseaux und Sirot (1920) ergaben dagegen nach anfänglichem Ansteigen ein kontinuierliches Absinken bis zur Zeit der Ernte. Demgegenüber stellten Teller (1898), Brenchley und Hall (1909), Sounders (1921), Shutt (1922) und Kiesselbach (1925) nach anfänglicher Abnahme ein erneutes schwaches Ansteigen des prozentualen Stickstoffgehaltes fest. Brenchley und Hall (1909) schliessen aus einer eingehenden Analyse ihres Zahlenmaterials, dass der Stickstoffgehalt des Trockensubstanzzuwachses während der Austrocknungsperiode wesentlich grösser ist als in den früheren Entwicklungsstadien. Eine noch ausgeprägtere Verschiebung des Verhältnisses von Rohprotein zu Stärke im Sinne einer Erhöhung des Proteingehaltes in den letzten Reifestadien zeigte sich in den Untersuchungen von Thatcher (1913 und 1915). Ein starkes Ansteigen des relativen Stickstoffgehaltes konstatierten auch Woodman und Engledow (1924) und McCalla und Newton (1935).

Wenn auch die Angaben der Literatur im einzelnen ziemlich auseinandergehen, so darf aus ihnen doch der Schluss gezogen werden, dass die stofflichen Veränderungen, welche die Entwicklung und das Reifen des Weizenkorns begleiten, nicht nur in der Einlagerung von Stärke in eine eiweissreiche Grundmasse bestehen. Es werden vielmehr während der ganzen Entwicklungszeit stickstoffhaltige Bestandteile in das Korn transportiert, und zwar vielfach in einem Ausmass, dass der N-Gehalt gegen das Ende des Reifungsprozesses nicht nur absolut, sondern auch relativ zunimmt.

Tabelle 14.

Gesamtstickstoffgehalt der Weizenkörner im Laufe der Entwicklung.

(Bezogen auf die Trockensubstanz.)

A. Huronweizen	13	21	28	35	40	41	42	43	44	46	51	Tage nach Beginn der Blüte
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Herbstsaat	2.18[1]	1.73	1.61	1.75	—	1.87	—	—	1.79	—	—	
Frühsaat	1.96	1.88	1.92	2.03	1.99	—	—	2.12	—	—	—	
Mittelspäte Saat	2.24	2.24	2.21	2.37	—	2.38	—	—	—	2.55	2.66	
Spätsaat	2.64	2.42	2.36	2.61	—	—	2.62	—	2.57	—	—	
B. Marquisweizen	11	19	26	33	41	43	—	44	45	49	51	Tage nach Beginn der Blüte
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Frühsaat	2.17	1.85	1.90	1.98	1.97	—	—	2.18	—	—	—	
Mittelspäte Saat	2.31	2.18	2.33	2.47	—	2.41	—	—	—	2.61	2.58	
Spätsaat	2.54	2.54	2.43	2.60	—	2.69	—	—	2.75	—	—	
C. Strickhofweizen	11	18	26	33	40	—	—	44	—	—	—	Tage nach Beginn der Blüte
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
nicht gelagert	2.18	1.75	1.61	1.70	1.90	—	—	1.94	—	—	—	
vom 13. Tag nach Beginn der Blüte an gelagert	2.18	1.79	1.66	1.81	1.98	—	—	1.99	—	—	—	
					Gelbreife			Vollreife				

[1] Geerntet 11 Tage nach Beginn der Blüte

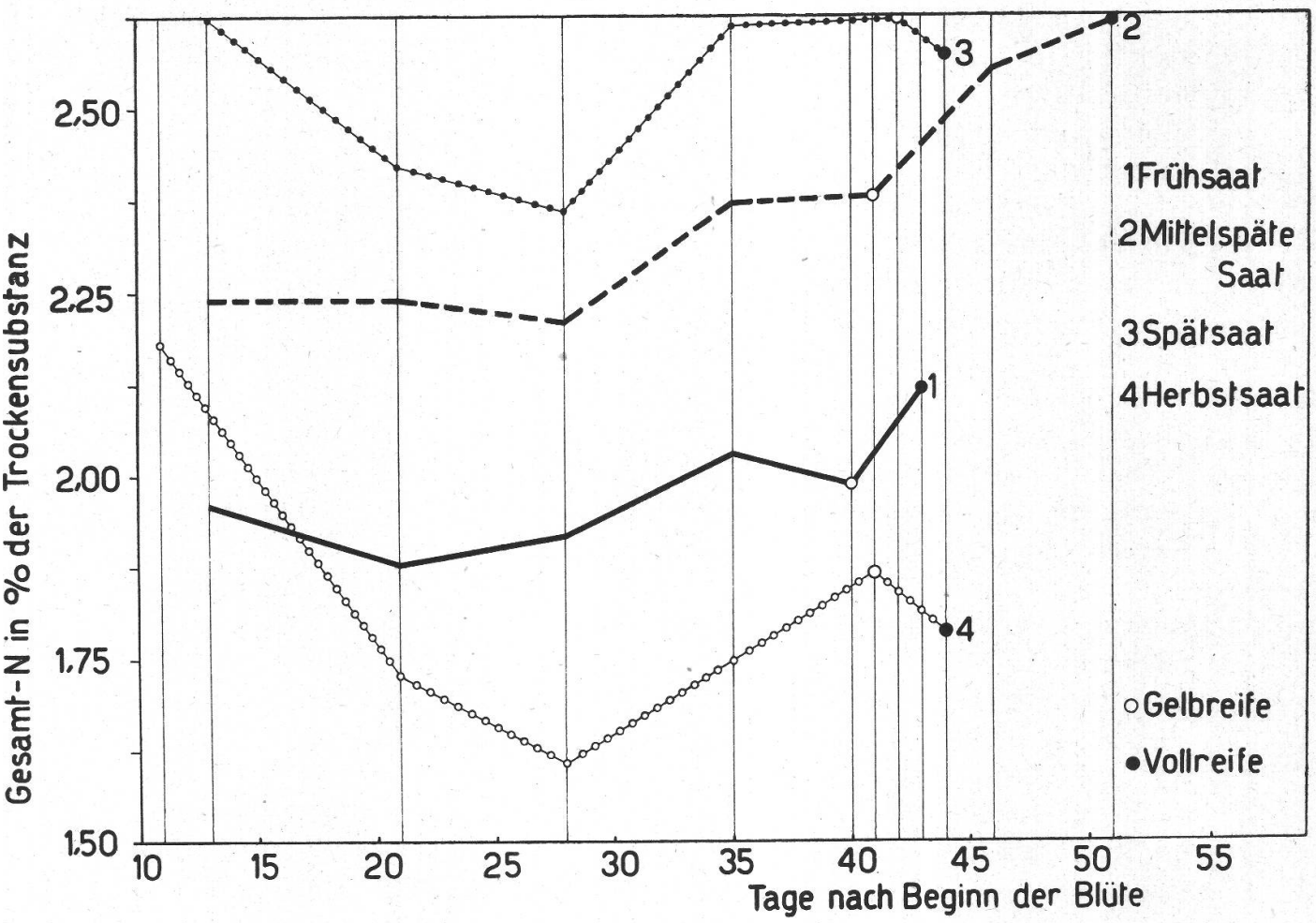


Fig. 13.
Stickstoffgehalt der Körner von Huronweizen im Laufe der Entwicklung.

Betrachten wir nunmehr die Ergebnisse unserer eigenen Versuche, so stellen wir fest, dass *der prozentuale Stickstoffgehalt unserer Weizenkörner am Anfang der Entwicklung meistens zurückging, in den letzten 2—3 Wochen dagegen durchgehends deutlich anstieg* (Tab. 14, Fig. 13). Der anfängliche Rückgang des Stickstoffgehaltes machte sich bei den Wintersaaten (Strickhofweizen und Herbstsaat von Huronweizen) recht stark, bei einem Teil der im Frühjahr gesäten Kulturen dagegen nur sehr schwach bemerkbar. McCalla und Newton (1935) weisen darauf hin, dass das von verschiedenen Autoren in den frühen Entwicklungsstadien beobachtete Abfallen des N-Gehaltes methodisch bedingt sein könnte. Bei langsamem Trocknen findet nämlich, wie die genannten Autoren gezeigt haben, ein starker Trockensubstanzverlust durch Atmung statt, welcher namentlich in den jungen Körnern zu einer beträchtlichen relativen Stickstoffanreicherung führen kann. Da aber nach McCalla und Newton die Trocknung bei 60° C nur eine unbedeutende Erhöhung des prozentualen Stickstoffgehaltes zur Folge hat, kommt eine derartige Erklärung für unsere Versuchsergebnisse, die

durch Analyse der bei 60° C im Vakuum getrockneten Körner gewonnen worden sind, nicht in Frage. Die Ursache für die anfängliche Abnahme des relativen Stickstoffgehaltes ist, wie schon Brenchley und Hall (1909) vermutet haben, vielmehr darin zu suchen, dass die im Laufe der Entwicklung ins Korn einwandernde Trockenmasse wenigstens zeitweise stickstoffärmer ist als die plasmareichen Gewebe des jungen Fruchtknotens. Besonders N-arm war in unsern Versuchen allem Anschein nach der Nährstoffstrom, der zwischen der ersten und zweiten Ernte in die Körner der *im Herbst* gesäten Kulturen einwanderte; sank doch der auf die Trockensubstanz bezogene Stickstoffgehalt beim Strickhofweizen in 7 Tagen um 0.39—0.43 %, bei der Herbstsaat von Huron in 10 Tagen um 0.45 %. Der beobachtete niedrige N-Gehalt der einwandernden Trockenmasse steht möglicherweise mit dem sehr kräftig entwickelten Blattwerk dieser Kulturen und der dadurch bedingten reichlichen Kohlehydratproduktion im Zusammenhang.

Die in den letzten Wochen vor der Reife beobachtete Zunahme des Gesamtstickstoffgehaltes war durchwegs beträchtlich; sie schwankte zwischen 0.24 und 0.45 %. Brenchley und Hall (1909) vermuten, dass die relative Anreicherung N-haltiger Stoffe während des Ausreifens eine Folge der durch die Atmung hervorgerufenen Kohlehydratverluste sei. Da reifende Weizenkörner mit einem Wassergehalt von 40 % nach den Untersuchungen von McGinnis und Taylor (1923) bei 30° C im Tag etwa 1 % ihrer Trockensubstanz veratmen, ist in der Tat mit einer gewissen Stickstoffanreicherung infolge Atmung zu rechnen, welche insbesondere in den letzten Reifestadien, wo die Zufuhr von neuem Material nur noch gering ist, ins Gewicht fallen dürfte. Wenn aber, wie dies in der Mehrzahl unserer Versuchsserien der Fall ist, die Stickstoffkurve schon zur Zeit der starken Trockengewichtszunahme umbiegt und rasch zu steigen beginnt (Tab. 14, Fig. 13), so kann dieser Wechsel in der Zusammensetzung nicht der Atmung allein zugeschrieben werden. Unsere Versuchsergebnisse deuten vielmehr darauf hin, dass der den Körnern zufliessende Nährstoffstrom gegen das Ende des Reifungsprozesses etwas weniger Kohlehydrate und entsprechend mehr stickstoffhaltige Verbindungen enthielt als in den frühen Entwicklungsstadien.

Der im Zustand der Vollreife erreichte Stickstoffgehalt ist bei den einzelnen Versuchsserien sehr verschieden. Als besonders stickstoffarm erwiesen sich der Strickhofweizen und der im Herbst gesäte Huronweizen. Diese Beobachtung stimmt überein mit der allgemeinen Erfahrung, wonach der Winterweizen in der Regel weniger Eiweiss enthält als der Sommerweizen. Unter den im Frühjahr gesäten Kulturen zeichneten sich die mittelspäten und späten Saaten beider Versuchssorten durch ihren recht hohen Stickstoffgehalt aus. Bei den Spätsaaten steht dieser mit einem niedrigen Tausendkorngewicht im Zusammenhang; die mittelspäten Saaten weisen dagegen trotz ihres beträchtlichen Tausend-

Tabelle 15.

Gesamtstickstoffgehalt von 1000 Körnern im Laufe der Entwicklung.

A. Huronweizen	13	21	28	35	40	41	42	43	44	46	51	Tage nach Beginn der Blüte
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Herbstsaat	0.151 [1]	0.369	0.463	0.628	—	0.666	—	—	0.656	—	—	
Frühsaat	0.183	0.338	0.533	0.703	0.692	—	—	0.745	—	—	—	
Mittelspäte Saat	0.116	0.323	0.529	0.767	—	0.814	—	—	—	0.885	0.918	
Spätsaat	0.197	0.434	0.665	0.782	—	—	0.761	—	0.720	—	—	
B. Marquisweizen	11	19	26	33	41	43	—	44	45	49	51	Tage nach Beginn der Blüte
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühsaat	0.166	0.286	0.450	0.611	0.644	—	—	0.722	—	—	—	
Mittelspäte Saat	0.113	0.264	0.506	0.747	—	0.783	—	—	—	0.850	0.835	
Spätsaat	0.157	0.395	0.640	0.754	—	0.787	—	—	0.760	—	—	
C. Strickhofweizen	11	18	26	33	40	—	—	44	—	—	—	Tage nach Beginn der Blüte
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
nicht gelagert	0.192	0.273	0.409	0.587	0.706	—	—	0.727	—	—	—	
vom 13. Tag nach Beginn der Blüte an gelagert	0.192	0.294	0.415	0.606	0.687	—	—	0.661	—	—	—	
					Gelbreife			Vollreife				

[1] Geerntet 11 Tage nach Beginn der Blüte

Tabelle 16.

Gesamtstickstoffgehalt des Embryo- und Endospermteils des Weizenkornes.

	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	N-Gehalt in % der Trockensubstanz			N-Gehalt von 1000 Stück in g	
		Embryoteil	Endospermteil untere Hälfte	Endospermteil obere Hälfte	Embryoteil	Endospermteil
Huronweizen vom Strickhof . .	21	5.3	1.74	1.83	0.018	0.344
	28	5.3	1.61	1.72	0.043	0.450
	35	4.8	1.67	1.79	0.063	0.577
	41 (Gelbreife)	4.6	1.86	1.91	0.062	0.667
	44 (Vollreife)	4.8	1.86	1.94	0.064	0.660
Strickhofweizen	19	6.2	1.59	1.64	0.020	0.352
	26	5.3	1.49	1.58	0.044	0.476
	33	5.3	1.57	1.78	0.068	0.642
	40 (Gelbreife)	5.4	1.62	1.77	0.074	0.658
	44 (Vollreife)	4.9	1.65	1.75	0.068	0.639

korngewichtes einen hohen prozentualen Stickstoffgehalt auf. Die in 1000 Körnern enthaltenen Stickstoffmengen sind daher bei diesen Kulturen wesentlich grösser als bei den übrigen (Tab. 15).

Der absolute, auf 1000 Körner berechnete Stickstoffgehalt stieg im Laufe der Entwicklung ziemlich gleichmässig an (Tab. 15). Die Einlagerung stickstoffhaltiger Verbindungen nahm auch während des eigentlichen Ausreifens, d. h. nach dem Abschluss des äusseren Wachstums ihren Fortgang. Diese Tatsache zeigt deutlich, *dass es sich bei der Zunahme der stickstoffhaltigen Bestandteile nicht etwa nur um eine Vermehrung der Plasmastoffe nach Massgabe des Wachstums der Körner, sondern um einen eigentlichen Speicherungsvorgang handelt,* der in der Regel bis ungefähr zur Gelbreife anhält. An dieser Speicherung beteiligen sich sowohl die Aleuronzellen, die nach den Untersuchungen von Nowacki (1870) zwischen Milch- und Gelbreife noch ziemlich stark an Grösse zunehmen, als auch die tieferliegenden Endospermzellen, in denen die Klebereiweißstoffe gebildet werden.

Die Embryonen verhalten sich in bezug auf den Stickstoffhaushalt — ähnlich wie hinsichtlich der Speicherung der Kohlehydrate — wesentlich anders als das Endosperm. Dies äussert sich schon im Gehalt an Gesamtstickstoff (Tab. 16). Die Embryonen zeichneten sich bereits 3 Wochen nach Beginn der Blüte durch ihren Reichtum an stickstoffhaltigen Verbindungen aus. Der prozentuale Stickstoffgehalt änderte sich in der Folge nur wenig; dagegen nahm die absolute Menge entsprechend dem Wachstum der Embryonen bis ungefähr eine Woche vor der Gelbreife zu. Innerhalb des Endospermteils wies die untere Hälfte durchgehends einen etwas niedrigeren Stickstoffgehalt auf. Im Laufe der Entwicklung machte sich im Endospermteil zuerst ein leichtes Abfallen und später, vom Stadium der Milchreife an, ein deutliches Ansteigen des prozentualen N-Gehaltes geltend. Es zeigte sich somit auch *im Endospermteil,* wie bei den als Ganzes untersuchten Körnern, *in den späteren Entwicklungsstadien eine deutliche Anreicherung stickstoffhaltiger Bestandteile.*

2. *Eiweiss- und Nichteiweiss-Stickstoff.*

Wenn es sich darum handelt, näheren Einblick in den Stickstoffhaushalt des wachsenden und reifenden Weizenkorns zu gewinnen, so stellt sich zuerst die Frage, welcher Anteil des Gesamtstickstoffs in den verschiedenen Entwicklungsstadien auf Eiweiss- bzw. Nichteiweißstickstoff entfällt. Aus den über diesen Gegenstand bereits vorliegenden Untersuchungen geht übereinstimmend hervor, dass der Nichteiweissstickstoff im Laufe der Entwicklung zurückgeht, der Eiweißstickstoff dagegen zunimmt (vgl. Nedokutschajew, 1902; Forgwer, 1906; Brenchley und Hall, 1909; Thatcher, 1915; Wood-

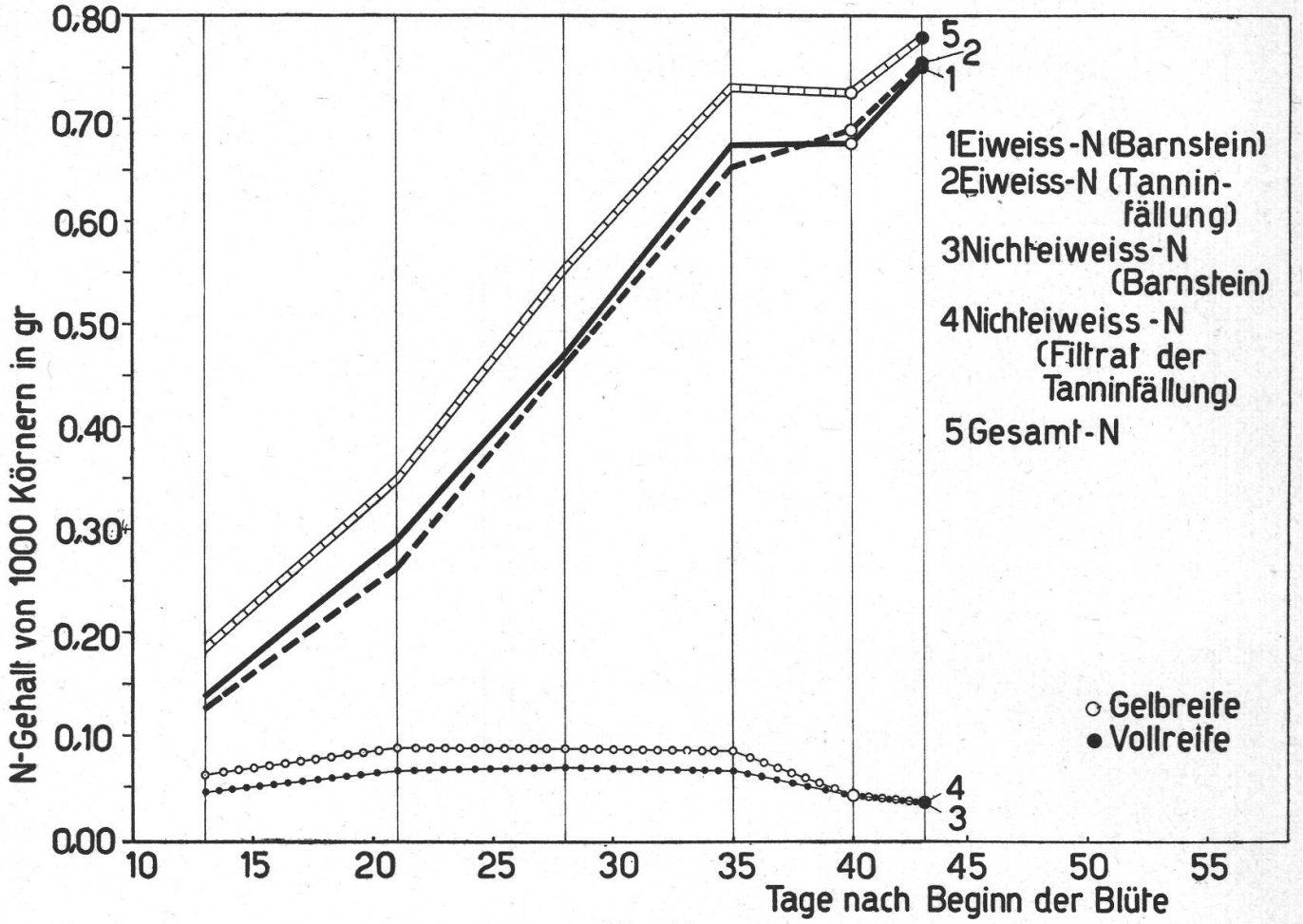


Fig. 14.
Absoluter Gehalt an Eiweiss- und Nichteiweißstickstoff im Laufe der Entwicklung (Huron Frühsaat).

man und Engledow, 1924; Kiesel und Kastrubin, 1934; McCalla und Newton, 1935; McCalla, 1938). Die stickstoffhaltigen Stoffe nichteiweissartiger Natur, welche u. a. die Wanderungsformen des Stickstoffs umfassen und die beim Ab- und Aufbau der Proteine stets anzutreffen sind, werden demnach mit fortschreitender Reife mehr und mehr in Eiweiss umgewandelt. Schjerning (1906) definiert denn auch auf Grund seiner Untersuchungen bei der Gerste die völlige Reife als den Zustand, wo die Umwandlung löslicher Kohlehydrate in unlösliche und die Verwandlung löslicher « Proteide » in unlösliche aufgehört oder ihr Maximum erreicht hat.

Trotzdem die im Laufe der Entwicklung stattfindenden Veränderungen des Eiweiss- und Nichteiweißstickstoffs aus der vorliegenden Literatur in den Hauptzügen bekannt sind, war es von Interesse, das gesamte von uns geerntete Material nach dieser Richtung zu untersuchen; dies namentlich deshalb, um einen allfälligen Einfluss der Saatzeit, der Lagerung und dergleichen mehr erkennen zu können. Die

Tabelle 17.

Eiweiss- und Nichteiweiss-Stickstoff von Huronweizen im Laufe der Entwicklung.

	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	N-Gehalt in % der Trockensubstanz		N-Gehalt von 1000 Körnern in g	
			Eiweiss-N	Nicht-eiweiss-N	Eiweiss-N	Nicht-eiweiss-N
Herbstsaat . .	25.VI.	11	1.45	0.70	0.101	0.049
	5.VII.	21	1.45	0.31	0.309	0.066
	12.VII.	28	1.36	0.22	0.391	0.063
	19.VII.	35	1.56	0.19	0.560	0.068
	25.VII. (Gelbreife)	41	1.76	0.13	0.627	0.046
	28.VII. (Vollreife)	44	1.71	0.11	0.627	0.040
Frühsaat . . .	5.VII.	13	1.46	0.47	0.136	0.044
	13.VII.	21	1.57	0.36	0.282	0.065
	20.VII.	28	1.64	0.24	0.456	0.067
	27.VII.	35	1.88	0.19	0.651	0.066
	1.VIII. (Gelbreife)	40	1.85	0.11	0.644	0.038
	4.VIII. (Vollreife)	43	2.04	0.10	0.717	0.035
Mittelspäte Saat	11.VII.	13	1.41	0.85	0.073	0.044
	19.VII.	21	1.80	0.43	0.259	0.062
	26.VII.	28	1.91	0.30	0.457	0.072
	2.VIII.	35	2.15	0.21	0.696	0.068
	8.VIII. (Gelbreife)	41	2.27	0.13	0.776	0.044
	13.VIII.	46	2.43	0.13	0.843	0.045
	18.VIII. (Vollreife)	51	2.53	0.12	0.873	0.041
Spätsaat . . .	27.VII.	13	1.82	0.75	0.136	0.056
	4.VIII.	21	2.09	0.34	0.375	0.061
	11.VIII.	28	2.15	0.24	0.606	0.068
	18.VIII.	35	2.37	0.24	0.710	0.072
	25.VIII. (Gelbreife)	42	2.51	0.15	0.729	0.044
	27.VIII. (Vollreife)	44	2.41	0.18	0.675	0.050

Tabelle 18.

Eiweiss- und Nichteiweiss-Stickstoff von Marquis-Weizen im Laufe der Entwicklung.

	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	N-Gehalt in % der Trockensubstanz		N-Gehalt von 1000 Körnern in g	
			Eiweiss-N	Nicht-eiweiss-N	Eiweiss-N	Nicht-eiweiss-N
Frühsaat . . .	3.VII.	11	1.58	0.54	0.121	0.041
	11.VII.	19	1.38	0.48	0.213	0.074
	18.VII.	26	1.65	0.26	0.391	0.062
	25.VII.	33	1.75	0.24	0.540	0.074
	2.VIII. (Gelbreife)	41	1.87	0.14	0.611	0.046
	5.VIII. (Vollreife)	44	2.09	0.14	0.692	0.047
Mittelspäte Saat	9.VII.	11	1.46	0.86	0.071	0.042
	17.VII.	19	1.75	0.44	0.212	0.053
	24.VII.	26	1.99	0.35	0.432	0.076
	31.VII.	33	2.22	0.27	0.672	0.082
	10.VIII. (Gelbreife)	43	2.30	0.12	0.748	0.039
	16.VIII.	49	2.48	0.12	0.807	0.039
	18.VIII. (Vollreife)	51	2.48	0.12	0.803	0.039
Spätsaat . . .	24.VII.	11	1.73	0.83	0.107	0.051
	1.VIII.	19	2.16	0.38	0.336	0.059
	8.VIII.	26	2.19	0.24	0.577	0.063
	15.VIII.	33	2.40	0.21	0.696	0.061
	25.VIII. (Gelbreife)	43	2.59	0.13	0.758	0.038
	27.VIII. (Vollreife)	45	2.65	0.13	0.732	0.036

Untersuchung erfolgte nach der Methode von Barnstein, und zwar wurde dabei sowohl der Niederschlag als auch das Filtrat der Kjeldahl-Bestimmung unterworfen. Die Verwendung von Kupferhydroxyd als Eiweissfällungsmittel hat zwar bekanntlich den Nachteil, dass unter Umständen auch Aminosäuren in den Niederschlag gelangen. Vergleichende Versuche ergaben in der Tat, dass unreife Körner bei der Untersuchung nach Barnstein etwas höhere Eiweisswerte lieferten als bei der Verwendung von Tannin als Fällungsmittel (vgl. Fig. 14, Tab. 21 bis 23). Da es sich aber nur um relativ geringe Unterschiede handelt, behielten wir — soweit nur die Ausscheidung in Eiweiss- und Nichteiweissstickstoff in Frage stand — die Methode von Barnstein bei. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 17—20 zusammengestellt.

Wie zu erwarten war, zeigten auch unsere Weizenkörner im Laufe der Entwicklung *eine kontinuierliche Abnahme des prozentualen Gehaltes an Nichteiweißstickstoff*. Besonders stark machte sich diese Abnahme in der Regel zwischen der ersten und zweiten Ernte geltend. Später verlangsamte sich der Rückgang; er hielt aber in der Mehrzahl der Fälle bis zur Vollreife an. Im Gegensatz zum Nichteiweißstickstoff nahm der in Form von Eiweiss vorliegende Stickstoff mit fortschreitender Reife zu. Bei den meisten Versuchsserien erstreckte sich diese Zu-

Tabelle 19.

Eiweiss- und Nichteiweiss-Stickstoff von Strickhofweizen im Laufe der Entwicklung.

	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	N-Gehalt in % der Trockensubstanz		N-Gehalt von 1000 Körnern in g	
			Eiweiss-N	Nicht-eiweiss-N	Eiweiss-N	Nicht-eiweiss-N
Vom 1. Juli an gelagert . .	29.VI.	11	1.58	0.57	0.139	0.050
	6.VII.	18	1.42	0.35	0.233	0.057
	14.VII.	26	1.41	0.24	0.353	0.060
	21.VII.	33	1.61	0.21	0.539	0.070
	28.VII. (Gelbreife)	40	1.85	0.15	0.642	0.052
	1.VIII. (Vollreife)	44	1.89	0.12	0.627	0.040
Nicht gelagert .	29.VI.	11	1.58	0.57	0.139	0.050
	6.VII.	18	1.36	0.38	0.212	0.059
	14.VII.	26	1.38	0.27	0.351	0.069
	21.VII.	33	1.48	0.22	0.511	0.076
	28.VII. (Gelbreife)	40	1.74	0.16	0.647	0.059
	1.VIII. (Vollreife)	44	1.86	0.12	0.697	0.045

nahme über die ganze Dauer der Entwicklung. Eine Ausnahme machen in dieser Hinsicht der frühgesäte Marquis und die im Herbst gesäten Kulturen, deren relativer (in % der Trockensubstanz ausgedrückter) Eiweiss-N-Gehalt anfänglich zurückging; dieser vorübergehende Rückgang ist die Folge der bei diesen Kulturen eintretenden starken Abnahme des Gesamtstickstoffgehaltes, auf die wir bereits früher hingewiesen haben.

Die Körner des gelagerten Strickhofweizens wiesen während der ganzen Entwicklung ungefähr denselben Gehalt an Eiweiss- und Nichteiweiss-N auf wie die der nicht gelagerten Pflanzen (Tab. 19). Auch die « gestossenen » Partien des frühgesäten Huron- und Marquisweizens, von denen wir speziell im Hinblick auf diese Untersuchungen etwas Material sammelten, unterschieden sich in bezug auf den Nichteiweissstickstoffgehalt ihrer Körner nicht von den gänzlich standfesten Pflanzen (Tab. 20). Die beim Eiweißstickstoff auftretenden, etwas grösseren Abweichungen sind wahrscheinlich auf Zufälligkeiten bei der Probeziehung zurückzuführen, die sich hier etwas stärker auswirken konnten, da bei den « gestossenen » Partien nur eine geringe Zahl bezeichneter Aehren zur Verfügung standen.

Tabelle 20.

Eiweiss- und Nichteiweiss-Stickstoff der Körner von normalen und « gestossenen » Kulturen.

	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Gehalt an Eiweiss-N		Gehalt an Nichteiweiss-N	
		Normaler Bestand	Gestossene Partie	Normaler Bestand	Gestossene Partie
		%	%	%	%
Huron (Frühsaat) .	21	1.57	1.35	0.36	0.32
	28	1.64	1.52	0.24	0.25
	35	1.88	1.84	0.19	0.19
	40 (Gelbreife)	1.85	2.09	0.11	0.13
	43 (Vollreife)	2.04	2.13	0.10	0.09
Marquis (Frühsaat)	26	1.65	1.60	0.26	0.26
	33	1.75	1.86	0.24	0.24
	41 (Gelbreife)	1.87	2.12	0.14	0.13
	44 (Vollreife)	2.09	2.11	0.14	0.14

Einen charakteristischen Verlauf nimmt der auf 1000 Körner berechnete Gehalt an Nichteiweißstickstoff (vgl. die 7. Kolonne von Tab. 17—19 und Fig. 14). Dieser stieg am Anfang der Entwicklung an, blieb sodann nicht selten während einiger Zeit ungefähr konstant, um schliesslich mit dem Uebergang zur Gelb- und Vollreife auf einen bedeutend

Tabelle 21.

Eiweiss- und Nichteiweiss-Stickstoff im Endospermteil des Weizens.

(Bezogen auf die Trockensubstanz.)

	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Bestimmt nach Barnstein				Bestimmung durch Fällung mit Tannin			
		Eiweiss-N		Nichteiweiss-N		Eiweiss-N		Nichteiweiss-N	
		Untere Hälfte	Obere Hälfte	Untere Hälfte	Obere Hälfte	Untere Hälfte	Obere Hälfte	Untere Hälfte	Obere Hälfte
		%	%	%	%	%	%	%	%
Huronweizen . . .	21	1.46	1.51	0.29	0.31	1.38	1.42	0.34	—
	28	1.42	1.50	0.19	0.19	1.40	1.50	0.20	0.19
	35	1.49	1.57	0.17	0.16	1.48	1.60	0.19	0.19
	41 (Gelbreife)	1.76	1.78	0.10	0.11	1.74	1.84	0.10	0.08
	44 (Vollreife)	1.74	1.83	0.11	0.11	1.79	1.87	0.07	0.08
Strickhofweizen . .	19	1.29	1.33	0.28	0.29	—	—	—	—
	26	1.23	1.36	0.23	0.19	—	—	—	—
	33	1.41	1.61	0.14	0.15	—	—	—	—
	40 (Gelbreife)	1.53	1.69	0.07	0.08	—	—	—	—
	44 (Vollreife)	1.55	1.66	0.08	0.08	—	—	—	—

niedrigeren Wert zu sinken. Auf diese Erscheinung ist auch von anderen Autoren hingewiesen worden (Brenchley und Hall, 1909; Woodman und Engledow, 1924). Die anfängliche Zunahme des absoluten Gehaltes an Nichteiweißstickstoff deutet darauf hin, dass der Zustrom löslicher Stickstoffverbindungen in den frühen Entwicklungsstadien rascher vor sich geht als die Eiweißsynthese. Es folgt darauf vielfach eine Periode, wo sich die Einwanderung einfacher Stickstoffkörper und der Eiweissaufbau anscheinend ungefähr die Waage halten, bis schliesslich während des eigentlichen Ausreifens, wie der sinkende Gehalt an Nichteiweiss-N anzeigt, die synthetischen Prozesse überwiegen. Die in 1000 Körnern enthaltene Menge Eiweißstickstoff nimmt mit fortschreitender Entwicklung kontinuierlich zu; die entsprechende Kurve lehnt sich ziemlich eng an die Kurve des absoluten Gesamtstickstoffgehaltes an (Fig. 14).

Tabelle 22.

Eiweiss- und Nichteiweiss-Stickstoff im Embryoteil von Huronweizen.

Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	N-Gehalt in % der Trockensubstanz				N-Gehalt von 1000 Stück in g			
	Nach Barnstein		Tanninfällung		Nach Barnstein		Tanninfällung	
	Eiweiss-N	Nichteiweiss-N	Eiweiss-N	Nichteiweiss-N	Eiweiss-N	Nichteiweiss-N	Eiweiss-N	Nichteiweiss-N
21	4.5	0.8	—	—	0.015	0.003	—	—
28	4.7	0.5	4.2	1.1	0.039	0.004	0.035	0.009
35	4.4	0.4	4.1	0.7	0.058	0.006	0.055	0.009
41 (Gelbreife)	4.2	0.4	4.3	0.3	0.056	0.005	0.058	0.004
44 (Vollreife)	4.3	0.5	4.2	0.5	0.058	0.006	0.057	0.007

Aehnlich wie in den als Ganzes untersuchten Körnern ging auch in den einzelnen Teilen derselben der Nichteiweißstickstoff im Laufe der Entwicklung zurück (Tab. 21 und 22). Der Embryo wies während der ganzen Entwicklung einen höheren Gehalt an Nichteiweiss-N auf als das Endosperm; dagegen machte sich in dieser Beziehung zwischen der unteren und der oberen Hälfte des Endospermteils kein Unterschied bemerkbar. Der Eiweissgehalt der Embryonen veränderte sich während des Ausreifens nur wenig. Das Endosperm zeigte dagegen von der fünften Woche, d. h. vom Stadium der Milchreife an ein deutliches Ansteigen des in % der Trockensubstanz ausgedrückten Gehaltes an Eiweißstickstoff.

Der absolute Gehalt an Eiweiss nahm sowohl im Embryo als auch im Endospermteil mit fortschreitender Entwicklung zu (Tab. 22 und 23). Im reifen Zustand war beim Huronweizen etwa $^1/_{12}$ des gesamten Eiweißstickstoffs des Korns im Embryo enthalten, trotzdem das Trockengewicht des Embryoteils weniger als 4 % der Trockenmasse des ganzen Korns ausmachte. Während die Eiweißstoffe des Endosperms überwiegend als Reserveproteine anzusprechen sind, dürfte es sich bei den Proteinen des Embryos in der Hauptsache um Plasmaeiweiss handeln. Immerhin sei darauf hingewiesen, dass auch der Embryo Aleuronkörner enthält (Arnold, 1927).

Tabelle 23.

Eiweiss- und Nichteiweiss-Stickstoff im Endospermteil des Weizens.
(Berechnet auf 1000 Endosperme.)

	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Bestimmt nach Barnstein		Bestimmt durch Fällung mit Tannin	
		Eiweiss-N	Nicht-eiweiss-N	Eiweiss-N	Nicht-eiweiss-N
		g	g	g	g
Huronweizen vom Strickhof	21	0.287	0.058	0.270	—
	28	0.393	0.051	0.392	0.053
	35	0.511	0.056	0.513	0.062
	41 (Gelbreife)	0.626	0.038	0.634	0.031
	44 (Vollreife)	0.621	0.038	0.636	0.026
Strickhofweizen .	19	0.286	0.063	—	—
	26	0.402	0.065	—	—
	33	0.579	0.056	—	—
	40 (Gelbreife)	0.625	0.029	—	—
	44 (Vollreife)	0.604	0.029	—	—

3. *Die löslichen Stickstoffverbindungen.*

a) Einleitung.

Im Hinblick auf die Bedeutung, die den löslichen Stickstoffverbindungen bei der Stoffwanderung und beim Aufbau der Plasmastoffe und der hochmolekularen Reservestoffe zukommt, war es gegeben, innerhalb dieser Stoffgruppe eine weitere Differenzierung vorzunehmen. Die Ausdehnung unserer Untersuchungen nach dieser Richtung drängte sich um so eher auf, als die Veränderungen der einzelnen Gruppen löslicher Stickstoffverbindungen im wachsenden und reifenden Weizenkorn bis jetzt verhältnismässig wenig studiert worden sind.

Die ersten diesbezüglichen Angaben finden sich in den Arbeiten von Nedokutschajew (1902, 1903), welcher mit fortschreitender

Entwicklung einen kontinuierlichen Rückgang des Asparaginstickstoffs und des mit Phosphorwolframsäure fällbaren Stickstoffs feststellte. Später konstatierte Lüers (1920) während des Uebergangs von der Gelb- zur Vollreife eine Abnahme des formoltitrierbaren Stickstoffs, das heisst des Stickstoffs der Aminosäuren und der freien Aminogruppen der Polypeptide und Eiweißstoffe. Woodman und Engledow (1924) verfolgten die Veränderung des Gehaltes an Ammoniak und Aminosäuren (inklusive Asparagin) während des ganzen Verlaufs der Entwicklung. Sie stellten dabei einen kontinuierlichen Rückgang der Aminosäuren fest. Auch der Gehalt an Ammoniakstickstoff ging zurück, doch betrug dieser selbst in den reifen Körnern noch 0.111 % der Trockensubstanz. Die Veränderung des Ammoniakgehaltes wurde auch von McCalla und Newton (1935) näher verfolgt; in diesen Untersuchungen wiesen die Weizenkörner 14 Tage nach der Blüte den höchsten NH_3-N-Gehalt, nämlich 1.34 % des Gesamt-N (= 0.033 % der Trokkensubstanz) auf; in den reifen Körnern waren dagegen keine messbaren Mengen Ammoniak enthalten. Sharp (1925) stellte, ähnlich wie Woodman und Engledow, mit fortschreitender Entwicklung eine andauernde Abnahme des Aminostickstoffgehaltes fest; diese kam bei einem Wassergehalt von zirka 30—35 % zum Stillstand. Ueber den Monoamino- und den Amidstickstoff der Körner von Wasserkulturen macht schliesslich McCalla (1933, S. 564) einige Angaben. Diese zeigen, dass der Monoamino-N mit fortschreitender Reife zurückging, während der Anteil des Amid-N, bezogen auf den gesamten Nichteiweiss-N, eine schwache Zunahme aufwies.

b) Untersuchungsmethoden.

Bei der Bestimmung der einzelnen Gruppen löslicher Stickstoffverbindungen handelte es sich zunächst darum, diese aus einer grössern Substanzmenge in möglichst unverändertem Zustand auszuziehen. Die Verwendung von siedendem Wasser als Extraktionsmittel erwies sich für unser stärkereiches Material als wenig geeignet, da die durch das heisse Wasser bewirkte Verkleisterung die Trennung der Lösung vom Rückstand zu stark erschwerte. Durch Reduktion der Wassertemperatur auf 50—55° C konnte die Kleisterbildung vermieden werden; dagegen bestand bei dieser Temperatur die Gefahr, dass die im vakuumgetrockneten Material noch vorhandenen Enzyme in verhältnismässig kurzer Zeit beträchtliche Spaltungen hervorrufen würden. Wir gingen daher zur Extraktion mit kaltem Wasser über, einer Methode, bei der die Zersetzungsgefahr wesentlich geringer war, und die sich in Vorversuchen hinsichtlich der Vollständigkeit der Extraktion als ungefähr ebenso leistungsfähig erwiesen hatte wie der Auszug mit Wasser von 50—55° C.

Die Herstellung des Kaltwasserauszuges erfolgte folgendermassen: Es wurden in der Regel 2 × 15 g Mehl[1] mit 100 cm³ ausgekochtem destilliertem Wasser zwei Stunden auf dem Schüttelapparat bei Zimmertemperatur geschüttelt. Die Suspension wurde zentrifugiert, die überstehende Lösung abgegossen und zur Abtötung der darin noch enthaltenen Enzyme während einer Viertelstunde im siedenden Wasserbad erhitzt. Der Rückstand wurde in den Zentrifugengläsern noch zweimal 30 Minuten lang mit je 50 cm³ Wasser behandelt und die durch Auszentrifugieren gewonnenen Lösungen wiederum im Wasserbad erhitzt.

Zur Ausfällung der in den erhitzten Extrakten noch enthaltenen löslichen Eiweißstoffe wurde Tannin verwendet, ein Eiweissfällungsmittel, das in pflanzenphysiologischen Untersuchungen häufig verwendet worden ist (vgl. z. B. Jodidi, 1925; Mothes, 1926; Engel, 1929; Gäumann, 1932; Rahn, 1932). Die mit zirka 4 cm³ einer 10%igen Tanninlösung versetzte Flüssigkeit wurde, um den Niederschlag absetzen zu lassen, über Nacht stehengelassen. Hierauf wurde die überstehende Lösung durch ein Faltenfilter dekantiert, der Niederschlag, bestehend aus den durch Erhitzen und durch Tanninzusatz ausgefällten Stoffen, quantitativ aufs Filter gebracht und mit NH_3-freiem Wasser ausgewaschen. Filter und Niederschlag wurden der Kjeldahl-Bestimmung unterworfen; das Resultat dieser Bestimmung ergibt nach Abzug des N-Gehaltes des Filters den Stickstoff der in 15 g Ausgangsmaterial enthaltenen wasserlöslichen Eiweißstoffe.[2]

Filtrat und Waschwasser wurden auf 250 cm³ aufgefüllt; aliquote Teile dieser Lösung dienten der Bestimmung des gesamten Nichtproteinstickstoffs, des Ammoniak-, des Säureamid- und des Aminostickstoffs. Der Gehalt an präformiertem Ammoniak wurde durch Vakuumdestillation mit MgO unter Anwendung der von Keyssner und Tauböck (1933) beschriebenen Apparatur bestimmt, die Summe von NH_3-N und Amid-N auf übliche Weise durch zweistündiges Kochen mit H_2SO_4 im Glyzerinbad und darauffolgende Destillation mit Magnesiumoxyd.

---

[1] In vereinzelten Fällen musste wegen Mangel an Material mit geringeren Substanzmengen gearbeitet und z. T. auf Wiederholungen verzichtet werden. Die Wiederholungen kamen — abgesehen von den Aminostickstoffbestimmungen, welche durchwegs doppelt ausgeführt wurden — insbesondere bei der mit den einzelnen Samenteilen von Strickhofweizen durchgeführten Versuchsserie in Wegfall.

[2] Es wäre natürlich von grossem Interesse, auch die verschiedenen Gruppen von *wasserunlöslichen Eiweißstoffen* und ihre Veränderung im Laufe der Entwicklung mengenmässig zu verfolgen. Hierfür fehlen aber zur Zeit die methodischen Voraussetzungen. Neuere Untersuchungen haben nämlich gezeigt, dass sich die seit den Untersuchungen von Osborne übliche Einteilung der Kleberproteine in Gliadin und Glutenin wahrscheinlich nicht aufrechterhalten lässt, da diese auf Grund ihrer Löslichkeit in Alkohol bzw. in verdünnten Alkalien ausgeschiedenen Substanzen keine chemisch einheitlichen Stoffe darstellen (vgl. Sandstedt und Blish, 1933).

Zur Ermittlung des α-Aminostickstoffs nach Van Slyke konnte unsere Lösung nicht direkt verwendet werden, da das darin enthaltene Tannin die gasvolumetrische Bestimmung des Aminostickstoffs stört. Zuerst wurde versucht, den Rückstand der Amidbestimmung, in welchem das Tannin durch die MgO-Destillation unschädlich gemacht ist, nach Abfiltrieren der gebildeten Huminstoffe zur Ermittlung des Aminostickstoffs heranzuziehen (Jodidi, 1925). Vergleichende Versuche ergaben aber, dass die auf diese Weise festgestellten Werte, sowohl bei reifen als auch bei unreifen Körnern, wesentlich hinter den auf direktem Wege — z. B. nach Ausfällung der Eiweißstoffe durch Bleiazetat — ermittelten Gehaltszahlen zurückblieben. Es war also damit zu rechnen, dass während der Amidbestimmung ein Teil des α-Aminostickstoffs zerstört wird, eine Erscheinung, die sich schon daraus erklärt, dass bei der Säurehydrolyse durch Kondensation von Tryptophan und andern Aminosäuren mit aldehydartigen Verbindungen Huminsubstanzen gebildet werden (Gortner und Holme, 1933; Orcutt und Wilson, 1936). Das Tannin musste daher durch ein schonenderes Verfahren unschädlich gemacht werden. Als geeignet erwies sich die von Rahn (1932) vorgeschlagene Behandlung mit Bichromat. Wir versetzten daher eine aliquote Menge des vom Eiweiss befreiten Extraktes (meist 40 cm³) mit dem zehnten Teil des Volumens an 3%iger Kaliumbichromatlösung, liessen das Gemisch einen Tag stehen, füllten auf ein bestimmtes Volumen auf und verwendeten je 2×10 cm³ dieser Lösung zur Aminostickstoffbestimmung nach Van Slyke.

Die Summe von Amino-N, Amid-N und NH_3-N machte durchwegs nur einen Teil des gesamten Nichteiweißstickstoffs aus. Um einen Anhaltspunkt über die Zusammensetzung des nicht erfassten Restes zu gewinnen, stellten wir bei einigen Versuchsserien noch den Polypeptidstickstoff nach dem von Jodidi (1925) beschriebenen Verfahren fest. Zu diesem Zwecke wurde der bei der Amidbestimmung verbleibende Rückstand mit heissem Wasser in grosse Zentrifugengläser übergeführt und die darin enthaltenen löslichen Stoffe zunächst durch Zentrifugieren und hernach durch gründliches Auswaschen auf dem Faltenfilter vom MgO und den Huminsubstanzen getrennt. Die vereinigten Waschwasser wurden auf dem Wasserbad eingeengt und auf 100 cm³ aufgefüllt. 2×10 cm³ dieser Lösung dienten unmittelbar der Bestimmung des α-Amino-N nach Van Slyke, weitere 50 cm³ wurden mit soviel konzentrierter Salzsäure versetzt, dass eine 20%ige HCl-Lösung entstand, und hernach während 12 Stunden im Glyzerinbad unter dem Rückflusskühler gekocht. Nach dem Aufschluss wurde die Lösung auf dem Wasserbad zur Vertreibung der Salzsäure eingedampft, der Rückstand mit heissem Wasser aufgenommen und in ein 50 cm³ fassendes Messkölbchen filtriert. 2×10 cm³ des auf 50 cm³ aufgefüllten Filtrates wurden der Van-Slyke-Bestimmung unterworfen; der Zuwachs an Amino-N

gegenüber dem vor dem Salzsäureaufschluss ermittelten Wert stellt den peptidartig gebundenen Stickstoff der in der Lösung enthaltenen Polypeptide dar.

Zum Schluss sei noch bemerkt, dass die zur Bestimmung der löslichen Stickstoffverbindungen verwendeten Proben mittels Diphenylaminschwefelsäure auf die Gegenwart von Nitrat geprüft wurden, und zwar durchwegs mit negativem Ergebnis. Dieser Befund steht in Uebereinstimmung mit den Beobachtungen von Woodman und Engledow (1924) und McCalla (1933).

c) Untersuchungsergebnisse.

Die beim Huronweizen ermittelten Analysenresultate sind, in % der Trockensubstanz ausgedrückt, in Tab. 24 zusammengestellt. Aus diesen Zahlen geht zunächst hervor, dass der Aminostickstoffgehalt im Laufe der Entwicklung kontinuierlich abnimmt. Eine andauernde Abnahme erfährt auch der in viel geringeren Mengen auftretende Ammoniakstickstoff; während der Amidstickstoffgehalt nur anfänglich zurückgeht, zwischen Milch- und Gelbreife dagegen vielfach wieder etwas zunimmt. Die erwähnten Veränderungen sind auch sehr deutlich aus Fig. 15 ersichtlich, welche die beim Strickhofweizen festgestellten Resultate veranschaulicht.

Der Aminostickstoff bildet die weitaus stärkste Fraktion des Nichteiweißstickstoffs, *er tritt insbesondere in bedeutend grösseren Mengen auf als der Amidstickstoff.* Der im wachsenden Weizenkorn enthaltene α-Amino-N ist demnach, wenigstens in den frühen Entwicklungsstadien, nur zu einem geringen Teil an Asparagin oder Glutamin gebunden. Gegen das Ende des Reifungsprozesses steigt allerdings der relative Anteil des Amid-N etwas an, so dass in den reifen Körnern ein nicht unbeträchtlicher Teil der stickstoffhaltigen Stoffe nichteiweissartiger Natur in Form von Asparagin oder Glutamin vorliegt. Diese Verschiebung tritt noch deutlicher in Erscheinung, wenn wir den gesamten in den Säureamiden enthaltenen Stickstoff,[1] also den doppelten Amid-N, dem α-Amino-N der übrigen Aminosäuren (= Amino-N minus einfacher Amid-N) gegenüberstellen (siehe Tab. 25).

Es mag auffallen, dass die Säureamide, die im allgemeinen als bevorzugte Wanderungsform des Stickstoffs gelten, zur Zeit der intensivsten Stickstoffzufuhr nur in relativ geringen Mengen im Korn enthalten sind. Es ist indessen zu beachten, dass wir bei der Analyse der löslichen

---

[1] Asparagin und Glutamin enthalten bekanntlich ausser der Amidgruppe eine α-Aminogruppe, deren Stickstoff zusammen mit dem α-Amino-N der übrigen Aminosäuren bei der Van-Slyke-Bestimmung erfasst wird. Was das Mengenverhältnis der beiden Säureamide anbelangt, ist auf Grund der Untersuchungen von Schwab (1936, S. 587) anzunehmen, dass beim Weizen das Asparagin stark überwiegt.

Tabelle 24.

Gehalt der Körner von Huronweizen an löslichen Stickstoffverbindungen.

(Ausgedrückt in % der Trockensubstanz.)

Versuchsserie	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Amino-N	Amid-N	NH_3-N	Summe von Amino-N, Amid-N und NH_3-N	Nicht-eiweiss-N	Löslicher Eiweiss-N	Gesamt-N
			%	%	%	%	%	%	%
Frühsaat	5.VII.	13	0.288	0.021	0.034	0.343	0.56	0.47	1.96
	13.VII.	21	0.191	0.015	0.029	0.235	0.36	0.32	1.88
	20.VII.	28	0.101	0.012	0.014	0.127	0.21	0.29	1.92
	27.VII.	35	0.077	0.006	0.009	0.092	0.16	0.29	2.03
	1.VIII. (Gelbreife)	40	0.028	0.005	Spuren	0.033	0.08	0.30	1.99
	4.VIII. (Vollreife)	43	0.022	0.007	0	0.029	0.08	0.32	2.12
Mittelspäte Saat . . .	11.VII.	13	0.383	0.053	0.044	0.480	0.84	0.49	2.24
	19.VII.	21	0.193	0.013	0.036	0.242	0.44	0.42	2.24
	26.VII.	28	0.144	0.008	0.021	0.173	0.26	0.33	2.21
	2.VIII.	35	0.080	0.006	0.011	0.097	0.19	0.30	2.37
	8.VIII. (Gelbreife)	41	0.049	0.007	0.002	0.058	0.11	0.32	2.38
	13.VIII.	46	0.052	0.009	0.001	0.062	0.11	0.33	2.55
	18.VIII. (Vollreife)	51	0.029	0.008	0.001	0.038	0.10	0.33	2.66
Spätsaat	27.VII.	13	0.483	0.047	0.046	0.576	0.76	0.56	2.64
	4.VIII.	21	0.137	0.011	0.020	0.168	0.25	0.35	2.42
	11.VIII.	28	0.094	0.008	0.013	0.115	0.18	0.30	2.36
	18.VIII.	35	0.069	0.015	0.008	0.092	0.13	0.31	2.61
	25.VIII. (Gelbreife)	42	0.042	0.011	0.001	0.054	0.11	0.31	2.62
	27.VIII. (Vollreife)	44	0.031	0.011	0.001	0.043	0.10	0.32	2.57

Tabelle 25.

Säureamid-N und Aminosäuren-N von Huronweizen im Laufe der Entwicklung.
(Bezogen auf die Trockensubstanz.)

Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Frühsaat		Mittelspäte Saat		Spätsaat	
	Säureamid-N (doppelter Amid-N)	Aminosäuren-N (Amino-N minus einfacher Amid-N)	Säureamid-N (doppelter Amid-N)	Aminosäuren-N (Amino-N minus einfacher Amid-N)	Säureamid-N (doppelter Amid-N)	Aminosäuren-N (Amino-N minus einfacher Amid-N)
	%	%	%	%	%	%
13	0.042	0.267	0.106	0.330	0.094	0.436
21	0.030	0.176	0.026	0.180	0.022	0.126
28	0.024	0.089	0.016	0.136	0.016	0.086
35	0.012	0.071	0.012	0.074	0.030	0.054
40 (Gelbreife)	0.010	0.023	—	—	—	—
41 (Gelbreife)	—	—	0.014	0.042	—	—
42 (Gelbreife)	—	—	—	—	0.022	0.031
43 (Vollreife)	0.014	0.015	—	—	—	—
44 (Vollreife)	—	—	—	—	0.022	0.020
46 (Vollreife)	—	—	0.018	0.043	—	—
51 (Vollreife)	—	—	0.016	0.021	—	—

Stickstoffverbindungen nicht nur die zur Wanderung befähigten Stoffe, sondern auch Umwandlungsprodukte derselben erfassen. Da wir nicht wissen, mit welcher Geschwindigkeit die einwandernden Verbindungen in die für die Synthese der Reserveproteine erforderlichen spezifischen Bausteine umgewandelt werden, lassen sich aus den gefundenen Analysenzahlen keine sicheren Rückschlüsse auf die feinere Zusammensetzung des den Körnern zufliessenden Nährstoffstroms ziehen.

Unsere Weizenkörner enthielten in den frühen Entwicklungsstadien nicht unbeträchtliche Mengen von *präformiertem Ammoniak* (Tab. 24, Fig. 15). Der Gehalt an NH_3-N ging in der Folge andauernd zurück; zur Zeit der Gelb- und Vollreife wurden nur noch Spuren von Ammoniak gefunden. Unsere Werte liegen bedeutend tiefer als diejenigen von Woodman und Engledow (1924); sie stimmen aber recht gut mit den von McCalla und Newton (1935) gefundenen Zahlen überein.[1] Das Auftreten von präformiertem Ammoniak zur Zeit der intensiven Stoffzufuhr lässt es als möglich erscheinen, dass ein Teil des Stickstoffs

[1] Um festzustellen, ob der NH_3-Gehalt eventuell infolge der Vakuumtrocknung verändert sein könnte, führten wir verschiedentlich Parallelbestimmungen mit frisch verarbeitetem Material durch. Die dabei erzielten Werte stimmten mit den an der getrockneten Substanz ermittelten innerhalb der Fehlergrenzen überein.

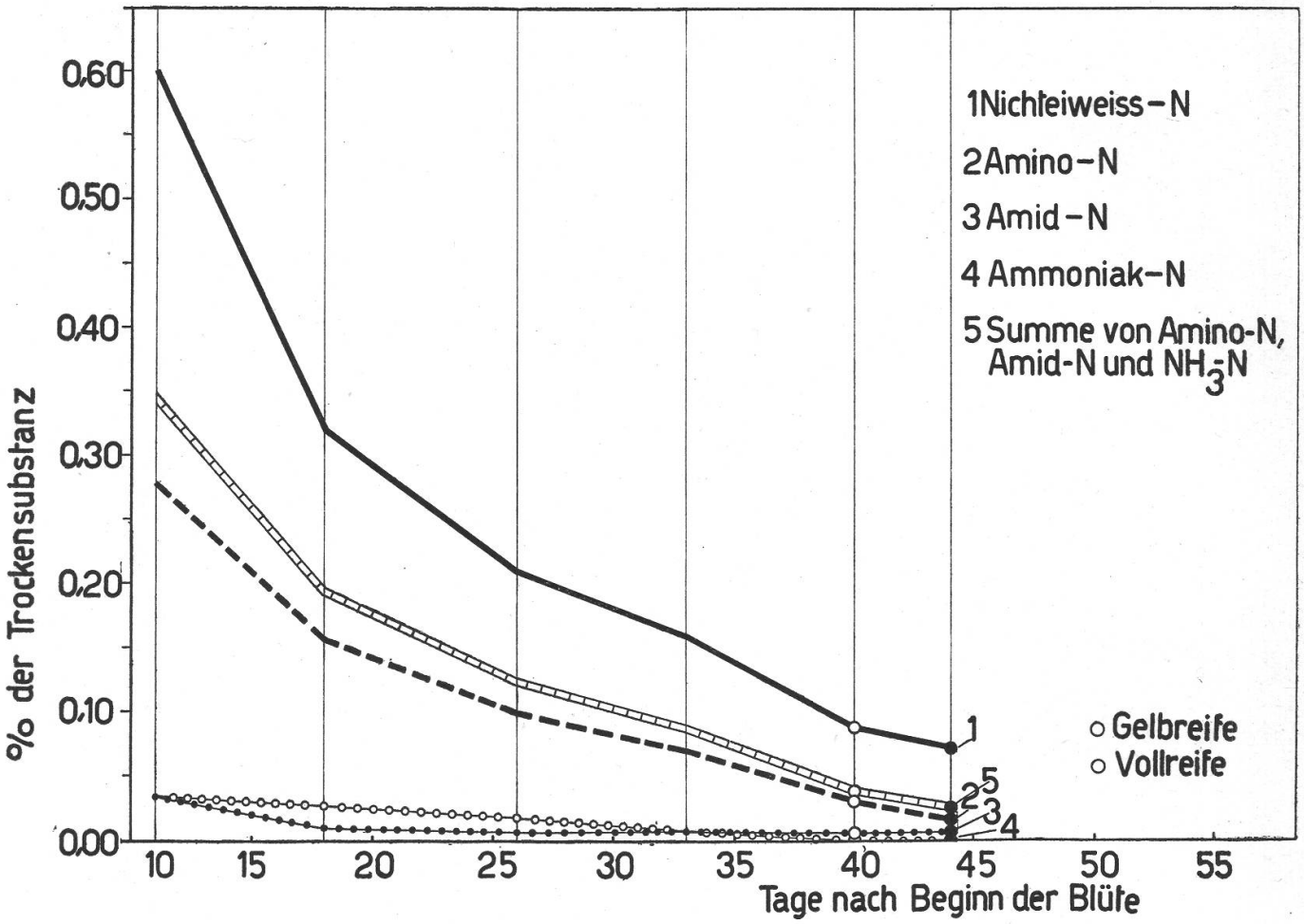


Fig. 15.
Veränderung des Gehaltes an löslichen Stickstoffverbindungen im Laufe der Entwicklung (Strickhofweizen).

in dieser Form, d. h. in Form von Ammoniumsalzen organischer Säuren ins Korn einwandert (Woodman und Engledow, 1924; McCalla und Newton, 1935). Da aber im Korn selbst im Zusammenhang mit der Bereitstellung der spezifischen Eiweissbausteine mancherlei Umwandlungsprozesse (z. B. Abspaltung der Amidgruppe des Asparagins, Desaminierung von Aminosäuren und dergleichen) vor sich gehen dürften, kann das vorgefundene Ammoniak auch sehr wohl sekundären Ursprungs sein. Auf jeden Fall deutet die Abwesenheit im gelb- und vollreifen Korn darauf hin, dass es sich beim *Ammoniak* um einen *transitorischen Stoff* handelt, *der im Stoffwechsel fortlaufend wieder Verwendung findet.*

Zwischen den einzelnen Versuchsserien machen sich hinsichtlich des prozentualen Gehaltes an löslichen Stickstoffverbindungen gewisse Unterschiede bemerkbar. Diese Abweichungen, die sowohl den Aminostickstoff (Fig. 16) als auch den Amid- und Ammoniakstickstoff betreffen (Tab. 24), hängen zum Teil mit der ungleichen Entwicklungs-

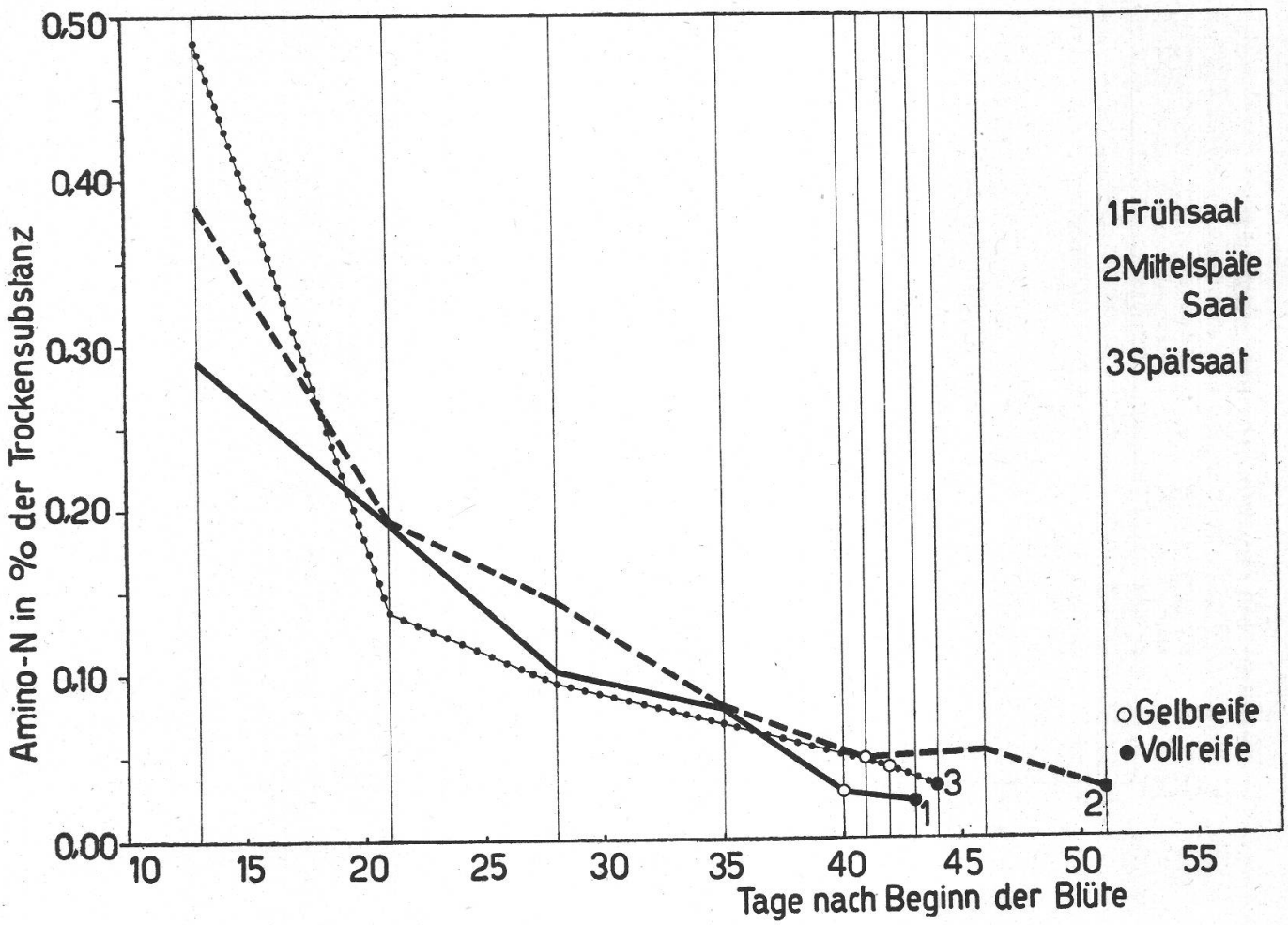


Fig. 16.
Aminostickstoffgehalt der Körner von Huronweizen im Laufe der Entwicklung.

geschwindigkeit der einzelnen Kulturen zusammen. So enthalten die Körner der mittelspäten Saat bei der ersten Probeentnahme allem Anschein nach deswegen mehr Amino-, Amid- und Ammoniakstickstoff als die der Frühsaaten, weil sie in diesem Zeitpunkt in der Entwicklung noch bedeutend weiter zurück sind. Die Aminostickstoff-Kurven der einzelnen Versuchsserien nehmen denn auch einen gleichförmigeren Verlauf, wenn wir den Amino-N-Gehalt mit der Veränderung des Wassergehaltes in Beziehung bringen, da der Wassergehalt, wie wir bereits früher bemerkten, einen zuverlässigeren Maßstab des Entwicklungszustandes bildet als die seit Beginn der Blüte verflossene Zeit (Fig. 17). Immerhin ist darauf hinzuweisen, dass die Entwicklungsunterschiede nicht für alle zwischen den einzelnen Serien beobachteten Abweichungen verantwortlich gemacht werden können. So wiesen die bei der ersten Probeentnahme geernteten Körner der *Spätsaat* einen überaus hohen Gehalt an Aminostickstoff auf, trotzdem sie, wie das höhere Trockengewicht anzeigt, in der Entwicklung weiter fortgeschritten waren als die gleichaltrigen Körner der mittelspäten Saat.

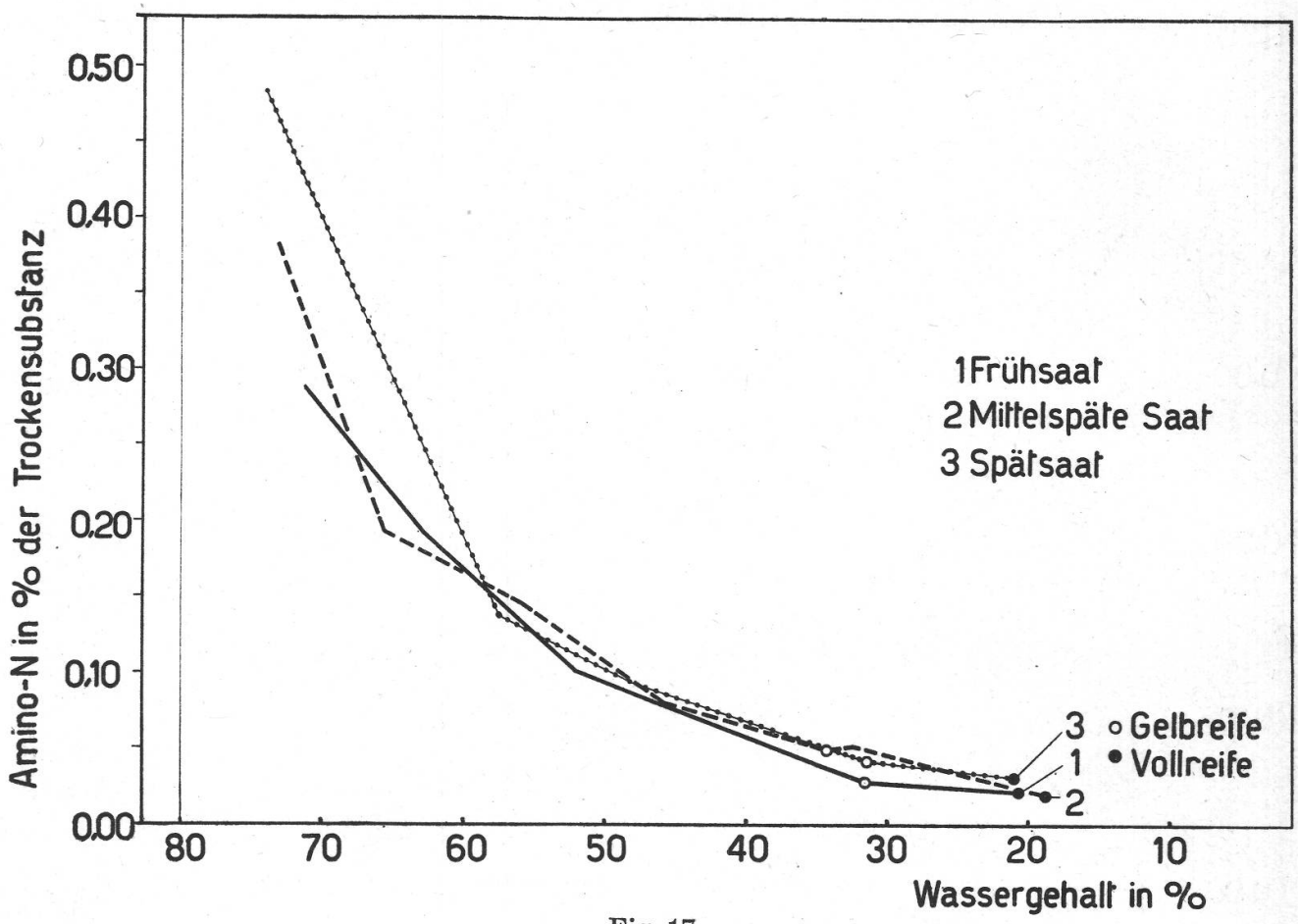


Fig. 17.
Aminostickstoffgehalt von Huronweizen in Beziehung zum Wassergehalt.

Um einen Einblick in die mengenmässigen Verschiebungen der einzelnen Gruppen stickstoffhaltiger Verbindungen zu gewinnen, sollen nunmehr die auf 1000 Körner berechneten absoluten Werte näher betrachtet werden (siehe Tab. 26 und Fig. 18 und 19). Wir haben bereits früher gesehen, dass der absolute Gehalt an Nichteiweißstickstoff in den frühen Entwicklungsstadien ansteigt, sodann vielfach während einiger Zeit annähernd konstant bleibt, um schliesslich während des eigentlichen Ausreifens wiederum zu sinken. Eine im grossen und ganzen ähnliche Veränderung erfährt die in 1000 Körnern enthaltene Menge Aminostickstoff. Da der Aufbau der Polypeptide und Eiweißstoffe nach den heutigen Anschauungen über die Stufe der Aminosäuren führt, geben uns die Verschiebungen des Aminostickstoffgehaltes einen gewissen Anhaltspunkt über die Intensität der Aufbauprozesse. Die anfängliche Zunahme des absoluten Gehaltes an Aminostickstoff deutet darauf hin, dass die Bereitstellung der Aminosäuren — sei es durch direkte Einwanderung, sei es durch Neubildung an Ort und Stelle aus dem in anderer Form, z. B. als Asparagin eingewanderten Stickstoff — in den frühen Entwicklungsstadien rascher erfolgt als ihre Synthese zu höher-

Tabelle 26.

Veränderung des absoluten Gehaltes an löslichen Stickstoffverbindungen beim Huronweizen.

(Berechnet auf 1000 Körner.)

	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Amino-N	Amid-N	NH_3-N	Summe von Amino-N, Amid-N und NH_3-N	Nicht-eiweiss-N	Löslicher Eiweiss-N	Gesamt-N
			mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Frühsaat	5.VII.	13	26.9	2.0	3.2	32.1	52	44	183
	13.VII.	21	34.3	2.7	5.2	42.2	65	57	338
	20.VII.	28	28.1	3.3	3.9	35.3	58	81	533
	27.VII.	35	26.7	2.0	3.1	31.8	55	101	703
	1.VIII. (Gelbreife)	40	9.6	2.0	Spuren	11.6	28	104	692
	4.VIII. (Vollreife)	43	7.7	2.6	0	10.3	29	113	745
Mittelspäte Saat . .	11.VII.	13	19.9	2.7	2.3	24.9	44	25	116
	19.VII.	21	27.8	1.9	5.2	34.9	63	60	323
	26.VII.	28	34.5	1.9	5.0	41.4	62	79	529
	2.VIII.	35	25.9	2.0	3.5	31.4	61	97	767
	8.VIII. (Gelbreife)	41	16.8	2.4	0.6	19.8	37	109	814
	13.VIII.	46	18.0	3.0	0.5	21.5	38	115	885
	18.VIII. (Vollreife)	51	10.0	2.6	0.5	13.1	34	115	918
Spätsaat	27.VII.	13	36.1	3.5	3.4	43.0	57	42	197
	4.VIII.	21	24.6	2.0	3.6	30.2	44	63	434
	11.VIII.	28	26.5	2.3	3.7	32.5	51	85	665
	18.VIII.	35	20.7	4.5	2.4	27.6	39	93	782
	25.VIII. (Gelbreife)	42	12.2	3.1	0.5	15.8	32	90	761
	27.VIII. (Vollreife)	44	8.7	3.1	0.3	12.1	28	90	720

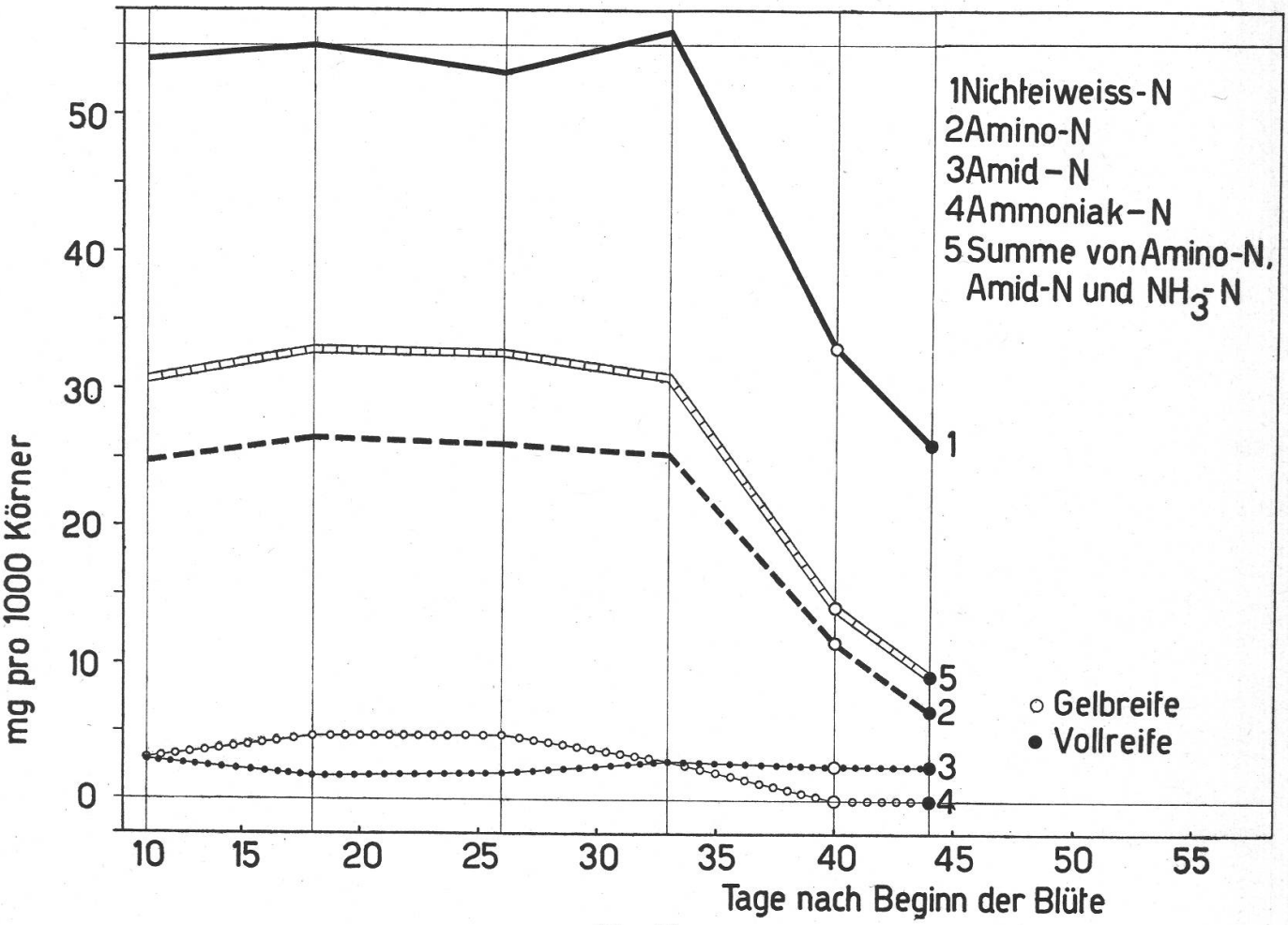


Fig. 18.
Veränderung des absoluten Gehaltes an löslichen Stickstoffverbindungen im Laufe der Entwicklung (Strickhofweizen).

molekularen Verbindungen. Umgekehrt lässt die gegen das Ende des Reifungsprozesses eintretende Abnahme des Aminostickstoffgehaltes auf ein Ueberwiegen der aufbauenden Prozesse schliessen.

Das Maximum der in 1000 Körnern enthaltenen Menge Aminostickstoff wurde, wie Fig. 19 zeigt, zu verschiedenen Zeiten erreicht, nämlich bei der Frühsaat 3 Wochen, bei der mittelspäten Saat 4 Wochen, bei der Spätsaat dagegen schon bei der ersten Ernte, ungefähr 2 Wochen nach Beginn der Blüte. Noch etwas anders verhielt sich der Strickhofweizen; bei diesem blieb der absolute Aminostickstoffgehalt, wie Fig. 18 zeigt, während längerer Zeit annähernd konstant. Diese Abweichungen, die sich übrigens auch bei der Veränderung des Gesamtgehaltes an Amino-, Amid- und NH_3-N wiederfinden, lassen sich nicht auf Unterschiede in der Entwicklungsgeschwindigkeit zurückführen. Es fragt sich daher, ob hier eventuell ein direkter Einfluss der herrschenden Witterung vorliegt.

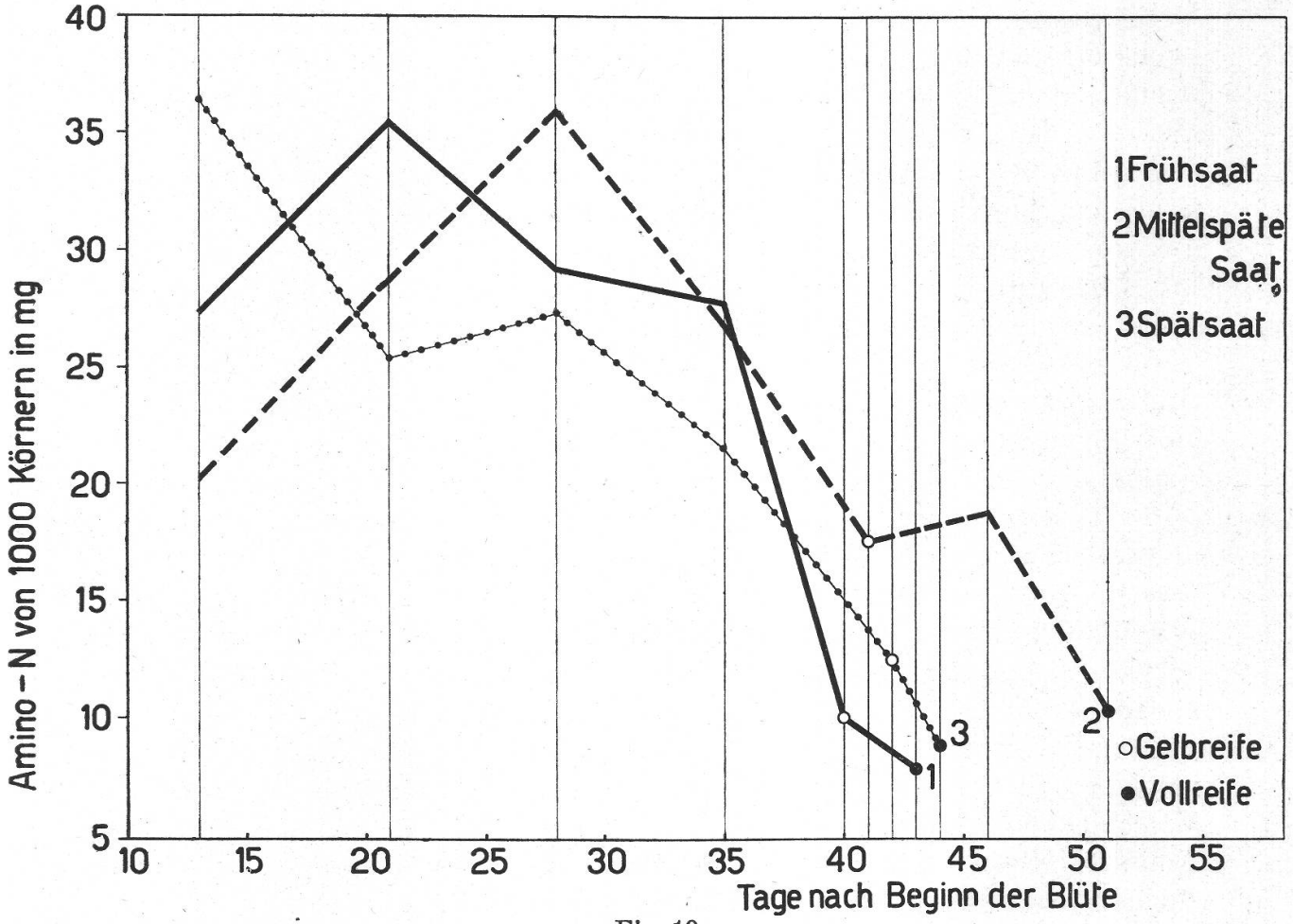


Fig. 19.
Veränderung des absoluten Gehaltes an Aminostickstoff im Laufe der Entwicklung.

Einen derartigen Zusammenhang zwischen Witterung und Stickstoffhaushalt hat Schjerning (1906) bei der Gerste feststellen können. Schjerning beobachtete nämlich im warmen und trockenen Sommer 1901 einen Rückgang des löslichen Stickstoffs und der « Ammoniak-Amin-Amid »-Fraktion von der Grünreife bis zur Gelbreife. Er schliesst daraus, dass die Umwandlung löslicher Stickstoffverbindungen in unlösliche in diesem Falle während der ganzen Zeitspanne rascher vor sich ging als die Stickstoffeinwanderung ins Korn. Unter dem Einfluss des kühlen und feuchten Augustwetters des Jahres 1903 trat gerade das Umgekehrte, nämlich eine Zunahme der löslichen N-Verbindungen und der « Ammoniak-Amin-Amid »-Fraktion ein; hier wurde die Reife verzögert, und die Aufbauprozesse gewannen erst kurz vor der Gelbreife die Oberhand.

Wenn auch unsere Ergebnisse eine eindeutige Beziehung zwischen Witterung und Stickstoffhaushalt vermissen lassen, so deuten doch verschiedene Anzeichen darauf hin, dass auch in unsern Versuchen die feuchte, kühle Witterung die Ansammlung löslicher stickstoffhaltiger

Verbindungen begünstigte. Die beobachteten Höchstmengen an Aminostickstoff und das Maximum des Gesamtgehaltes an Amino-, Amid- und Ammoniakstickstoff (Tab. 26) traten nämlich durchwegs bei feuchtem Wetter oder nach vorausgegangenen starken Niederschlägen in Erscheinung. Als besonders interessant erscheint uns in diesem Zusammenhang das Verhalten des spätgesäten Huronweizens. Hier wurde die grösste absolute Menge Amino-N, wie übrigens auch der höchste absolute Gehalt an Nichteiweiss-N, schon bei der ersten Ernte, d. h. in einem auffallend frühen Entwicklungsstadium festgestellt. In der Folge gingen diese Werte — wohl unter dem Einfluss der Ende Juli und anfangs August herrschenden warmen und trockenen Witterung — stark zurück; sie stiegen aber später erneut an, um in der mit reichlichen Niederschlägen bedachten zweiten Augustwoche ein zweites Maximum zu bilden. Es lassen sich somit auch in unsern Versuchen gewisse Beziehungen zwischen dem Ablauf der Stickstoffumsetzungen und der herrschenden Witterung erkennen, obschon die gemachten Beobachtungen bei weitem nicht zur Aufstellung einer allgemein gültigen Regel ausreichen.[1]

Im Gegensatz zu den intensiven Umsetzungen, welche die stickstoffhaltigen Verbindungen während des Wachstums des Korns und während der Periode ausgiebiger Reservestoffspeicherung erfahren, machen sich von der Gelbreife an nur noch verhältnismässig geringe Verschiebungen geltend. Immerhin ist zu beachten, dass der Gehalt an Aminostickstoff zwischen der Gelb- und der Vollreife bei allen Versuchsserien noch deutlich zurückging (Tab. 26, Fig. 18 und 19). Diese Beobachtung steht im Einklang mit den Versuchsergebnissen von Lüers (1920), welche während des Uebergangs von der Gelbreife zur Vollreife ebenfalls eine Abnahme des Aminostickstoffgehaltes des Weizenkorns erkennen lassen. Ein ähnlicher Rückgang machte sich während der eigentlichen Austrocknungsperiode auch bei dem von Woodman und Engledow (1924) untersuchten Material bemerkbar. Diese Feststellungen deuten darauf hin, dass *die Umwandlung der Aminosäuren in hochmolekulare Stickstoffverbindungen auch nach dem Eintreten der Gelbreife in einem gewissen Umfange weitergeht.* Da in der Mehrzahl der Versuchsserien gleichzeitig mit dem Rückgang des Aminostickstoffgehaltes eine Abnahme des gesamten Nichteiweiss-N und eine Zunahme des Eiweiss-N beobachtet wurde, handelt es sich dabei nicht nur um das

---

[1] Die Beziehungen zwischen den Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen einerseits und den Stoffeinwanderungsvorgängen anderseits sind ziemlich verwickelt; dies namentlich auch deswegen, weil nicht nur die zur Zeit des Kornwachstums, sondern auch die in den früheren Entwicklungsstadien herrschenden Bedingungen, soweit diese den Bau und die Leistungsfähigkeit der Pflanze beeinflussen, berücksichtigt werden müssen. Eine genaue Abklärung dieser Zusammenhänge ist, wie wir schon in der Einleitung bemerkten, auf Grund von Freilandversuchen nicht möglich.

Tabelle 27.

Gehalt der Körner von Strickhofweizen an löslichen Stickstoffverbindungen.

(Ausgedrückt in % der Trockensubstanz.)

	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Amino-N	Amid-N	NH_3-N	Summe von Amino-N, Amid-N und NH_3-N	Polypeptid-N	Nicht-eiweiss-N	Löslicher Eiweiss-N	Gesamt-N
Nicht gelagert .	29.VI.	11	0.277	0.033	0.033	0.343	0.066	0.60	0.48	2.18
	6.VII.	18	0.180	0.011	0.031	0.222	0.008	0.38	0.30	1.75
	14.VII.	26	0.108	0.004	0.023	0.135	0.015	0.22	0.28	1.61
	21.VII.	33	0.069	0.008	0.013	0.090	0.016	0.17	0.25	1.70
	28.VII. (Gelbreife)	40	0.027	0.005	Spuren	0.032	0.009	0.10	0.27	1.90
	1.VIII. (Vollreife)	44	0.019	0.005	Spuren	0.024	0.010	0.08	0.30	1.94
Vom 1.VII. an gelagert	29.VI.	11	0.277	0.033	0.033	0.343	0.066	0.60	0.48	2.18
	6.VII.	18	0.156	0.010	0.027	0.193	0.029	0.32	0.34	1.79
	14.VII.	26	0.100	0.007	0.018	0.125	0.017	0.21	0.28	1.66
	21.VII.	33	0.072	0.008	0.008	0.088	0.028	0.16	0.28	1.81
	28.VII. (Gelbreife)	40	0.032	0.007	Spuren	0.039	0.025	0.09	0.29	1.98
	1.VIII. (Vollreife)	44	0.019	0.008	Spuren	0.027	0.023	0.07	0.32	1.99

Zusammenfügen von Aminosäuren zu Polypeptiden, sondern allem Anschein nach auch um die Synthese von Eiweiss.

Der letzte, unmittelbar vor der Gelbreife eintretende Rückgang des Gehaltes an Amino-N und an Nichteiweiss-N scheint, wie die beim mittelspät gesäten Huronweizen festgestellten Zahlen zeigen, mit dem Austrocknungsvorgang in direktem Zusammenhang zu stehen. Bei dieser Versuchsserie hielt sich nämlich der Wassergehalt nach der Gelbreife infolge regnerischer Witterung noch tagelang auf ungefähr derselben Höhe und dementsprechend blieb zunächst auch der Gehalt an Amino-N und Nichteiweiss-N annähernd konstant (Tab. 26, Fig. 19). Erst während des Austrocknens, d. h. mit dem Absinken des Wassergehaltes von 33 auf 19 % trat der für den Uebergang zur Vollreife charakteristische Abfall des Aminostickstoffgehaltes ein.[1]

An Hand der beim Strickhofweizen ermittelten Analysenresultate, die wir bereits mehrmals zum Vergleich herangezogen haben, soll noch kurz untersucht werden, ob und in welcher Weise der N-Stoffwechsel durch die Lagerung beeinflusst wurde. Die in Tab. 27 und 28 zusammengestellten Zahlen zeigen, dass die Körner des gelagerten Weizens fast durchgehends denselben Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen aufwiesen wie diejenigen der stehengebliebenen Pflanzen. Es macht sich lediglich bei der zweiten Ernte ein gewisser Unterschied hinsichtlich des Gehaltes an Aminostickstoff und Nichteiweißstickstoff geltend. Dieser Unterschied ist jedoch, ähnlich wie die beim Zuckergehalt festgestellte gleichsinnige Abweichung, auf die nicht ganz zuverlässige Probeentnahme zurückzuführen (vgl. Seite 145). Es darf daher festgestellt werden, dass die Lagerung auf die Veränderung der löslichen Stickstoffverbindungen keinen erkennbaren Einfluss ausübte.

Beim Strickhofweizen wurde ausser den bis jetzt besprochenen Stoffgruppen noch der Polypeptidstickstoff bestimmt (Tab. 27, Kolonne 8). Der in Prozenten der Trockensubstanz ausgedrückte Gehalt an Polypeptid-N war 11 Tage nach Beginn der Blüte ziemlich hoch, er ging in der Folge bis zum 18. Tag stark zurück, um sodann, von einigen Schwankungen abgesehen, bis zur Vollreife auf ungefähr der gleichen Höhe zu bleiben. Der Anteil des peptidartig gebundenen Stickstoffs am gesamten Nichteiweißstickstoff war zur Zeit der Vollreife am grössten; während der

---

[1] Dass das Austrocknen an sich die Abnahme des Aminostickstoffgehaltes begünstigt, ist übrigens schon auf Grund des Massenwirkungsgesetzes zu erwarten, da das zwischen den Aminosäuren und den hochmolekularen Stickstoffverbindungen bestehende Gleichgewicht mit fortschreitendem Austrocknen im Sinne einer weitergehenden Synthese verschoben wird. Das Massenwirkungsgesetz darf hier allerdings nur mit Vorbehalt angewendet werden, da wir nur den Gesamtgehalt der einzelnen Stoffgruppen kennen, während der Ablauf der in Frage stehenden Umsetzungen wahrscheinlich in starkem Masse von den an der Oberfläche der Enzyme herrschenden Konzentrationsverhältnissen abhängig ist.

Tabelle 28.

Veränderung des absoluten Gehaltes an löslichen Stickstoffverbindungen beim Strickhofweizen.

(Berechnet auf 1000 Körner.)

	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Amino-N	Amid-N	NH_3-N	Summe von Amino-N, Amid-N und NH_3-N	Polypeptid-N	Nicht-eiweiss-N	Löslicher Eiweiss-N	Gesamt-N
			mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Nicht gelagert .	29.VI.	11	24.4	2.9	2.9	30.2	5.8	53	42	192
	6.VII.	18	28.1	1.7	4.8	34.6	1.2	59	47	273
	14.VII.	26	27.4	1.0	5.8	34.2	3.8	56	71	409
	21.VII.	33	23.8	2.8	4.5	31.1	5.5	59	86	587
	28.VII. (Gelbreife)	40	10.0	1.9	Spuren	11.9	3.3	37	100	706
	1.VIII. (Vollreife)	44	7.1	1.8	Spuren	8.9	3.7	30	112	727
Vom 1. Juli an gelagert	29.VI.	11	24.4	2.9	2.9	30.2	5.8	53	42	192
	6.VII.	18	25.6	1.6	4.4	31.6	4.8	53	56	294
	14.VII.	26	25.0	1.8	4.5	31.3	4.3	53	70	415
	21.VII.	33	24.1	2.7	2.7	29.5	9.4	54	94	606
	28.VII. (Gelbreife)	40	11.1	2.4	Spuren	13.5	8.7	31	101	687
	1.VIII. (Vollreife)	44	6.3	2.5	Spuren	8.8	7.6	23	106	661

Periode der intensivsten Reservestoffspeicherung machten dagegen die Polypeptide, die ihrer Molekülgrösse nach eine Mittelstellung zwischen den einfachen N-Körpern und den Eiweißstoffen einnehmen, nur einen geringen Bruchteil der löslichen Stickstoffverbindungen aus.

Die Summe von Amino-, Amid-, Ammoniak- und Polypeptidstickstoff erreicht in keinem Entwicklungsstadium den Betrag des gesamten Nichteiweißstickstoffs. Der nicht bestimmte Reststickstoff besteht jedenfalls zu einem beträchtlichen Teil aus den N-Atomen gewisser Aminosäuren, die bei der Van-Slyke-Bestimmung nicht mit der salpetrigen Säure reagieren, wie dies z. B. für den Stickstoff der Guanidingruppe des Arginins und den Stickstoff des Prolins zutrifft. Dass Arginin, Histidin und verwandte Stoffe einen beträchtlichen Teil der nichteiweissartigen Stickstoffverbindungen des Weizenkorns ausmachen, geht aus der Arbeit von McCalla (1933) hervor. Nach dieser Untersuchung bestehen nämlich — je nach dem Entwicklungsstadium — 29—43 % des Nichteiweißstickstoffs des reifenden Weizenkorns aus « Basenstickstoff ».

Im Anschluss an die Besprechung der verschiedenen Gruppen nichteiweissartiger Stickstoffverbindungen soll noch kurz auf die Veränderung des Gehaltes an löslichen Eiweißstoffen hingewiesen werden.[1] Wie die Zahlen der zweitletzten Kolonne von Tab. 24 und 27 zeigen, betrug der Gehalt an löslichem Eiweiss-N bei der ersten Ernte durchgehends ungefähr 0.5 %; er ging bis zur Milchreife auf 0.25—0.3 % zurück, worauf dann wieder eine ganz leichte, bis zur Reife anhaltende Zunahme eintrat. Aus diesen Angaben geht hervor, dass der lösliche Eiweiss-N während der ganzen Entwicklung einen beträchtlichen Teil des Gesamtstickstoffs ausmacht; er ist in den reifen Körnern in wesentlich grösseren Mengen vertreten als der Nichteiweißstickstoff. Die zur Zeit der Reife festgestellten Gehaltszahlen stimmen mit den kürzlich von McCalla (1938) mitgeteilten ungefähr überein; dagegen fand dieser Autor in den früheren Stadien wesentlich höhere Werte. Es wird noch abzuklären sein, ob diese Unterschiede lediglich methodisch bedingt sind oder ob in ihnen der Einfluss abweichender Wachstumsbedingungen zum Ausdruck kommt.

Wie bei den übrigen Stoffgruppen suchten wir auch bei den löslichen Stickstoffverbindungen durch getrennte Analyse von Embryo- und Endospermteil einen noch etwas besseren Einblick in die während

---

[1] Es handelt sich hier um die in kaltem Wasser gelösten und hernach durch Erhitzen im Wasserbad und darauffolgende Tanninbehandlung ausgefällten stickstoffhaltigen Verbindungen (vgl. S. 167). Da unser Körnermaterial lösliche Mineralstoffe enthält, werden auf diese Weise auch Eiweißstoffe erfasst, die in verdünnten Salzlösungen löslich sind; anderseits schliesst diese Fraktion auch die durch Tannin ausgefällten Peptone ein. Unsere « löslichen Eiweißstoffe » stellen daher eine ziemlich heterogene Stoffgruppe dar.

der Entwicklung stattfindenden Veränderungen zu gewinnen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Tabellen 29—31 enthalten.

Im *Endospermteil* machen sich in bezug auf den Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen ähnliche Veränderungen geltend wie bei den als Ganzes untersuchten Körnern. So nahm der prozentuale Gehalt an Nichteiweiss-N, Amino-N und NH_3-N auch hier mit fortschreitender Reife kontinuierlich ab (Tab. 29). Bemerkenswerterweise *wurde in der unteren und der oberen Hälfte des Endospermteils während der ganzen Entwicklung praktisch derselbe Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen gefunden.*

Tabelle 29.

Gehalt des Endospermteils von Strickhofweizen an löslichen Stickstoffverbindungen.

(Bezogen auf Trockensubstanz.)

	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Amino-N	Amid-N	NH_3-N	Summe von Amino-N, Amid-N und NH_3-N	Nicht-eiweiss-N	Löslicher Eiweiss-N	Gesamt-N
		%	%	%	%	%	%	%
Untere, dem Embryo anliegende Hälfte	19	0.133	0.016	0.027	0.176	0.25	0.35	1.59
	26	0.076	0.005	0.019	0.100	0.15	—	1.49
	33	0.064	0.010	0.007	0.081	0.13	0.23	1.57
	40	0.032	0.005	Spuren	0.037	0.06	0.26	1.62
	44	0.031	0.005	„	0.036	0.06	0.27	1.65
Obere Hälfte	19	0.126	0.011	0.030	0.167	0.24	0.34	1.64
	26	0.083	0.010	0.014	0.107	0.18	0.26	1.58
	33	0.064	0.014	0.007	0.095	0.12	0.24	1.78
	40	0.030	0.004	0.001	0.035	0.07	0.26	1.77
	44	0.031	0.006	Spuren	0.037	0.06	0.27	1.75

Einen wesentlich anderen Verlauf nahm die Einlagerung der stickstoffhaltigen Verbindungen im *Embryo*. Dies äussert sich, wie Tab. 30 zeigt, vor allem darin, dass der prozentuale Gehalt an Aminostickstoff mit fortschreitender Entwicklung nur wenig zurückging und dass der Amidstickstoff, der von Anfang an in beträchtlicher Menge auftrat, gegen die Reife hin sogar bedeutend anstieg. Dank dieser Zunahme enthielt der Embryo im nahezu reifen und im reifen Zustand ungefähr ebensoviel Amid-N wie Amino-N, woraus geschlossen werden kann, dass hier *der gesamte in löslicher Form vorliegende α-Aminostickstoff an Asparagin oder Glutamin gebunden ist.* Der Säureamidstickstoff machte hier nahezu 0.4 % der Trockensubstanz bzw. 7 % des Gesamtstickstoffs der Embryonen aus. Dass der Embryo des ruhenden Weizenkorns tatsäch-

lich *Asparagin* enthält, hat schon Frankfurt (1896) durch qualitative Prüfung nachgewiesen; es ist anzunehmen, dass diesem Stoff, ähnlich wie dem Rohrzucker, die Funktion eines rasch disponiblen Reservestoffs zukommt.

Tabelle 30.

Gehalt des Embryoteils von Strickhofweizen an löslichen Stickstoffverbindungen.

1. *Bezogen auf Trockensubstanz.*

Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Amino-N	Amid-N	NH_3-N	Summe von Amino-N, Amid-N und NH_3-N	Nicht-eiweiss-N	Löslicher Eiweiss-N	Gesamt-N
	%	%	%	%	%	%	%
19	0.29	0.11 [2]	[3]	0.40	1.52	2.25	6.16
26 [1]	0.22	0.08 [2]	[3]	0.30	0.91	1.67	5.34
33	0.20	0.17	Spuren	0.37	0.82	1.50	5.28
44	0.16	0.21	„	0.37	0.71	1.32	4.94

2. *Berechnet auf 1000 Körner.*

Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Amino-N	Amid-N	NH_3-N	Summe von Amino-N, Amid-N und NH_3-N	Nicht-eiweiss-N	Löslicher Eiweiss-N	Gesamt-N
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
19	0.9	0.4 [2]	[3]	1.3	4.9	7.2	19.7
26 [1]	1.8	0.7 [2]	[3]	2.5	7.5	13.7	43.8
33	2.6	2.2	Spuren	4.8	10.6	19.4	68.3
44	2.1	2.9	„	5.0	9.7	18.2	68.0

[1] Nur zweimal mit H_2O extrahiert, beim dritten Mal wurde beim Zentrifugieren das Glas zerbrochen.
[2] Inklusive NH_3—N.
[3] Wegen Materialknappheit nicht bestimmt.

Anmerkung. Für das Material der vorletzten Ernte (40 Tage nach Beginn der Blüte) fehlen die Gehaltsangaben, da die Bestimmung schon bei der Extraktion verunglückte.

Noch deutlicher als in der prozentualen Zusammensetzung kommt das gegensätzliche Verhalten von Embryo und Endosperm im absoluten Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen zum Ausdruck. Wie aus Tab. 30 und 31 und Fig. 20 ersichtlich ist, ging die in 1000 Endospermhälften enthaltene Gesamtmenge an Amino-, Amid- und Ammoniakstickstoff von der ersten Ernte (19 Tage nach Beginn der Blüte) bis zur Reife auf ungefähr ein Drittel des Anfangswertes zurück, während die im Embryo vorgefundene Menge gleichzeitig auf das Vierfache anstieg. Die Zunahme des absoluten Gehaltes an Amidstickstoff war so bedeutend, dass *der*

Embryo im reifen Zustand trotz des zirka 27mal geringeren Gewichtes mehr Amidstickstoff enthielt als das Endosperm (vgl. Tab. 30 und 31). Der hohe Säureamidgehalt der reifen Embryonen erklärt uns auch, warum in den als Ganzes untersuchten Körnern der Amidstickstoff — im Gegensatz zu den übrigen Fraktionen des Nichtproteinstickstoffs — zwischen Milch- und Gelbreife meistens eine leichte Zunahme aufwies (vgl. Tab. 26 und 28 und Fig. 18).

Tabelle 31.

Absoluter Gehalt des Endospermteils von Strickhofweizen an löslichen Stickstoffverbindungen.

(Berechnet auf 1000 Stück.)

	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Amino-N	Amid-N	NH_3-N	Summe von Amino-N, Amid-N und NH_3-N	Nicht-eiweiss-N	Löslicher Eiweiss-N	Gesamt-N
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Untere, dem Embryo anliegende Hälfte.	19	14.5	1.8	2.9	19.2	27	38	173
	26	11.7	0.8	2.9	15.4	24	—	231
	33	12.2	1.9	1.3	15.4	24	45	300
	40	6.2	1.1	Spuren	7.3	11	51	313
	44	5.8	1.0	„	6.8	12	51	310
Obere Hälfte	19	13.7	1.2	3.3	18.2	26	37	179
	26	12.8	1.8	2.2	16.8	27	40	245
	33	12.2	1.5	1.3	15.0	24	47	341
	40	5.8	0.8	0.3	6.9	13	49	342
	44	5.8	1.1	Spuren	6.9	11	50	329

Die Bedeutung der löslichen Stickstoffverbindungen für die Entwicklung von Embryo und Endosperm und ihre mengenmässigen Veränderungen während des Wachstums und der Reife lassen sich folgendermassen charakterisieren. Im *Endosperm* stehen *Säureamide, Aminosäuren und Ammoniak* zum überwiegenden Teil im Dienste der Stickstoffeinwanderung und der Synthese der Eiweißstoffe. *Ihre absolute Menge ist daher zur Zeit der reichlichen Stickstoffzufuhr und der intensiven Reservestoffbildung gross, in den späteren Reifestadien dagegen nur noch gering.* Dieselbe Funktion üben die einfachen Stickstoffkörper zunächst auch im *Embryo* aus. *Sie figurieren hier aber teilweise* — in Form von *Asparagin — selbst als Reservestoffe; ihre absolute Menge erreicht daher nicht im Stadium der intensivsten Eiweißsynthese, sondern zur Zeit der Reife den Höhepunkt.*

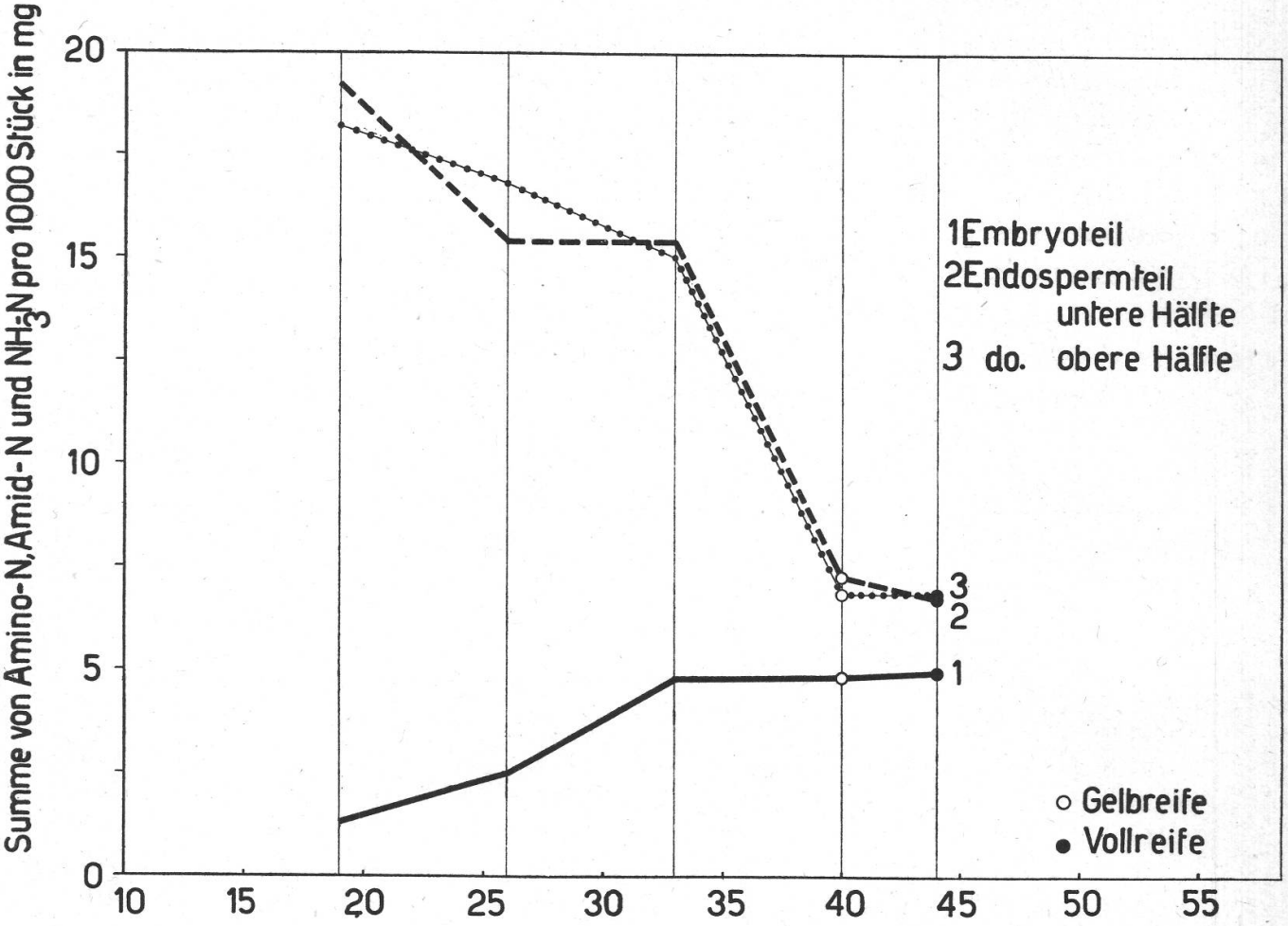


Fig. 20.
Gesamtgehalt der verschiedenen Teile des Weizenkorns an Amino-, Amid- und Ammoniakstickstoff (Strickhofweizen).

4. Die Aktivität der proteolytischen Enzyme.

a) Einleitung.

Nachdem im vorigen Abschnitt die Veränderungen der verschiedenen Gruppen stickstoffhaltiger Verbindungen dargelegt worden sind, soll nun versucht werden, einen Einblick in die Tätigkeit der bei diesen Stoffumwandlungen beteiligten Enzyme zu gewinnen. Von besonderem Interesse sind dabei die beim Aufbau der Proteine aus nichteiweissartigen Stickstoffverbindungen eingreifenden Enzyme.

Man nimmt im allgemeinen an, dass dieselben Enzyme, die als Katalysatoren der hydrolytischen Spaltungen bekannt sind, unter gewissen Bedingungen auch bei den synthetischen Vorgängen mitwirken. Es ist daher naheliegend, in den reifenden Samen nach den Enzymen zu fahnden, die ihrer Wirkung nach mit den aus der Keimungsphysiologie bekannten verwandt oder identisch sind.

Ueber die eiweißspaltende Wirkung reifender Getreidekörner liegen bis jetzt nur wenige Untersuchungen vor. Lüers (1920) unterwarf das Mehl von Körnern verschiedenen Reifegrades einer dreistündigen Autolyse bei 50° C und ermittelte die eingetretene Zunahme an Aminostickstoff mit Hilfe der Formoltitration. Er stellte beim Weizen während des Uebergangs von der Gelb- zur Vollreife eine Abnahme der Spaltungswirkung fest. Beim Roggen wurde in der gleichen Reifeperiode ein Ansteigen, beim Hafer und der Gerste dagegen in einzelnen Fällen eine Zunahme, in andern eine Abnahme des Spaltungsbetrages beobachtet. Eine über die ganze Entwicklung des Weizenkorns sich erstreckende Untersuchung der Proteaseaktivität stammt von Bach, Oparin und Wähner (1927). Auch diese Autoren verwendeten als Mass für die Enzymwirkung die autolytische Spaltung, nur dass an Stelle der Zunahme des Aminostickstoffs die Abnahme des Proteinstickstoffs nach Barnstein bestimmt wurde (Bach und Oparin, 1922). Die im Laufe der Entwicklung gefundenen Werte wiesen grosse und sprunghafte Schwankungen auf. Die Proteaseaktivität stieg nämlich zunächst an; sie erreichte am 4. Juli einen ersten Höhepunkt, sank am 13. Juli nahezu auf Null, nahm später erneut zu, um schliesslich während des Uebergangs zur Voll- und Ueberreife auf einen geringen Betrag zu sinken.

b) Methodisches.

Nach den neueren Ergebnissen der Enzymchemie sind die Proteinasen, welche die intakten Eiweisskörper angreifen, zu unterscheiden von den Peptidasen (Polypeptidasen und Dipeptidasen), welche die Spaltprodukte (Polypeptide und dergleichen) weiter abbauen und schliesslich in die einfachen Bausteine, die Aminosäuren, zerlegen.[1] Eine getrennte Prüfung der Spaltungswirkung der Proteinasen, die uns in der vorliegenden Arbeit allein beschäftigten, wird durch den Umstand ermöglicht, dass das Optimum der im Innern der pflanzlichen Zellen wirkenden Proteinasen in der Regel bei einem pH von 4—5 liegt, während die Peptidasen ihre stärkste Wirksamkeit bei schwach alkalischer Reaktion entfalten. Lässt man daher die enzymhaltigen Extrakte bei saurer Reaktion auf das als Substrat gewählte Eiweisspräparat einwirken, so besteht die Gewähr, dass die Proteinaseaktivität relativ rein, d. h. nur wenig beeinflusst von der Spaltungswirkung beigemengter Peptidasen, zum Ausdruck kommt.

Da es sich bei der Proteinase des Getreidekorns um ein Enzym von der Wirkungsweise des Papains handelt, musste bei der quantitativen Bestimmung den Erscheinungen der Aktivierung und Inaktivierung

---

[1] Vgl. die zusammenfassenden Darstellungen von Grassmann (1932), Bersin (1935) und Grassmann und Schneider (1936). Betr. die Proteasen von gekeimten Weizenkörnern vgl. Mounfield (1936, 1938).

Rechnung getragen werden. Man weiss aus den Untersuchungen von Willstätter, Grassmann, Waldschmidt-Leitz, Ambros, Mothes, Bersin, Maschmann und einer Reihe anderer Autoren, dass die Proteinasen vom Typus des Papains und des im Innern der tierischen Zelle wirkenden Kathepsins in aktivem und inaktivem Zustand auftreten. Das aktive Enzym lässt sich im Reagenzglas durch schwache Oxydationsmittel inaktivieren; umgekehrt kann die inaktive Form durch Sulfhydrylkörper wie Glutathion, Cystein, Thioglykolsäure und durch andere Reduktionsmittel in den aktiven Zustand übergeführt werden. Die Wirkung der im inaktiven Zustand vorliegenden Enzymmengen lässt sich bei der quantitativen Bestimmung in der Weise erfassen, dass neben dem aus der Enzymlösung und einem geeigneten Substrat allein bestehenden Reaktionsgemisch noch ein weiterer Ansatz hergestellt wird, der ausser Substrat und Enzymlösung noch einen als Aktivator wirkenden Stoff enthält.

Auf Grund dieser aus der Enzymliteratur bekannten allgemeinen Eigenschaften der pflanzlichen Proteinasen und unter Berücksichtigung der Ergebnisse zahlreicher Vorversuche gelangten wir zur Anwendung folgender Arbeitsweise. Es wurde eine ungefähr 8—10 g Trockensubstanz enthaltende Probe frisch geernteter Körner mit destilliertem Wasser gewaschen und unter Zusatz von 30 g ausgeglühtem Quarzsand im Porzellanmörser zerrieben. Das fein zerkleinerte Material wurde quantitativ in eine tarierte, weithalsige Glasflasche übergeführt, die pro Gramm Körnertrockensubstanz 6 cm^3 n/20 Essigsäure — insgesamt also 50 bis 60 cm^3 Essigsäure — nebst etwas Toluol enthielt. Nach erfolgter Wägung wurde die Flasche während 4 Stunden bei Zimmertemperatur geschüttelt, sodann über Nacht im Kühlschrank bei zirka 4° C stehengelassen, worauf der Inhalt zentrifugiert und die überstehende Lösung durch ein trockenes Filter filtriert wurde. Um die Extrakte unmittelbar nach der Ernte, d. h. zu einer Zeit, wo der Trockensubstanzgehalt der verwendeten Körner noch nicht bekannt war, herstellen zu können, führten wir jeweils am Vortage eine vorläufige Trockensubstanzbestimmung durch und berechneten auf Grund dieser Bestimmung die abzuwägende Menge Frischmaterial und das abzumessende Volumen Essigsäure. Die endgültige Ermittlung des Trockengewichtes der verwendeten Körner erfolgte auf Grund des Trockensubstanzgehaltes eines aus der Untersuchungsprobe selbst gezogenen Durchschnittsmusters.

Der auf die beschriebene Weise gewonnene Extrakt wurde sofort weiterverarbeitet. Wir liessen ein bestimmtes Volumen desselben bei 40° C und einem pH von 4,2 auf Edestin einwirken und stellten die eingetretene proteolytische Spaltung durch Bestimmung der Aziditätszunahme mittels der Alkoholtitration nach Willstätter und Waldschmidt-Leitz (1921) fest. Da die Extrakte eine gewisse Menge spaltbarer Eiweißstoffe und möglicherweise noch andere bei der Auto-

lyse säureliefernde Substanzen enthielten, musste die Spaltungswirkung auch an Parallelproben ohne Edestinzusatz geprüft werden. Der durch diese Kontrollbestimmungen festgestellte Betrag der autolytischen Spaltung war jeweils vom Spaltungswert der Hauptversuche in Abzug zu bringen. Wir stellten daher für jede Bestimmung folgende vier Ansätze her :

a) Ansatz ohne Aktivator.
9 cm³ Edestinpufferlösung (1.5 g Edestin gelöst in 50 cm³ m/4 Azetatpuffer)
7.5 cm³ Extrakt
durch Zugabe von n/5 NaOH und H_2O auf ein Gesamtvolumen von 18 cm³ und ein pH von 4.2 gebracht. Zusatz von Toluol.

b) Ansatz mit Aktivatorzusatz.
9 cm³ Edestinpufferlösung
7.5 cm³ Extrakt
0.60 cm³ m/6 Cystein-HCl-Lösung
durch Zugabe von n/5 NaOH und H_2O auf ein Gesamtvolumen von 18 cm³ und ein pH von 4.2 gebracht. Zusatz von Toluol.

c) Ansatz ohne Edestin, nicht aktiviert.
Zusammensetzung wie unter *a)*; an Stelle der Edestinpufferlösung tritt jedoch eine m/4-Azetatpufferlösung ohne Edestin.

d) Ansatz ohne Edestin, aktiviert.
Zusammensetzung wie unter *b)*, aber ohne Edestinzugabe.

Die Reaktionsgemische wurden sofort nach ihrer Herstellung im Wasserbad von 40° C erwärmt. Nach fünf Minuten wurde eine Titrationsprobe von 5 cm³ entnommen. Nach 22stündiger Digestion wurden zwei weitere Proben von je 5 cm³ abpipettiert. Die festgestellte Aziditätszunahme diente, wie bereits bemerkt, als Mass für die durch die Enzyme bewirkte Spaltung von Peptidbindungen. Um die gefundenen Werte vergleichen zu können, wurden sie einerseits auf 1 g Körnertrockensubstanz, anderseits auf 100 Körner umgerechnet.[1]

---

[1] Wie bei allen quantitativen Enzymbestimmungen ist auch bei den vorliegenden Untersuchungen zu beachten, dass bei höheren Enzymkonzentrationen die Spaltungsbeträge nicht proportional der Konzentration ansteigen. Dies geht z. B. aus folgenden Zahlen hervor (ermittelt am Extrakt aus unreifen Strickhofweizenkörnern).

Konzentration der Enzymlösung	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	ccm Extrakt pro 18 ccm Ansatz
Spaltungsbetrag	0.48	0.79	1.08	1.31	1.48	ccm n/10 KOH

Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, ist daher bei Serienversuchen die Enzymkonzentration so zu bemessen, dass die Spaltungsbeträge nicht zu hoch ausfallen. Diesem Umstand konnte, da das Verhalten unseres Materials nicht zum voraus bekannt war, bei den jüngsten Entwicklungsstadien der zuerst durchgeführten Versuchsserien (Tab. 32) noch nicht genügend Rechnung getragen werden. Die proteolytischen Werte der jüngsten Entwicklungsstadien liegen hier in Tat und Wahrheit noch etwas höher, als in den Zahlen der Tab. 32 zum Ausdruck kommt. Völlig vergleichbar sind die Resultate der mit dem Marquisweizen von Nante und dem Strickhofweizen der Ernte 1939 durchgeführten ergänzenden Versuche (Tab. 32 a und 33).

Aehnlich wie bei der Untersuchung der ganzen Körner wurde bei der getrennten Prüfung von Embryo- und Endospermteil vorgegangen; nur wurde im Hinblick auf die grosse Arbeit, die das Herauspräparieren der Embryonen verursachte, mit geringeren Substanzmengen gearbeitet und die eingetretene Spaltung durch Messung der durch die Proteolyse freigelegten Aminogruppen mit dem Mikro-Van-Slyke-Apparat bestimmt. Als Aktivator wurde hier mit Rücksicht auf die Van-Slyke-Bestimmung ein aminostickstofffreier Sulfhydrylkörper, nämlich Thioglykolsäure verwendet. Trotzdem wir mit diesem Verfahren eine grössere Genauigkeit erzielten als durch die Alkoholtitration gegen Thymolphtalein, mussten für jeden Versuch — je nach Reifegrad — 300 bis 500 Embryonen und Endospermhälften zur Gewinnung der Enzymlösung verwendet werden.

c) Untersuchungsergebnisse.

Die Ergebnisse der bei vier verschiedenen Versuchsserien durchgeführten Enzymbestimmungen sind in Tab. 32 zusammengestellt. Wir betrachten zunächst die auf 1 g Trockensubstanz bezogenen Werte. Durch verhältnismässig hohe Aktivität zeichnen sich die frühen Entwicklungsstadien aus. In der vierten Woche, d. h. während des Uebergangs zur Milchreife, ging die Proteinasewirkung stark zurück, um sodann bis zur Gelbreife annähernd gleich zu bleiben. Im letzten Entwicklungsabschnitt verhielten sich die einzelnen Versuchsserien verschieden. Beim Strickhofweizen und dem frühgesäten Huron machte sich nämlich nach der Gelbreife ein leichter Rückgang bemerkbar; beim frühgesäten Marquis blieb die proteolytische Aktivität ungefähr gleich; während bei der mittelspäten Saat des Huronweizens, die im Gegensatz zu den übrigen Kulturen bei sehr feuchter Witterung ausreifte, ein erneuter Anstieg beobachtet werden konnte. Die proteolytische Spaltung wurde durch den Aktivatorzusatz im allgemeinen nur wenig beeinflusst. Nur in den frühen Entwicklungsstadien lässt sich ein Unterschied zugunsten der aktivierten Ansätze erkennen, welcher darauf hindeutet, dass die Proteinase in den aus jungen Körnern gewonnenen Extrakten im allgemeinen nicht in vollaktivem Zustand vorliegt.

Die auf 100 Körner berechneten Werte nahmen zunächst, entsprechend dem fortschreitenden Wachstum, deutlich zu. Im Stadium der Milchreife machte sich vielfach eine leichte Abnahme bemerkbar. Später stiegen die Spaltungsbeträge erneut an, bis schliesslich in den letzten Tagen der Reife meistens wieder ein gewisser Rückgang eintrat. Die auf 100 Körner berechneten Enzymwerte nehmen also einen leicht wellenförmigen Verlauf. Die beobachteten Ausschläge sind aber nur schwach und entsprechen in keiner Weise den von Bach, Oparin und Wähner (1927) gefundenen sprunghaften Aenderungen.

Tabelle 32.

Proteolytische Aktivität der Weizenkörner im Laufe der Entwicklung.

Versuchs-Serie	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Aziditätszunahme in ccm^n/10 KOH während 22stündiger Proteolyse bei 40° C				Zunahme an Eiweiss-N pro 100 Körner und Tag in mg	
			berechnet pro g Trockensubstanz		berechnet pro 100 Körner			
			nicht aktiviert	aktiviert	nicht aktiviert	aktiviert	bestimmt nach Barnstein	bestimmt durch Tanninfällung
Strickhofweizen ab 1. Juli gelagert	29.VI.	11	4.6	5.4	4.1	4.8		
							1.4	1.5
	6.VII.	18	3.0	4.0	5.2	6.8		
							1.6	1.6
	14.VII.	26	2.1	1.7	5.4	4.5		
							2.8	2.8
	21.VII.	33	1.9	1.6	6.7	5.7		
							1.5	1.5
	28.VII.	40	2.0	1.9	7.2	6.8		
							—0.4	—0.5
	1.VIII.	44	1.2	1.4	4.1	4.9		
Huron Frühsaat	5.VII.	13	5.8	6.1	5.5	5.8		
							1.9	1.7
	13.VII.	21	4.4	4.4	8.1	8.2		
							2.6	2.8
	20.VII.	28	1.4	1.7	4.1	4.9		
							2.9	2.7
	27.VII.	35	2.0	2.1	7.2	7.6		
							0	0.7
	1.VIII.	40	1.6	1.4	5.9	5.0		
							2.5	2.2
	4.VIII.	43	1.4	1.1	5.1	4.1		
Huron mittelspäte Saat	11.VII.	13	4.4	5.1	2.4	2.8		
							2.4	2.4
	19.VII.	21	5.3	5.8	7.9	8.7		
							3.0	3.1
	26.VII.	28	2.2	2.5	5.5	6.3		
							3.5	3.5
	2.VIII.	35	2.3	2.1	7.7	7.0		
							0.9	0.7
	8.VIII.	41	2.0	2.1	6.9	7.3		
							1.2	1.1
	13.VIII.	46	2.5	2.5	9.0	8.9		
Marquis Frühsaat	3.VII.	11	4.4	4.8	3.4	3.7		
							1.2	1.3
	11.VII.	19	3.9	4.6	6.3	7.2		
							2.6	2.6
	18.VII.	26	2.6	2.3	6.3	5.5		
							2.2	2.3
	25.VII.	33	2.1	2.1	6.7	6.6		
							1.0	0.9
	2.VIII.	41	2.1	1.9	7.1	6.3		
							2.9	2.6
	5.VIII.	44	1.8	2.0	6.1	6.9		

Tabelle 32 a.

Proteolytische Aktivität des Strickhofweizens 1939 im Laufe der Entwicklung.

Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Aziditätszunahme in ccm^n/10 KOH nach 22stündiger Proteolyse pro g Trockensubstanz	
		nicht aktiviert	aktiviert
17.VII.	24	4.03	3.54
24.VII.	31	2.50	2.57
2.VIII. (Gelbreife)	40	2.19	2.22
10.VIII. (Vollreife)	48	2.33	2.07

Die bis jetzt besprochenen Werte fussen auf der Spaltungswirkung der aus den Weizenkörnern gewonnenen *essigsauren* Auszüge. Die Verwendung verdünnter Essigsäure als Extraktionsmittel erfolgte, nachdem die essigsauren Extrakte aus reifen Weizenkörnern sich in Vorversuchen als bedeutend aktiver erwiesen hatten als wässrige Auszüge. Um festzustellen, ob und wie weit der Verlauf der proteolytischen Aktivität durch das bei der Herstellung der Enzymlösungen angewendete Verfahren beeinflusst wird, führten wir beim Marquisweizen von Nante in 5 verschiedenen Reifestadien Parallelbestimmungen mit essigsauren und wässrigen Auszügen durch. Die Ergebnisse finden sich in Tab. 33. Sie zeigen, dass die essigsauren Extrakte in allen Entwicklungsstadien eine stärkere Spaltungswirkung ausübten. Die Essigsäure vermochte somit die Proteinase durchgehends besser freizulegen als destilliertes Wasser. Die Differenzen waren aber in den frühen Entwicklungsstadien wesentlich kleiner als bei den milchreif geernteten und hernach im Zimmer nachgereiften Körnern. Die auf Grund der wässrigen Auszüge ermittelte Enzymkurve fällt daher gegen das Ende hin stärker ab als die bei der Prüfung der essigsauren Extrakte sich ergebende Kurve.[1]

Obschon die von uns angewendeten Methoden im Hinblick auf die verwickelten Reaktionen, die sich bei der Eiweißsynthese zwischen Enzym und Substrat abspielen dürften, etwas grob erscheinen,[2] haben wir versucht, die in den verschiedenen Entwicklungsstadien festgestellte

[1] Die günstige Wirkung der Essigsäure auf die Freilegung der proteolytischen Enzyme des reifen Korns hängt möglicherweise damit zusammen, dass durch verdünnte Essigsäure, die u. a. die Kleberproteine in Lösung bringt, das Gefüge der Mehlpartikelchen eine Auflockerung erfährt.

[2] Es ist insbesondere zu beachten, dass die an den Extrakten festgestellte Spaltungswirkung keine sicheren Rückschlüsse auf die Richtung und die Intensität der vom betreffenden Enzym in der intakten Zelle ausgeübten katalytischen Wirkung zulässt.

Tabelle 33.

Proteolytische Aktivität des Marquis-Weizens von Nante im Laufe der Entwicklung.

Datum der Ernte	Aziditätszunahme in ccm^n/10 KOH während 22stündiger Proteolyse bei 40° C				Zunahme an Eiweiss-N pro 100 Körner und Tag in mg	
	berechnet pro g Trockensubstanz		berechnet pro 100 Körner		bestimmt nach Barnstein	bestimmt durch Tanninfällung
	Essigsaurer Extrakt	H_2O-Extrakt	Essigsaurer Extrakt	H_2O-Extrakt		
4.IX.	10.8	9.6	10.2	9.1		
					0.5	0.6
15.IX.	8.5	7.5	11.0	9.8		
					1.0	1.1
30.IX.	5.3	4.8	10.9	9.7		
					1.3	1.3
10.X. (Milchreife)	2.8	2.4	7.7	6.7		
					0	—0.1
10.X.[1]	2.6	1.3	6.6	3.3		

[1] Bis 19.X. in den Aehren bei Zimmertemperatur nachgereift.

proteolytische Aktivität mit der im wachsenden und reifenden Korn stattfindenden Eiweissbildung in Beziehung zu bringen. Wir haben zu diesem Zwecke den zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Ernten eingetretenen Zuwachs an Eiweißstickstoff ermittelt und aus diesem die pro 100 Körner und Tag sich ergebende Zunahme berechnet (siehe Kolonnen 8 und 9 von Tab. 32).

Wie aus diesen Zahlen ersichtlich ist, fand die intensivste Eiweissbildung im allgemeinen in der vierten und fünften Entwicklungswoche, also um die Zeit der Milchreife statt. In der der Gelbreife vorangehenden Woche war die Eiweissbildung schwächer; zwischen Gelb- und Vollreife machte sich dagegen in den meisten Fällen wieder eine stärkere Zunahme bemerkbar. Unsere Versuchsergebnisse lassen einstweilen keine Beziehung zwischen der Intensität der Eiweissbildung und der Proteinaseaktivität erkennen. Ein einfacher Zusammenhang zwischen diesen beiden Grössen ist übrigens deswegen nicht zu erwarten, weil bei den in den lebenden Zellen sich abspielenden Stoffumwandlungen ausser der Enzymaktivität noch eine Reihe weiterer Faktoren, so insbesondere die Konzentrationsverhältnisse der zur Reaktion gelangenden Stoffe im Spiele sind. In unserem Falle ist allem Anschein nach die Geschwindigkeit der Einwanderung löslicher Stickstoffverbindungen von ausschlaggebendem Einfluss auf die Intensität der Eiweissbildung. Dies geht daraus hervor, dass Stickstoffaufnahme und Eiweissbildung im Laufe der Entwicklung mit annähernd gleicher Geschwindigkeit vorwärtsschreiten (Fig. 14). Es scheint demnach, dass die Proteinasen während

Tabelle 34.

Proteolytische Aktivität der einzelnen Teile des Weizenkorns im Laufe der Entwicklung.

(Huronweizen vom Strickhof.)

	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Zunahme an Amino-N, ausgedrückt in ccm Van-Slyke-N, während 22stündiger Proteolyse bei 40° C				Zunahme an Eiweiss-N pro 100 Stück und Tag in mg	
			berechnet pro 0.1 g Trockensubstanz		berechnet pro 100 Stück		bestimmt nach Barnstein	bestimmt durch Tanninfällung
			nicht aktiviert	aktiviert	nicht aktiviert	aktiviert		
Embryoteil . .	12.VII.	21	0.38	0.61	0.13	0.21		
							0.33	—
	19.VII.	28	0.92	0.70	0.75	0.57		
							0.27	0.28
	26.VII.	35	1.74	1.44	2.29	1.90		
							—0.02	0.05
	1.VIII. (Gelbreife)	41	1.13	1.08	1.51	1.45		
							0.04	—0.04
	4.VIII. (Vollreife)	44	1.09	0.98	1.47	1.32		
Unterer, dem Embryo anliegender Teil des Endosperms	12.VII.	21	0.95	0.91	9.2	8.8		
							0.73	0.80
	19.VII.	28	0.63	0.51	8.5	6.9		
							0.81	0.81
	26.VII.	35	0.58	0.46	9.7	7.6		
							1.04	1.02
	1.VIII. (Gelbreife)	41	0.44	0.31	7.7	5.5		
							—0.30	0.10
	4.VIII. (Vollreife)	44	0.49	0.35	8.5	6.0		
Oberer Teil des Endosperms	12.VII.	21	0.61	0.53	5.9	5.1		
							0.81	0.93
	19.VII.	28	0.24	0.23	3.3	3.1		
							0.85	0.92
	26.VII.	35	0.21	0.17	3.4	2.9		
							0.88	0.98
	1.VIII. (Gelbreife)	41	0.12	0.09	2.1	1.6		
							0.10	—0.01
	4.VIII. (Vollreife)	44	0.11	0.06	1.9	1.1		

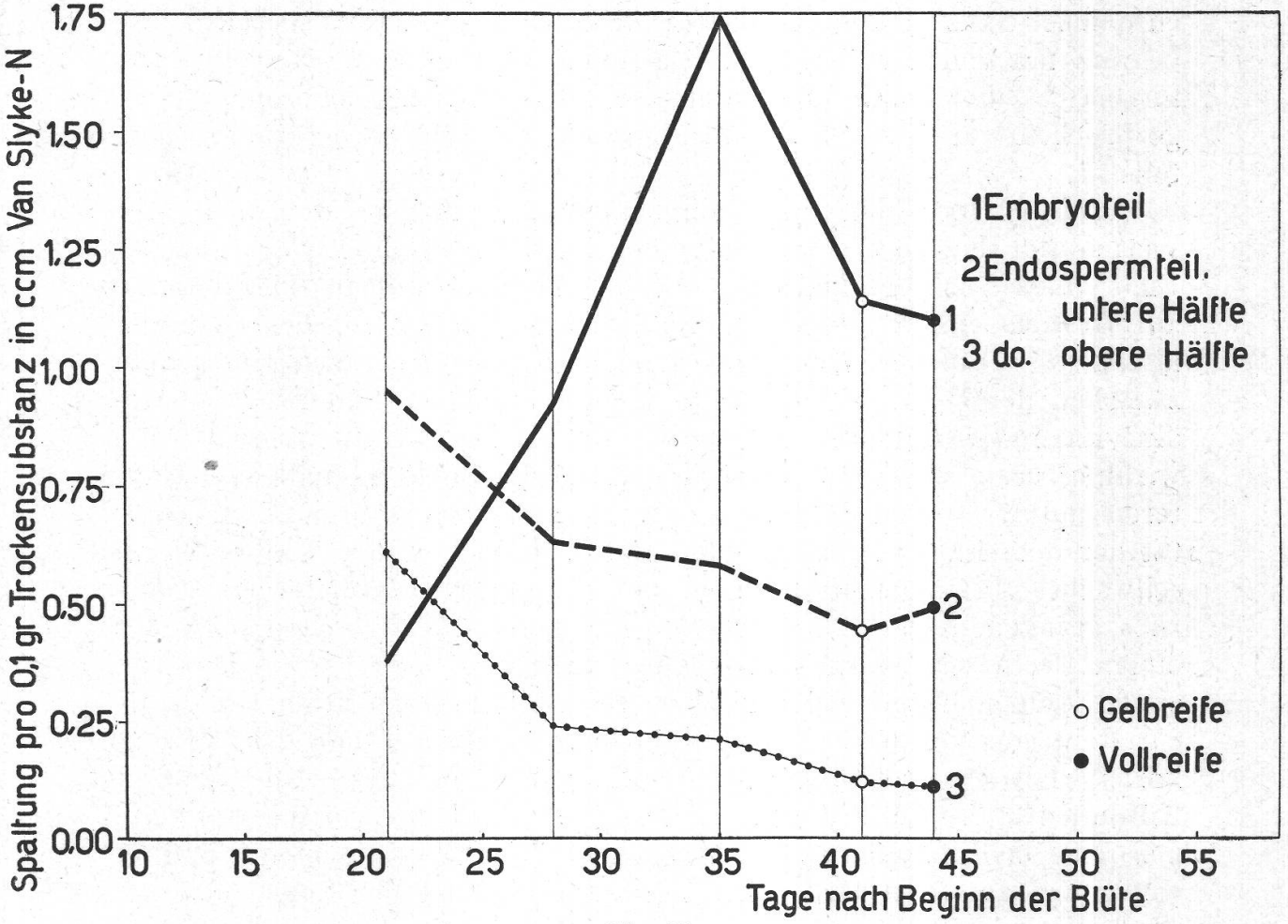


Fig. 21.
Proteolytische Aktivität von Embryo- und Endospermteil des Weizenkorns (Huronweizen vom Strickhof).

der ganzen Entwicklung in genügender Konzentration vorhanden sind, um eine rasche Umwandlung der einwandernden Stickstoffverbindungen in Eiweiss zu ermöglichen.

Die einzelnen Teile des Weizenkorns verhalten sich hinsichtlich der proteolytischen Aktivität sehr ungleich (siehe Tab. 34 und Fig. 21).[1] Die auf 0.1 g Trockensubstanz berechnete Aktivität der Embryonen war drei Wochen nach Beginn der Blüte relativ schwach; sie stieg in der Folge rasch an, erreichte zwischen Milch- und Gelbreife ein ausgesprochenes Maximum, um dann bis zur Gelbreife wieder ziemlich stark zu sinken. Die Proteinaseaktivität war aber im Stadium der Gelb- und Vollreife immer noch bedeutend höher als zur Zeit der ersten Probe-

[1] Diese Zahlen beziehen sich auf die ermittelte Gesamtspaltung; d. h. die autolytische Spaltung der Enzymlösung ist hier nicht in Abzug gebracht worden. Da diese, wie wir in Vorversuchen feststellten, bei der Bestimmung des Zuwachses an Aminostickstoff nicht wesentlich ins Gewicht fiel, konnte ihre Ermittlung aus Gründen der Materialersparnis ohne Bedenken wegfallen.

entnahme. Ganz anders verläuft die Enzymkurve im Endospermteil. Sie beginnt mit einem verhältnismässig hohen Betrag, sinkt dann aber mit fortschreitender Entwicklung ziemlich kontinuierlich ab. Besonders ausgesprochen war dieser Rückgang in der oberen Hälfte des Endospermteils.

Die auf 100 Embryonen berechneten Enzymwerte weisen in der vierten und fünften Woche infolge der starken Gewichtsvermehrung der Embryonen eine noch viel ausgeprägtere Zunahme auf als die relativen, auf Gewichtseinheit bezogenen Zahlen. Unmittelbar vor der Gelbreife lassen die absoluten Werte eine Abnahme erkennen; dagegen konnte zwischen der Gelb- und Vollreife keine Veränderung der Proteinaseaktivität festgestellt werden. Die auf 100 Körner berechnete Spaltungswirkung des *Endosperms* lässt das unterschiedliche Verhalten der unteren und der oberen Hälfte deutlich zutage treten. Während die Aktivität der dem Embryo anliegenden Hälfte kurz vor der Gelbreife ein schwaches Maximum, im übrigen aber nur geringe Veränderungen aufwies, gingen die absoluten Werte der oberen Hälfte schon nach der ersten Ernte sehr stark zurück; der Rückgang hielt, abgesehen von einem kleinen Unterbruch zwischen der zweiten und dritten Ernte, bis zur Reife an. Vergleichen wir die in den einzelnen Teilen des Weizenkorns ermittelte proteolytische Aktivität mit den früher bei den ganzen Körnern festgestellten Werten, so zeigt sich, dass das vor der Gelbreife meistens beobachtete zweite Maximum (Tab. 32, Kolonnen 6 und 7) wenigstens zum Teil der starken Aktivitätszunahme der Embryonen zuzuschreiben ist.

Wie bei den als Ganzes untersuchten Körnern haben wir auch bei den einzelnen Teilen derselben versucht, die Veränderung der Proteinaseaktivität mit der in den betreffenden Organen stattfindenden Eiweissbildung in Zusammenhang zu bringen, wobei wiederum sowohl die nach Barnstein, als auch die durch Tanninfällung ermittelten Eiweissgehalte zur Berechnung herangezogen wurden (Tab. 34, Kolonnen 8 und 9). Im Embryo wurde der grösste Teil der Eiweißstoffe in der vierten und fünften Entwicklungswoche gebildet, also in einem Zeitabschnitt, der anfänglich durch eine niedrige, später jedoch durch eine überaus hohe Proteinaseaktivität gekennzeichnet ist. In den beiden Endospermhälften machte sich während der vierten, fünften und sechsten Woche eine starke Zunahme an Eiweißstickstoff geltend; auch hier war keine Beziehung zwischen der Veränderung der proteolytischen Aktivität und der Intensität der Eiweissbildung zu erkennen.

Eine besondere Beachtung verdient *die Verteilung der proteolytischen Enzyme im reifen Korn.* Durch hohe Proteinaseaktivität zeichnet sich der Embryo aus. Dieses Verhalten erscheint verständlich, da die plasmareichen Gewebe des Keimlings ganz allgemein physiologisch aktiver sind als die Zellen des Endosperms, deren Trockenmasse zu einem

Tabelle 35.

Proteolytische Aktivität der Embryonen und Endosperme von Plantahofweizen von Kalchrain, Ernte 1937.

(Untersucht November/Dezember 1937.)

Vorbehandlung der Körner	Trockengewicht von 100 Stück in g	H_2O-Gehalt in % des Frischgewichtes	Gesamt-N-Gehalt in % der Trockensubstanz	Zunahme an Amino-N, ausgedrückt in cm³ Van-Slyke-N, während 22stündiger Proteolyse bei 37,5° C			
				pro 0.1 g Trockensubstanz		pro 100 Stück	
				nicht aktiviert	aktiviert	nicht aktiviert	aktiviert
A. Embryonen.							
1 Tag bei 5° C eingequollen	0.145	52.3	5.43	0.84	0.72	1.23	1.05
2 Tage bei 5° C eingekeimt .	0.140	50.8	5.21	1.06	0.81	1.50	1.14
Koleoptile zirka 8—14 mm lang (19 Tage bei 5° C eingekeimt)	0.550	80.2	5.08	0.93	1.25	5.11	6.90
B. Untere, dem Embryo angrenzende Hälfte des Endospermteils.							
1 Tag bei 5° C eingequollen	1.755	28.6	2.00	0.23	0.20	4.01	3.54
2 Tage bei 5° C eingekeimt	1.610	28.9	1.98	0.20	0.19	3.19	3.11
19 Tage bei 5° C eingekeimt (Koleoptile zirka 8—14 mm lang)	1.506	42.6	1.51	2.96	—	44.50	—
C. Obere Hälfte des Endospermteils.							
1 Tag bei 5° C eingequollen	1.759	23.5	2.23	0.06	0.04	0.99	0.66
2 Tage bei 5° C eingekeimt	1.845	25.3	2.21	0.04	0.06	0.83	1.04
19 Tage bei 5° C eingekeimt	1.365	36.7	2.38	0.27	0.41	3.74	5.61

grossen Teil aus Reservestoffen besteht. Dass die Weizenembryonen eine hohe proteolytische Aktivität aufweisen und infolge dieser Eigenschaft die Festigkeit des Klebers bei der Teigbereitung ungünstig beeinflussen, ist übrigens den Getreide- und Mehlchemikern wohlbekannt. Nicht vorauszusehen war dagegen die sehr ungleiche Verteilung der proteolytischen Enzyme innerhalb des Endosperms; war doch *die Proteinaseaktivität in der oberen Hälfte desselben etwa fünfmal schwächer als in der unteren, dem Embryo anliegenden Hälfte.* Um zu zeigen, dass es sich hier um eine typische Erscheinung handelt, führen wir in Tab. 35 die Ergebnisse eines im November und Dezember 1937 mit Winterweizen der Ernte 1937 durchgeführten Versuches an. Auch bei diesem Weizen war im ungekeimten Zustand die Proteinaseaktivität der proximalen Endospermhälfte etwa 4—5mal höher als die der distalen Hälfte. Im Laufe der Keimung wurde dieser Unterschied noch bedeutend verstärkt.

Die innerhalb des Endosperms in bezug auf die proteolytische Aktivität beobachteten Differenzen sind um so auffallender, als zwischen der oberen und der unteren Hälfte des Endospermteils keine Unterschiede im morphologischen Aufbau erkennbar sind, die für das abweichende biochemische Verhalten verantwortlich gemacht werden könnten. Insbesondere ist zu beachten, dass die Aleuronschicht, welche nach den Beobachtungen der Getreidechemiker die Hauptmenge der Endospermproteinasen enthält, sich in ziemlich gleichmässiger Mächtigkeit über die ganze Oberfläche des Endosperms erstreckt. Es ist auch nicht anzunehmen, dass sich die dem Schildchen anliegenden Lagen zusammengedrückter Endospermzellen, die in der Hauptsache nur noch aus Zellwänden bestehen, durch besonders hohe proteolytische Aktivität auszeichnen.

Dagegen war daran zu denken, dass der Enzymreichtum der unteren Partien des Endosperms irgendwie eine Folge des engen Kontaktes mit dem Embryo sein könnte. Um diese Möglichkeit zu prüfen, führten wir einen weiteren Versuch mit *embryolosen* Körnern durch, wie sie in den Weizenproben hin und wieder in einem ganz geringen Prozentsatz auftreten. Die Ergebnisse finden sich in Tab. 36. Sie zeigen, dass sich der Unterschied in der proteolytischen Aktivität bei den embryolosen Weizenkaryopsen in ähnlicher Weise bemerkbar macht wie bei den normalen Körnern. Es muss sich hier also um eine von der Anwesenheit des Embryos unabhängige physiologische Differenzierung handeln.

Wir haben bereits verschiedentlich auf die Beobachtungen von Brenchley (1909) und Percival (1921) hingewiesen, wonach die Reservestoffeinlagerung im oberen Teil (der morphologischen Basis) des Korns beginnt und von dort sukzessive nach unten fortschreitet. Es könnte auf Grund dieser Feststellung verständlich erscheinen, dass die Enzymaktivität im oberen Teil des Endosperms früher abklingt als im

Tabelle 36.
Proteolytische Aktivität der essigsauren Auszüge aus embryolosen Weizenkaryopsen.
Versuch vom 24.XII.37/6.I.38. pH = 4.3.
Ansätze ohne Aktivatorzusatz.

Vorbehandlung der Körner	Zunahme an Amino-N, ausgedrückt in ccm Van-Slyke-N, während 22stündiger Proteolyse bei 37,5° C, berechnet auf 10 Kornhälften	
	untere Hälfte	obere Hälfte
1 Tag bei 5° C eingequollen	0.88	0.10
13 Tage bei 5° C in feuchtem Filtrierpapier	1.30	0.22

unteren, dem Embryo anliegenden Teil. Unsere früher besprochenen quantitativen Analysen haben aber so kleine Differenzen in der Zusammensetzung der beiden Endospermhälften gezeitigt, dass höchstens mit geringen Unterschieden im zeitlichen Ablauf der Stoffumwandlungen gerechnet werden kann, d. h. mit Unterschieden, die das rasche und viel weitergehende Abfallen der Proteinaseaktivität der oberen Hälfte des Endospermteils nicht zu erklären vermögen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die *Proteinaseaktivität des Weizenkorns,* gemessen an der Spaltungswirkung essigsaurer Auszüge auf Edestin, *während der ganzen Entwicklung verhältnismässig stark war.* Die auf 1 g Trockensubstanz berechnete Aktivität erwies sich in den frühen Entwicklungsstadien als bedeutend höher als zur Zeit der Milch-, Gelb- und Vollreife. Die verschiedenen Teile des Korns zeigten hinsichtlich der proteolytischen Aktivität anfänglich keine grossen Abweichungen. Mit fortschreitender Entwicklung verstärkten sich aber die Unterschiede zusehends: *die proteolytische Aktivität der Embryonen nahm rasch zu, die des Endospermteils ging dagegen mehr und mehr zurück.* Besonders stark war die Abnahme in der distalen Hälfte des Endospermteils, so dass diese schon im Stadium der Milchreife und in noch stärkerem Masse zur Zeit der Gelb- und Vollreife eine bedeutend niedrigere Proteinaseaktivität aufwies als die proximale Hälfte. Letztere zeigte ihrerseits vom Stadium der Milchreife an — auf gleiche Gewichtsmengen bezogen — eine bedeutend schwächere Aktivität als der Embryo.

5. Stickstoffversorgung des Kornes und Bildung der Reserveproteine.

Zur Ergänzung unserer Beobachtungen über den Stickstoffhaushalt des Weizenkorns soll versucht werden, die im Korn selbst festgestellten Veränderungen mit den in den vegetativen Teilen der Pflanze stattfindenden Stoffumwandlungen in Beziehung zu bringen. Da wir in bezug auf die stofflichen Veränderungen in den vegetativen Organen nicht über

eigene Untersuchungen verfügen, kann es sich hier allerdings nur um eine allgemein gehaltene Darlegung der bestehenden Zusammenhänge handeln.

Man beobachtet ganz allgemein, dass die jungen, intensiv wachsenden Organe einen mehr oder weniger grossen Teil ihres Stickstoffbedarfs auf Kosten der älteren Pflanzenteile decken. Insbesondere geben die Blätter von einem gewissen Alter an bedeutende Stickstoffmengen ab, ein Vorgang, der schliesslich zum Vergilben und zum Absterben der an Eiweiss verarmten Blattgewebe führt. Was die Weizenpflanzen im besondern anbelangt, haben Adorjan (1902) und Sande-Bakhuyzen (1937) während der Entwicklung der Körner einen starken Rückgang des Stickstoffgehaltes der Blätter und Stengel feststellen können. So verloren die Blätter der von Adorjan untersuchten Pflanzen im Laufe der Entwicklung etwa die Hälfte, die Halme und Spelzen etwa 40 % ihres Stickstoffvorrates. Nimmt man an, dass der nach der Blüte aus den alternden vegetativen Organen auswandernde Stickstoff letzten Endes vollständig dem Korn zugute kommt — eine Annahme, die wenigstens angenähert zutreffen dürfte — so stammen in den Versuchen von Sande-Bakhuyzen 26.5 % des N-Gehaltes der reifen Körner aus den Blättern, 38.5 % aus den Halmen, und nur bei den restlichen 35 % handelt es sich um Stickstoff, der erst nach der Blüte in die oberirdischen Teile der Weizenpflanze eingewandert ist. Der durch das Blattwerk gelieferte Stickstoff stammt nach dem genannten Autor grösstenteils aus den obersten Blättern, was sich ohne weiteres daraus erklärt, dass die unteren Blätter einen beträchtlichen Teil ihres Stickstoffvorrates schon vor der Blüte abgegeben haben.

Die grosse Bedeutung der oberen Blätter für die Stickstoffversorgung der Körner geht auch aus andern Beobachtungen hervor. So konnte Boonstra (1936) feststellen, dass die Entfernung der obersten Blätter kurz nach der Blüte ausser der Verminderung des Korngewichtes auch eine Herabsetzung des prozentualen Stickstoffgehaltes zur Folge hatte. Im weiteren ist in diesem Zusammenhang auf den Einfluss des Rostes hinzuweisen, der, wie schon Headden (1916) nachgewiesen hat, bei starkem Befall zu einer bedeutenden Reduktion des Proteingehaltes führt. Diese Erscheinung wird uns auf Grund der neuesten Untersuchungen von Gassner und Franke (1938) verständlich. Diese Autoren stellten nämlich fest, dass aus stark mit Rost befallenen Weizenblättern bedeutend geringere Stickstoffmengen auswandern, weil allem Anschein nach das Pilzmyzel einen grossen Teil der im Blatt enthaltenen Stickstoffverbindungen an sich reisst. Die in den Blättern liegenden Stickstoffreserven können daher in diesem Falle nicht voll ausgenützt werden.

Die Versorgung der wachsenden Körner mit stickstoffhaltiger Substanz unterscheidet sich also tiefgreifend von der Deckung des Bedarfes

an Kohlehydraten. Letztere werden in der Hauptsache erst während der Kornentwicklung durch Assimilation erzeugt (vgl. Dehérain und Dupont, 1902), der Stickstoff wird dagegen grösstenteils den schon vor der Blüte angelegten Reserven entnommen. Die Nutzbarmachung des Stickstoffvorrates der Blätter und Halme wird dadurch begünstigt, dass in den alternden vegetativen Organen der Eiweissabbau mehr und mehr über die Synthese überwiegt (vgl. Mothes, 1926, 1931). Durch die hydrolytischen Abbauprozesse werden die Proteine in lösliche wanderungsfähige Verbindungen übergeführt; diese gelangen in die Leitungsbahnen und werden durch diese zu den Stellen des intensivsten Verbrauchs, d. h. ins wachsende Korn geleitet. Als Wanderungsform kommen in erster Linie die Säureamide (Asparagin, Glutamin) und Aminosäuren in Frage.

Die Menge der in der grünen Pflanze gebildeten Säureamide hängt, wie man auf Grund der Untersuchungen von Schulze, Prjanischnikow, Mothes und einer Reihe anderer Autoren annehmen muss, in starkem Masse ab von dem zur Verfügung stehenden Vorrat an gebundenem Kohlenstoff. Grosse Mengen von Asparagin entstehen dann, wenn infolge Kohlehydratmangels ein starker oxydativer Abbau der Aminosäuren stattfindet. Anderseits scheint bei relativem Reichtum an Kohlehydraten der Abbau der Proteine wenigstens zum Teil auf der Stufe der Aminosäuren haltzumachen. So konnte Engel (1929) zeigen, dass im Stickstoffhunger befindliche Maispflanzen den Stickstoffbedarf der wachsenden Organe aus dem Eiweiss der alten Blätter decken und dabei die Eiweißstoffe nur bis zu den Aminosäuren abbauen. Der Stickstoff wandert in diesem Falle in Form von Aminosäuren aus. Ob dies auch für die Blätter normal ernährter Getreidepflanzen zutrifft oder ob hier der Stickstofftransport ganz oder überwiegend in Form der N-reicheren und leichterlöslichen Säureamide erfolgt, ist nicht sicher bekannt.[1]

Die relativ geringen Stickstoffmengen, die die Weizenpflanze erst nach der Blüte aus dem Boden aufnimmt, werden dem Korn allem Anschein nach ebenfalls in organischer Bindung zugeführt. Hinsichtlich der aufgenommenen Ammoniumsalze ist bekannt, dass diese in der Pflanze im allgemeinen sehr rasch assimiliert werden. McCalla (1933) fand denn auch in der Weizenpflanze in keinem Stadium der Entwicklung nennenswerte Mengen von präformiertem Ammoniak. Aus der Tatsache, dass NO_3-Ionen in den Körnern nicht nachgewiesen werden konnten (vgl. auch Woodman und Engledow, 1924, und

---

[1] In einer kürzlich erschienenen Abhandlung über die Entstehung der sekundären Pflanzenstoffe führt Frey-Wyssling (1938) eine Reihe von Tatsachen an, die dafür sprechen, dass die Säureamide die bevorzugte Wanderungsform des Stickstoffs darstellen.

McCalla, 1933) muss geschlossen werden, dass die Nitratreduktion ebenfalls ausserhalb des Korns erfolgt.

Da die einzelnen Aminosäuren in den Reserveproteinen der Samen in einem charakteristischen Mengenverhältnis enthalten sind, ist damit zu rechnen, dass die ins Korn einwandernden löslichen Stickstoffverbindungen wenigstens zum Teil mehr oder weniger tiefgreifend umgebaut werden müssen, bevor sie zur Synthese Verwendung finden können. Es ist anzunehmen, dass dieser Umbau mit Desaminierungsvorgängen, d. h. der Abspaltung von NH_2-Gruppen, und deren Anlagerung an geeignete Kohlenstoffgerüste verbunden ist, und es ist möglich, dass das im wachsenden Korn auftretende Ammoniak seine Entstehung diesen Umwandlungsprozessen verdankt. Auf die Bereitstellung der erforderlichen Aminosäuren folgt schliesslich der Aufbau der Polypeptide und Eiweißstoffe. Ueber die Art und Weise, wie diese Synthese erfolgt und über die Rolle, die dabei den proteolytischen Enzymen zukommt, ist man bis heute nur sehr wenig orientiert (vgl. McKee, 1937). Dass die Weizenkörner in allen Entwicklungsstadien aktive Proteinase enthalten, haben unsere Untersuchungen deutlich dargetan.

In bezug auf die quantitativen Veränderungen der N-haltigen Stoffe sei daran erinnert, dass die absolute Menge der in den Körnern enthaltenen einfachen Stickstoffkörper zunächst ansteigt, sodann vielfach eine Zeitlang auf ungefähr der gleichen Höhe bleibt, um gegen das Ende des Reifungsprozesses auf einen verhältnismässig niedrigen Wert zu sinken. Während der Haupteinwanderungsperiode bewegte sich in unsern Versuchen das Total an Amino-N, Amid-N und NH_3-N meistens zwischen 30 und 35 mg pro 1000 Körner (Tab. 26 und 28). Bei diesem Gehalt hielten sich die Einwanderung stickstoffhaltiger Verbindungen und die Synthese von Eiweiss allem Anschein nach ungefähr die Waage. Der absolute Gehalt an Amino-, Amid- und Ammoniakstickstoff stieg zwar — sei es infolge des verstärkten Zustroms, sei es infolge verlangsamter Weiterverarbeitung — verschiedentlich höher; die beobachtete Höchstmenge betrug aber in keinem Fall mehr als 43 mg pro 1000 Körner. Wenn trotz der starken Verschiedenheit der herrschenden Aussenbedingungen keine stärkeren Ausschläge wahrnehmbar waren, so mag dies darauf beruhen, dass eine zu starke Anreicherung der einfachen Stickstoffkörper das Konzentrationsgefälle vermindert und dadurch den weiteren Zustrom löslicher N-haltiger Verbindungen hemmt.

Die im reifen Weizenkorn enthaltenen Eiweißstoffe stellen das Endprodukt einer grossen Zahl von Einzelprozessen dar. Da der Ablauf jeder dieser Einzelreaktionen durch die äusseren Bedingungen beeinflusst wird, ist es verständlich, dass Menge und Qualität des Endproduktes in starkem Masse vom Boden und den während des Wachstums der Pflanze und der Entwicklung der Körner herrschenden Witterungsverhältnissen abhängen. Ueber die mengenmässigen Veränderungen der

einzelnen Stoffgruppen und ihre Beeinflussung durch gewisse Aussenbedingungen geben die bis jetzt vorliegenden Untersuchungen ziemlich gute Anhaltspunkte; dagegen besitzen wir noch keinen Einblick in die feinchemischen Reaktionen, die bei der Eiweißsynthese zusammenspielen. Es fehlen daher einstweilen die methodischen Voraussetzungen, um Brücken zu schlagen zwischen den Vorgängen während des Ausreifens und der chemischen und physikalischen Beschaffenheit der Kleberproteine, deren qualitative Unterschiede sich bei der Verarbeitung der Körner zu Mehl und Brot in so starkem Masse bemerkbar machen.

VI. Die Veränderung des Gehaltes an Mineralstoffen.

Ueber den Mineralstoffgehalt der Weizenpflanze und seine Veränderung im Laufe der Entwicklung finden sich bereits in der älteren agrikulturchemischen Literatur eine Reihe von Arbeiten, welche ein Bild über den zeitlichen Verlauf der Nährstoffaufnahme vermitteln und damit eine gewisse Grundlage schaffen für die Festlegung von Menge und Zeitpunkt der den Kulturen zu verabfolgenden Ergänzungsdüngung (vgl. die Zusammenstellung bei Liebscher, 1887). Weniger häufig sind die einzelnen Teile der Weizenpflanze auf ihren Gehalt an Mineralstoffen geprüft worden. Die ältesten Untersuchungen über die Veränderung des Aschengehaltes im reifenden Weizenkorn stammen von Siegert (1864), Handtke (1870) und Nowacki (1870). Diese Autoren konstatierten mit fortschreitender Reife einen mehr oder weniger deutlichen Rückgang des Gehaltes an Gesamtasche. Bedeutend umfassender sind die Untersuchungen von Heinrich (1871), die sich auch auf die frühen Entwicklungsstadien erstrecken und die nicht nur über die Gesamtasche, sondern auch über die einzelnen Aschenbestandteile Auskunft geben. Nach den von Heinrich festgestellten Zahlen erfolgt der Rückgang des Gehaltes an Gesamtasche kurz nach der Blüte sehr rasch, in den späteren Reifestadien jedoch wesentlich langsamer. Eine besonders starke Abnahme wies der Kalkgehalt auf. Der auf die Trokkensubstanz bezogene Gehalt an Kali, Magnesia und Phosphorsäure nahm ebenfalls deutlich ab; in Prozenten der Gesamtasche ausgedrückt, war dagegen in der ersten Hälfte der Entwicklung eine deutliche Zunahme der Phosphorsäure und ein vorübergehendes Ansteigen der Magnesia zu erkennen. Die in 2600 Körnern enthaltenen P_2O_5-, MgO- und K_2O-Mengen nahmen im Laufe der Entwicklung stark zu, dagegen veränderte sich der absolute Kalkgehalt trotz der starken Trockengewichtszunahme der Körner nur wenig.

Der Gehalt an Gesamtasche und an Phosphorsäure ist in späteren Arbeiten über die Entwicklungs- und Reifungsvorgänge wiederholt untersucht worden. Aus den Untersuchungen von Adorjan (1902), Brenchley und Hall (1909), Thatcher (1913, 1915) und

Woodman und Engledow (1924) geht hervor, dass der Aschengehalt des Weizenkorns in den frühen Entwicklungsstadien abnimmt, gegen das Ende des Reifungsprozesses jedoch meistens ungefähr konstant bleibt. (Bei einzelnen Versuchsserien von Thatcher machte sich kurz vor der Reife wieder eine ganz leichte Zunahme bemerkbar.) Aehnlich wie die Gesamtasche geht auch die Phosphorsäure, bezogen auf die Trockensubstanz, in den frühen Entwicklungsstadien zurück (Adorjan, 1902; Olson, 1923); dagegen nimmt der Anteil der Phosphorsäure an der Gesamtasche, wie Brenchley und Hall in Bestätigung der Befunde von Heinrich feststellten, mit fortschreitender Reife deutlich zu. Ueber die Veränderungen der übrigen Mineralstoffe liegen keine neueren Versuchsdaten vor.

Unsere eigenen, nicht sehr umfangreichen Mineralstoffanalysen sollten in erster Linie zur Vervollständigung des aus den Veränderungen der organischen Stoffe sich ergebenden Bildes über die Reservestoffeinlagerung dienen. Zu diesem Zwecke wurden die Körner zweier Versuchsserien, von denen nach der Durchführung der übrigen Untersuchungen noch reichlich Material zur Verfügung stand, auf ihren Gehalt an Phosphorsäure, Kali, Kalk und Magnesia geprüft; bei einigen weiteren Serien beschränkten wir uns im wesentlichen auf die Bestimmung der Gesamtasche.

Zur Ermittlung des Aschengehaltes wurden 4 g (in einzelnen Fällen 2 g) Samenmehl mit 5 cm^3 verdünnter Magnesiumazetatlösung von genau bekanntem MgO-Gehalt versetzt und nach erfolgter Trocknung über einer kleinen Flamme abgeglüht. Die Veraschung wurde hierauf in einem elektrischen Muffelofen, wie er im Mahl- und Backlaboratorium unserer Anstalt zur Aschebestimmung von Mehlen Verwendung findet, zu Ende geführt. Die Bestimmung der einzelnen Aschenbestandteile erfolgte nach den an unserer Anstalt üblichen Methoden im Salzsäureauszug der aus einer grösseren Substanzmenge (meist 30 g) durch vorsichtiges Abglühen gewonnenen Asche. Die Phosphorsäure wurde nach dem von L. Gisiger (1939) auf der Grundlage der Methode von Lorenz ausgearbeiteten titrimetrischen Verfahren, das Kali nach der Platinchloridmethode bestimmt. Zur Ermittlung des Kalkgehaltes wurde ein aliquoter Teil des Aschenauszuges, nach Zusatz von Na_2CO_3 bis zur schwachsauren Reaktion, durch Kochen mit Natriumazetat vom Eisen befreit; in der so gewonnenen Lösung wurde das Kalzium als Oxalat ausgefällt und titrimetrisch bestimmt. Schliesslich wurde das Magnesium im Filtrat der Kalziumoxalatfällung nach der Methode von Schmitz als Magnesiumammoniumphosphat niedergeschlagen und als Pyrophosphat gewogen.

In Uebereinstimmung mit den eingangs erwähnten Angaben der Literatur machte sich auch in unsern Versuchen im Laufe der Entwicklung ein beträchtlicher Rückgang des Gehaltes an *Gesamtasche* geltend

Tabelle 37.

Aschengehalt der Weizenkörner im Laufe der Entwicklung.

(Bezogen auf die Trockensubstanz.)

A. Huronweizen	13	21	28	35	40	41	43	—	46	51	Tage nach Beginn der Blüte
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Frühsaat	2.76	2.46	2.23	2.21	2.31	—	2.25	—	—	—	
Mittelspäte Saat . .	3.19	2.59	2.21	2.22	—	2.28	—	—	2.14	2.14	
B. Marquisweizen	**11**	**19**	**26**	**33**	**41**	**43**	**44**	**45**	**49**	**51**	**Tage nach Beginn der Blüte**
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Frühsaat	2.78	2.32	2.18	1.93	2.06	—	2.01	—	—	—	
Mittelspäte Saat . .	2.94	2.57	2.12	2.03	—	1.98	—	—	1.95	2.02	
Spätsaat	2.98	2.34	2.00	2.18	—	2.03	—	2.05	—	—	
					Gelbreife		Vollreife				

(Tab. 37). Dieser Rückgang, der besonders deutlich zwischen der ersten und dritten Ernte in Erscheinung tritt, hängt ohne Zweifel damit zusammen, dass die *ins Endosperm eingelagerten Reservestoffe wesentlich mineralstoffärmer sind als die Gewebe des jungen Fruchtknotens.* In den späteren Entwicklungsstadien veränderte sich der Aschengehalt im allgemeinen nur noch wenig; einzig bei den Frühsaaten machte sich kurz vor der Gelbreife eine erneute schwache Zunahme bemerkbar. Unsere Frühsaaten von Huron und Marquis verhielten sich somit hinsichtlich der Veränderung des Aschengehaltes der Körner ähnlich wie einzelne der von Thatcher (1915) untersuchten Sommerweizenkulturen. Zur Zeit der Reife machte die Asche in unseren Versuchen durchgehends etwa 2 % der Trockensubstanz aus.

Die zwischen den verschiedenen Versuchsserien in den frühen Stadien zutage tretenden Abweichungen beruhen in der Hauptsache auf der ungleichen Entwicklungsgeschwindigkeit der verschiedenen Kulturen. So hängt der bei der ersten Ernte festgestellte hohe Aschengehalt der mittelspäten und späten Saaten damit zusammen, dass die Körner dieser Kulturen zur Zeit der Probeentnahme im Wachstum weniger weit fortgeschritten waren als die gleich alten Körner der Frühsaaten. Ebenso lässt sich der beim spätgesäten Marquis nach der ersten Ernte eintretende rasche Rückgang auf die durch die warme Witterung beschleunigte Entwicklung zurückführen.

Die in 1000 Körnern enthaltene absolute Aschenmenge stieg, wie Tab. 38 zeigt, in der Regel bis zur Gelbreife an. Im reifen Zustand enthielten die Körner etwa 3—5mal soviel Asche wie zur Zeit der ersten Probeentnahme. Es findet also im Laufe der Entwicklung trotz der beobachteten relativen Abnahme des Aschengehaltes eine beträchtliche Einwanderung von Mineralstoffen statt.

Der *Phosphorsäuregehalt* erfuhr in den frühen Entwicklungsstadien eine deutliche Abnahme (Tab. 39). Diese war aber weniger stark als der Rückgang des Aschengehaltes. Der Anteil der Phosphorsäure an der Gesamtasche nahm daher bis zur dritten Ernte zu; er betrug zur Zeit der Milch-, Gelb- und Vollreife ungefähr 50 %. Dieser hohe P_2O_5-Gehalt ist für die Samenasche charakteristisch; es werden — wohl im Hinblick auf den grossen Phosphorsäurebedarf der jungen Keimlinge — in den Nährgeweben der Samen ganz allgemein relativ grosse Phosphorsäurereserven angelegt.

Die Veränderung des Phosphorsäuregehaltes zeigt zunächst eine gewisse Aehnlichkeit mit den Verschiebungen im Stickstoffgehalt: beide Stoffe nehmen in den frühen Entwicklungsstadien im Verhältnis zur Gesamttrockensubstanz ab. Im weiteren Verlauf ist indessen, wie aus nachstehender Gegenüberstellung hervorgeht, keine derartige Beziehung mehr festzustellen; auch geht dem höheren Stickstoffgehalt der mittel-

Tabelle 38.

Absoluter Aschengehalt von 1000 Körnern im Laufe der Entwicklung.

A. Huronweizen	13	21	28	35	40	41	43	—	46	51	Tage nach Beginn der Blüte
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühsaat	0.257	0.442	0.620	0.765	0.804	—	0.791	—	—	—	
Mittelspäte Saat . .	0.165	0.373	0.529	0.719	—	0.780	—	—	0.743	0.739	
B. Marquisweizen	**11**	**19**	**26**	**33**	**41**	**43**	**44**	**45**	**49**	**51**	**Tage nach Beginn der Blüte**
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühsaat	0.213	0.358	0.516	0.595	0.673	—	0.666	—	—	—	
Mittelspäte Saat . .	0.144	0.311	0.460	0.614	—	0.644	—	—	0.635	0.654	
Spätsaat	0.184	0.364	0.527	0.632	—	0.594	—	0.566	—	—	
					Gelbreife		Vollreife				

Tabelle 39.

Mineralstoffgehalt des Marquisweizens im Laufe der Entwicklung.

Versuchsserie	Datum der Ernte	Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Bezogen auf die Trockensubstanz				Absolute Werte, berechnet auf 1000 Körner			
			P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
			%	%	%	%	g	g	g	g
Frühsaat . . .	3.VII.	11	1.23	0.98	0.18	0.36	0.094	0.075	0.014	0.028
	11.VII.	19	1.07	0.78	0.12	0.29	0.165	0.121	0.019	0.045
	18.VII. (Milchreife)	26	0.98	0.67	0.11	0.26	0.232	0.159	0.026	0.062
	25.VII.	33	1.06	0.59	0.11	0.27	0.327	0.182	0.034	0.083
	2.VIII. (Gelbreife)	41	1.09	0.65	0.12	0.27	0.356	0.213	0.039	0.088
	5.VIII. (Vollreife)	44	1.01	0.72	0.11	0.26	0.334	0.238	0.036	0.086
Mittelspäte Saat .	9.VII.	11	1.23	1.07	0.22	0.40	0.060	0.052	0.011	0.020
	17.VII.	19	1.17	0.95	0.14	0.32	0.142	0.115	0.017	0.039
	24.VII. (Milchreife)	26	1.05	0.74	0.11	0.28	0.228	0.161	0.024	0.061
	31.VII.	33	1.09	0.66	0.09	0.27	0.330	0.200	0.027	0.082
	10.VIII. (Gelbreife)	43	1.10	0.64	0.10	0.27	0.358	0.208	0.033	0.088
	16.VIII.	49	0.88	0.57	0.08	0.23	0.286	0.186	0.026	0.075
	18.VIII. (Vollreife)	51	1.08	0.61	0.08	0.27	0.350	0.197	0.026	0.087

späten und späten Saaten kein entsprechend erhöhter Phosphorsäuregehalt parallel.

Anzahl Tage nach Beginn der Blüte	Frühsaat		Mittelspäte Saat		Spätsaat	
	P_2O_5	N	P_2O_5	N	P_2O_5	N
	%	%	%	%	%	%
11	1.23	2.17	1.23	2.31	1.24	2.54
19	1.07	1.85	1.17	2.18	1.17	2.54
26	0.98	1.90	1.05	2.33	1.15	2.43
33	1.06	1.98	1.09	2.47	1.19	2.60
41	1.09	1.97	—	—	—	
43	—	—	1.10	2.41	1.01	2.69
44	1.01	2.18	—	—	—	—
49	—	—	0.88	2.61	—	—
51	—	—	1.08	2.58	—	—

Ein enger Zusammenhang zwischen der Stickstoff- und der Phosphorsäureeinlagerung im Weizenkorn ist übrigens nicht zu erwarten; denn die Speicherung des Stickstoffs erfolgt in der Hauptsache in Form von phosphorfreien Reserveproteinen; die der Phosphorsäure dagegen zu einem beträchtlichen Teil als *Phytin* und allem Anschein nach nur in geringerem Masse in Form von Verbindungen, welche, wie die Phosphatide, Nukleinsäuren und Nukleoproteide, gleichzeitig auch Stickstoff enthalten (vg. Knowles und Watkin, 1932, und die bei Czapek, Bd. II, S. 240 und S. 379—380 zusammengestellte allgemeine Literatur). Bemerkenswerterweise nimmt der Gehalt an löslicher Phosphorsäure, wie Rousseaux und Sirot (1920) nachgewiesen haben, im Laufe der Entwicklung ab. Auf Grund der Arbeit von Knowles und Watkin (1932), die zwar nicht die Weizenkörner allein, sondern die ganzen Aehren untersuchten, ist anzunehmen, dass mit fortschreitendem Wachstum ein beträchtlicher Teil des anorganischen Phosphors in Phytin umgewandelt wird. Es findet somit auch bei der Phosphorsäure im Laufe der Entwicklung eine Umwandlung der einwandernden löslichen Verbindungen in unlösliche Reservestoffe statt, welche später bei der Keimung unter Mitwirkung besonderer Enzyme, der Phosphatasen, wieder in anorganische, lösliche Form übergeführt werden. (Literatur bei Lehmann und Aichele, 1931, S. 526.)

Der *Kaligehalt* unserer Weizenkörner ging in den frühen Entwicklungsstadien ziemlich stark zurück; von der Milchreife an waren dagegen nur noch geringe Veränderungen festzustellen (Tab. 39). In den reifen Körnern machte das Kali ungefähr 30 % der Gesamtasche aus. Der Kaligehalt blieb während der ganzen Entwicklung hinter dem Gehalt an Phosphorsäure zurück; immerhin ist der Kalivorrat, den die Weizenpflanze den Körnern mit auf den Weg gibt, noch grösser als der

Gehalt an allen übrigen Mineralstoffen (die Phosphorsäure ausgenommen) zusammen. Die Einwanderung des Kalis erstreckte sich, wie die Veränderung der absoluten Mengen (Tab. 39, Kolonne 9) zeigt, über die ganze Dauer der Entwicklung; auch nach der Milchreife trat noch eine beträchtliche Zunahme des absoluten Kaligehaltes ein. Da die Weizen*pflanze* nach den Untersuchungen von Wolff, Pierre (vgl. Liebscher, 1887) und Knowles und Watkin (1931) ihren höchsten absoluten Kaligehalt schon zur Zeit der Blüte erreicht, ist anzunehmen, dass das dem Korn zugeführte Kali dem vor Beginn der Blüte in den vegetativen Organen eingelagerten Vorrat entstammt. Die Körner der von Knowles und Watkin (1931) untersuchten Weizenpflanzen enthielten zur Zeit der Reife 28.8 % des gesamten in den oberirdischen Teilen vorgefundenen Kalis. Vergleichsweise sei erwähnt, dass beim gleichen Material 74 % des in der ganzen Pflanze (ohne Wurzeln) enthaltenen Stickstoffs und 75 % der Phosphorsäure in den Körnern lokalisiert war. Beim Kali findet somit nur ein viel geringerer Teil des vorhandenen Gesamtvorrates zur Aufspeicherung im Korn Verwendung als beim Stickstoff und der Phosphorsäure.

Im Vergleich zur Phosphorsäure und zum Kali treten *Kalk* und *Magnesia* im wachsenden und reifenden Weizenkorn ziemlich stark zurück (Tab. 39, Kolonnen 6 und 7). Der Kalkgehalt betrug 11 Tage nach Beginn der Blüte zirka 0.2 % der Trockensubstanz; er ging bis zur Milchreife auf etwa 0.1 % zurück und blieb sodann bis zur Vollreife annähernd konstant. Im reifen Zustand machte der Kalk 4—6 % der Gesamtasche aus. Der Magnesiagehalt der Trockensubstanz sank in den frühen Entwicklungsstadien ziemlich rasch von 0.36 bzw. 0.4 % auf 0.26 bzw. 0.28 %; später machten sich, ähnlich wie bei den übrigen untersuchten Aschenbestandteilen, nur noch unbedeutende Veränderungen geltend. Im Zustand der Gelb- und Vollreife betrug der Anteil der Magnesia an der Gesamtasche 12—14 %.

Die absolute in 1000 Körnern enthaltene Kalkmenge stieg in beiden Versuchsserien — im Gegensatz zu den Ergebnissen von Heinrich — im Laufe der Entwicklung deutlich an, doch war diese Zunahme auch in unsern Versuchen geringer als die Vermehrung des absoluten Gehaltes an Magnesia. Der Magnesiavorrat der Körner erwies sich im Hinblick auf den geringen Magnesiagehalt der vegetativen Organe der Weizenpflanze als recht ansehnlich; er war zur Zeit der Reife annähernd dreimal so hoch wie der im Korn enthaltene Vorrat an Kalk.

Das Weizen*korn* unterscheidet sich in bezug auf den Mineralstoffgehalt stark von den übrigen Teilen der Weizenpflanze; es ist *verhältnismässig aschenarm, und von den einzelnen Aschenbestandteilen sind Phosphorsäure und Magnesia stärker, der Kalk dagegen wesentlich schwächer vertreten als in den vegetativen Organen der Pflanze.* Das für die Körner charakteristische Mengenverhältnis der einzelnen Mine-

ralstoffe trat in unsern Versuchen schon zur Zeit der ersten Probeentnahme zutage; es prägte sich in den folgenden Entwicklungsstadien durch die Zunahme des Phosphorsäureanteils und die Verminderung des Kalkanteils noch deutlicher aus. Nach der Milchreife machten sich hinsichtlich der Gesamtasche wie auch hinsichtlich des Gehaltes an Phosphorsäure, Kali, Magnesia und Kalk nur noch geringe Veränderungen bemerkbar. Die Einlagerung dieser Stoffe ging zwar, wie die Zunahme der absoluten Mengen zeigt, in der Regel bis zur Gelbreife weiter; der nach der Milchreife eintretende Zuwachs steht aber in einem annähernd konstanten Verhältnis zur Vermehrung der gesamten Trockensubstanz.

VII. Das gegenseitige Verhältnis der einwandernden Stoffe und die Beziehungen zwischen Stoffzufuhr und Beschaffenheit des reifen Korns.

Um einen Gesamtüberblick über die stofflichen Veränderungen im Weizenkorn zu gewinnen, haben wir die absoluten Mengen der in den einzelnen Entwicklungsstadien in den Körnern enthaltenen Stoffgruppen in Fig. 22 und 23 graphisch dargestellt. Die für diese Darstellung erforderlichen Daten entstammen in der Hauptsache den früher besprochenen Tabellen; neu sind einzig die Angaben über den Gehalt an Rohfett. Diese Werte stellen das Total der in Aether löslichen Stoffe dar; es handelt sich also um eine sehr komplexe Stoffgruppe, welche ausser den eigentlichen Fetten auch Phosphatide, Sterine und das in den unreifen Körnern enthaltene Chlorophyll einschliesst. Der Gehalt an Rohprotein wurde durch Multiplikation des Gesamtstickstoffgehaltes mit 5.7 errechnet; dieser von den amerikanischen Getreidechemikern allgemein angewendete Umrechnungsfaktor dürfte für die Proteine des Weizenkorns richtiger sein als der in der Futtermittelanalyse angewendete Faktor von 6.25.

Die graphischen Darstellungen (Fig. 22 und 23) veranschaulichen die im grossen und ganzen regelmässige Zunahme der in 1000 Körnern enthaltenen Mengen Rohprotein, Rohfett und Asche im Laufe der Entwicklung. Einen entgegengesetzten Verlauf nimmt der absolute Gehalt an Zucker, der besonders am Anfang deutlich zurückgeht. Diese Abnahme wird jedoch durch eine um so ausgiebigere Zunahme an Stärke ausgeglichen, so dass die Gesamtmenge der Kohlehydrate in ähnlicher Weise ansteigt wie die der übrigen Stoffgruppen. Die Summe der durch unsere Analysen erfassten Zellinhaltstoffe ergibt bei den jüngsten Entwicklungsstadien 80—82 %, bei den in der Milch-, Gelb- und Vollreife geernteten Körnern 84—86 % der Trockensubstanz. Der verbleibende Rest besteht jedenfalls zum grössten Teil aus den Wandstoffen, die beim reifen Weizenkorn nach Gäumann (1932, S. 436) etwa 10 % der

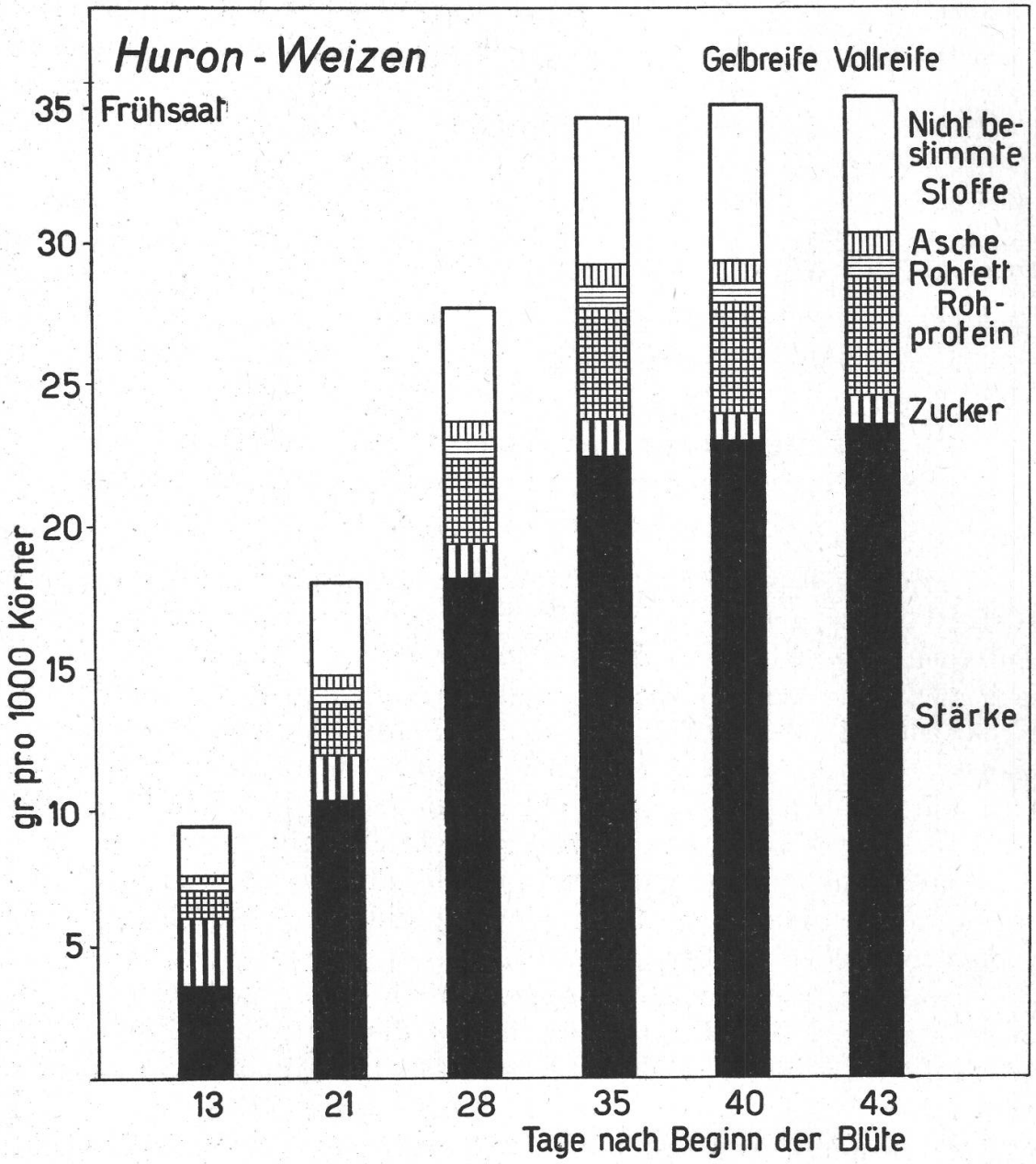


Fig. 22.
Veränderung der absoluten Mengen der einzelnen Stoffgruppen (Huron, Frühsaat).

Trockensubstanz ausmachen.[1] Möglicherweise finden sich unter den nicht bestimmten Stoffen auch gewisse Zwischenprodukte des Kohlehydrataufbaus, die weder bei der Bestimmung des Gesamtzuckers noch bei der Stärkebestimmung nach v. Fellenberg erfasst werden.

Beim Vergleich der Figuren 22 und 23 kommt wiederum die schon öfter erwähnte Erscheinung zum Ausdruck, dass die Stoffeinwanderung

[1] Der nach dem Weender Verfahren ermittelte Rohfasergehalt ist bedeutend niedriger, was sich ohne weiteres daraus erklärt, dass bei der Rohfaserbestimmung der grösste Teil der Pentosane und ein Teil der Lignine in Lösung gehen.

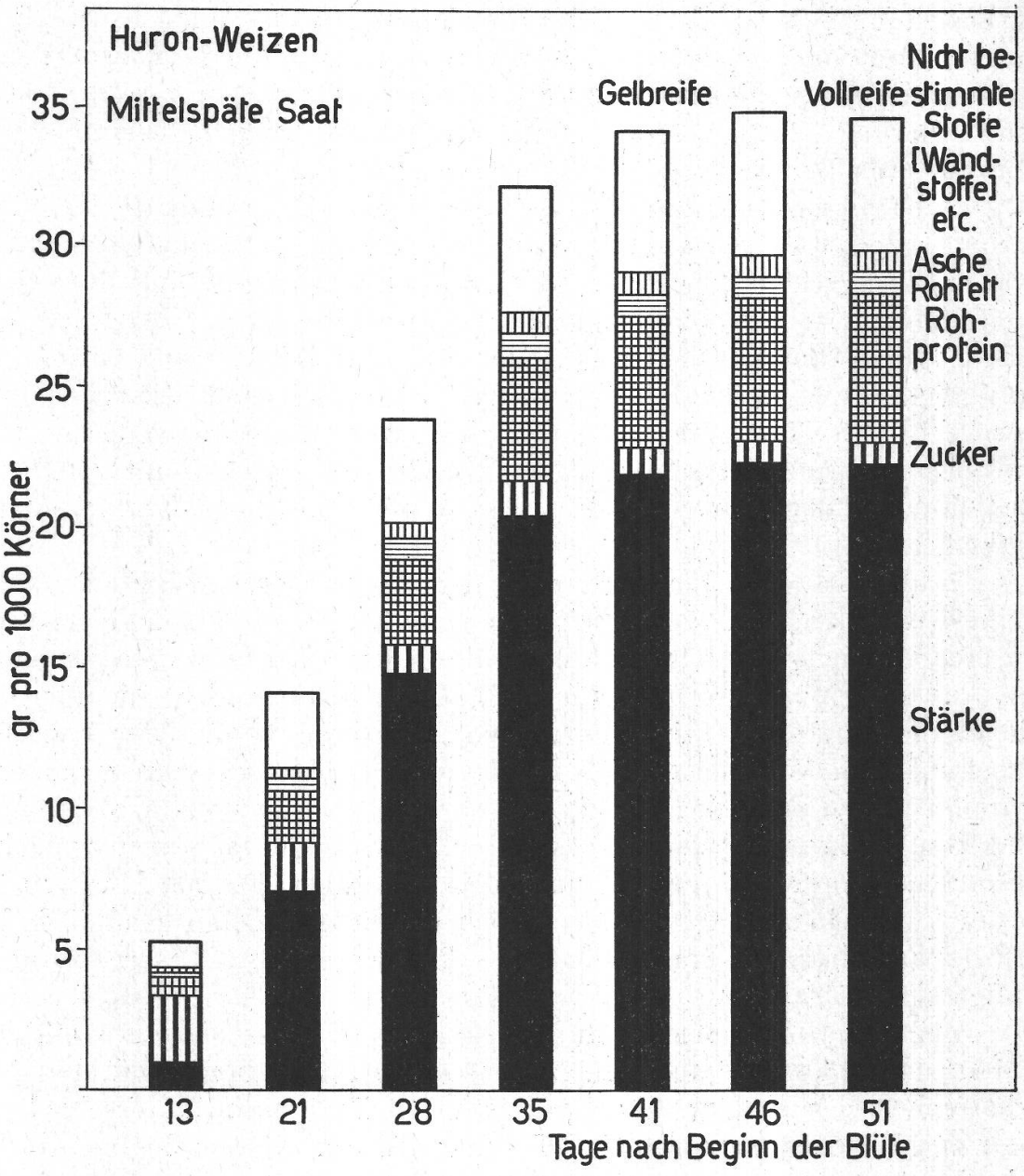


Fig. 23.
Veränderung der absoluten Mengen der einzelnen Stoffgruppen (Huron, mittelspäte Saat).

beim mittelspät gesäten Huronweizen anfänglich viel langsamer erfolgt als bei der Frühsaat. Hinsichtlich des Anteils der einzelnen Stoffgruppen am jeweiligen Gesamtgewicht machen sich dagegen keine sehr augenfälligen Unterschiede geltend; immerhin zeigt sich schon bei dieser mehr summarischen Betrachtung, dass die Körner der mittelspäten Saat während der ganzen Entwicklung etwas proteinreicher und stärkeärmer sind als die der Frühsaat.

Die zwischen den einzelnen Versuchsserien zutage tretenden Abweichungen sollen im folgenden noch etwas eingehender geprüft und

in Beziehung gebracht werden zur Beschaffenheit des reifen Korns. Dabei soll insbesondere untersucht werden, inwieweit die *Textur* und *der wechselnde Proteingehalt* der reifen Körner aus dem Verlauf der Stoffeinwanderung bzw. aus den die Einwanderungsvorgänge beeinflussenden äusseren Bedingungen erklärt werden können.

Es ist allgemein bekannt, dass beim Weizen die Beschaffenheit des Mehlkörpers stark wechselt; er kann zahlreiche Luftlücken enthalten und mehlig erscheinen, oder aber er kann durch und durch mit Reservestoffen erfüllt sein und infolgedessen ein dunkles, glasiges Aussehen besitzen. Diese Besonderheiten in der Kornausbildung sind teilweise sortenbedingt; es kann aber auch — vielfach zur grossen Ueberraschung der Praktiker — bei ein und derselben Sorte und bei Verwendung des gleichen Saatgutes im einen Fall ein vorwiegend glasiges, unter andern Bedingungen dagegen ein mehr oder weniger mehliges Ernteprodukt entstehen.

Da die Ursachen für diese verschiedenartige Kornausbildung noch keineswegs abgeklärt sind, hielten wir es für angezeigt, das Material unserer Versuchsparzellen auch nach dieser Richtung etwas eingehender zu prüfen. Wir verwendeten für diese Untersuchung nicht die für die chemische Analyse bestimmten Körner, da diese infolge der raschen Trocknung im Vakuumtrockenschrank im Aussehen zu sehr verändert waren, sondern den Kornertrag von Aehren, die im gelbreifen, vollreifen und zum Teil im überreifen Zustand geerntet und im Zimmer nachgetrocknet worden waren. Es wurden in der Regel je 1000 Körner abgezählt und in drei Gruppen, nämlich in glasige, melierte und ganz mehlig aussehende Körner getrennt. Die Ergebnisse dieser Prüfung finden sich in Tab. 40.

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, dass sich die mittelspäten und späten Saaten beider Versuchssorten in bezug auf die Beschaffenheit der Körner sehr stark von den Frühsaaten unterschieden. Jene zeigten vorwiegend glasige Kornausbildung; diese enthielten einen sehr hohen Prozentsatz mehliger und melierter Körner. Innerhalb der gleichen Parzellen machten sich je nach dem Reifestadium gewisse kleinere Unterschiede geltend. So waren die vollreif geernteten Proben meistens etwas glasiger als die Körner der in der Gelbreife geschnittenen und im Zimmer nachgetrockneten Aehren. Einen bedeutend erhöhten Gehalt an mehligen Körnern zeigten die nach erreichter Vollreife auf dem Halm verbliebenen und dabei mehrmals verregneten Aehren der Frühsaaten. Die infolge des Regens eingetretene Quellung, welche übrigens den Glanz der Proben stark beeinträchtigte, hat hier hauptsächlich den Anteil der rein mehligen Körner auf Kosten der melierten erhöht. Reifestadium und Erntewitterung übten somit einen gewissen Einfluss auf die Beschaffenheit der Körner aus; doch war dieser gegenüber der Wirkung der Saatzeit nur von sekundärer Bedeutung.

Tabelle 40.

Textur der Körner von Huron- und Marquisweizen.

Versuchsserie	Datum der Ernte	Reifestadium	Glasige Körner	Melierte Körner	Mehlige Körner
			%	%	%
Huron Herbstsaat	28.VII.	vollreif	33.4	12.2	54.4
Huron Frühsaat	1.VIII.	gelbreif	36.0	32.3	31.7
	4.VIII.	vollreif	45.1	26.9	28.0
	12.VIII.	überreif, Körner infolge stärkerer Regenfälle aufgeweicht	26.4	11.2	62.4
	15.VIII.	überreif, Körner wieder völlig abgetrocknet	27.1	15.4	57.5
Huron mittelspäte Saat	8.VIII.	gelbreif	75.9	18.7	5.4
	15.VIII.	Körner noch nicht ganz hart, Pflanzen zeigen die Merkmale der Vollreife	80.3	16.2	3.5
	17.VIII.	vollreif, Körner hart	91.1	7.9	1.0
Huron Spätsaat	25.VIII.	grösstenteils gelbreif, teilweise zwischen gelbreif und vollreif	95.5	4.3	0.2
	27.VIII.	vollreif	96.4	3.3	0.3
Marquis Frühsaat	2.VIII.	gelbreif	11.8	56.2	32.0
	5.VIII.	vollreif	24.6	58.0	17.4
	12.VIII.	überreif, Körner infolge stärkerer Regenfälle aufgeweicht	15.3	19.0	65.7
	15.VIII.	überreif, Körner wieder völlig hart geworden	15.0	20.8	64.2
Marquis mittelspäte Saat	10.VIII.	gelbreif	71.5	22.0	6.5
	17.VIII.	vollreif, Körner hart	71.4	16.9	11.7
Marquis Spätsaat	25.VIII.	in der Hauptsache gelbreif, zum Teil zwischen gelbreif und vollreif	85.3	8.7	6.0
	27.VIII.	vollreif	87.8	7.0	5.2

Die in unsern Versuchen gemachte Beobachtung, wonach späte Aussaat die Glasigkeit des Ernteproduktes steigert, darf aber nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. Zwar zeigte sich dieselbe Erscheinung auch in dem von Dr. Buchli im Sommer 1938 in Oerlikon durchgeführten Saatzeitversuch; dagegen wiesen die Körner eines im Vorjahr angelegten ähnlichen Versuches sowohl bei früher als auch bei später Saatzeit einen hohen Grad von Glasigkeit auf.

Eine deutliche Beziehung besteht indessen ganz allgemein zwischen der Glasigkeit und der chemischen Zusammensetzung. Wir wissen schon aus den Untersuchungen von Nowacki (1870), dass sich die glasigen Körner gegenüber den mehligen durch einen höheren Proteingehalt auszeichnen. Dieser Befund ist später auch von andern Autoren, so namentlich von Shollenberger und Kyle (1927) bestätigt worden. Der von diesen Autoren beobachtete Zusammenhang zwischen Glasigkeit und Stickstoffgehalt kommt auch in unsern Versuchen typisch zum Ausdruck. Dies geht aus nachstehender Uebersicht hervor, in welcher Stickstoffgehalt und Glasigkeit der in der Gelb- und Vollreife geernteten Proben einander gegenübergestellt sind.

	Prozentsatz an glasigen Körnern		Stickstoffgehalt in % der Trockensubstanz	
	Gelbreife	Vollreife	Gelbreife	Vollreife
	%	%	%	%
Huron Herbstsaat	—	33.4	1.87	1.79
» Frühsaat	36.0	45.1	1.99	2.12
» mittelspäte Saat	75.9	91.1	2.38	2.66
» Spätsaat	95.5	96.4	2.62	2.57
Marquis Frühsaat	11.8	24.6	1.97	2.18
» mittelspäte Saat	71.5	71.4	2.41	2.58
» Spätsaat	85.3	87.8	2.69	2.75

Die Frage, unter welchen Bedingungen vorwiegend *glasige* bzw. vorwiegend *mehlige* Körner gebildet werden, deckt sich somit weitgehend mit der Frage nach den *Ursachen,* die *der Entstehung proteinreichen bzw. proteinarmen Weizens* zugrunde liegen.[1]

Es ist seit langem bekannt, dass mildes, feuchtes Klima die Wachstumszeit der Weizenpflanze verlängert und zur Bildung stärkereicher Körner führt, während im kontinentalen, trockenen Klima bzw. bei heisser Sommerwitterung das Ausreifen beschleunigt und ein eiweiss-

[1] Beschaffenheit und chemische Zusammensetzung der Körner sind bis zu einem gewissen Grade sortenbedingt. Ohne auf diese Zusammenhänge näher einzugehen, sei bemerkt, dass beim Proteingehalt der Einfluss der Sorte gegenüber der Wirkung der äusseren Bedingungen zurücktritt. In bedeutend stärkerem Masse kommen die erblichen Sortenmerkmale in der qualitativen Beschaffenheit des Klebers zum Ausdruck.

reicher Weizen erzeugt wird (vgl. Ritthausen, 1857; Lawes und Gilbert, 1884; Schindler, 1893; Jensen, 1899; Wiley, 1902; Dehérain und Dupont, 1902; Prjanischnikow, 1930). Betrachten wir unsere Versuchsergebnisse unter diesem Gesichtspunkt, so zeigt sich zunächst, dass hoher Stickstoffgehalt zwar mit kürzerer Gesamtwachstumszeit, nicht aber mit kürzerer Reifezeit parallel geht. Bei den Frühsaaten, deren Körner einen relativ niedrigen Stickstoffgehalt aufwiesen, betrug nämlich die Zeit von der Blüte bis zur Gelbreife 40—41 Tage, bei den mittelspäten und späten Saaten, die sich durch einen für unsere Verhältnisse recht hohen Stickstoffgehalt auszeichneten, dagegen 41—43 Tage. Auch zwischen dem Stickstoffgehalt und der während der Entwicklung der Körner fallenden Niederschlagsmenge zeigte sich nicht die erwartete Beziehung; denn während der Reifungszeit der Spätsaaten fiel bedeutend mehr Regen als während der Entwicklung der durch niedrigeren Stickstoffgehalt gekennzeichneten Körner der Frühsaaten.

Da die Ernährung der Körner in starkem Masse vom Bau und der Leistungsfähigkeit der vegetativen Organe abhängt, dürfen die Ursachen für die ungleiche Zusammensetzung des reifen Korns nicht ausschliesslich in den während der Kornentwicklung herrschenden Bedingungen gesucht werden. Es sind vielmehr auch die Faktoren, die das Wachstum der Pflanzen bis zur Blüte beeinflussen, mitzuberücksichtigen. Verschiedene neuere Arbeiten deuten darauf hin, dass den vor Beginn der Stoffeinwanderung herrschenden Aussenbedingungen unter Umständen ein noch grösserer Einfluss auf die Zusammensetzung des Getreidekorns zukommt als den Witterungsverhältnissen zur Zeit der Kornentwicklung. Wir erwähnen insbesondere die Ergebnisse der langjährigen Untersuchungen von Russell und Bishop (1933) bei der Gerste und die von Hopkins (1935) auf statistischem Wege festgestellten Beziehungen zwischen der Niederschlagsmenge und der Zusammensetzung des auf verschiedenen Versuchsfarmen der kanadischen Prärie gewachsenen Weizens.

In bezug auf die Entwicklung unserer eigenen Versuchskulturen und die dabei herrschenden Witterungsverhältnisse ist folgendes festzustellen. Der im Herbst gesäte Huronweizen und die Frühsaaten von Huron und Marquis zeigten dank der günstigen Feuchtigkeitsverhältnisse des Saatbettes und dank der verhältnismässig langen Zeit, die für die vegetative Entwicklung zur Verfügung stand, ziemlich üppiges Blattwachstum und reichliche Bestockung. Auf Grund der relativ grossen Blattfläche ist eine ausgiebige Kohlensäureassimilation und eine reichliche Versorgung der Körner mit Kohlehydraten zu erwarten, wodurch naturgemäss die Ausbildung stärkereicher und relativ eiweissarmer Körner von hohem Tausendkorngewicht gefördert wird. Das weite Eiweiss/Stärke-Verhältnis wird möglicherweise noch dadurch begün-

stigt, dass infolge der kräftigen Bestockung der im Boden vorhandene aufnehmbare Stickstoff sich auf eine grössere Zahl von Halmen und Körnern verteilt.[1]

Im Gegensatz zu den im Herbst und frühen Frühjahr gesäten Kulturen blieb bei den mittelspäten und namentlich bei den späten Saaten — infolge Trockenheit und wegen der kurzen für die vegetative Entwicklung verfügbaren Zeit — das Blattwerk ziemlich schmächtig. Wir gehen wohl nicht fehl, wenn wir in der geringen Blattfläche und der damit zusammenhängenden schwachen Assimilationsleistung eine wichtige Ursache für den niedrigeren Kohlehydratgehalt, den höheren Eiweissgehalt und das teilweise geringere Tausendkorngewicht der produzierten Körner vermuten.

Zur näheren Abklärung der zwischen der Leistungsfähigkeit der vegetativen Organe und der chemischen Beschaffenheit der Körner bestehenden Beziehungen könnte die Bestimmung der Assimilationsintensität ohne Zweifel wesentlich beitragen. Da aber derartige Messungen gleichzeitig mit dem Studium der Reifungsvorgänge weder von uns noch von andern Autoren durchgeführt worden sind, soll im folgenden versucht werden, die angedeuteten Beziehungen durch *Prüfung des in die Körner einwandernden Stoffgemisches* etwas näher zu beleuchten.

Wir ermittelten zu diesem Zwecke für ein bestimmtes Zeitintervall sowohl die absolute Zunahme an Stickstoff als auch die gesamte Trockengewichtszunahme, beide auf 1000 Körner bezogen, und berechneten aus diesen Zahlen den Stickstoffgehalt des jeweiligen Trockensubstanzzuwachses (vgl. Brenchley und Hall, 1909). Dieser ist zwar der durch die Atmung eintretenden Substanzverluste wegen nicht identisch mit dem Stickstoffgehalt der einwandernden Trockenmasse; er gibt uns aber doch Anhaltspunkte über die grobchemische Zusammensetzung des dem Korn zufliessenden Nährstoffstroms. Die ermittelten Werte sind in Tab. 41 zusammengestellt; vergleichsweise wurden die entsprechenden

---

[1] Dass ein reichlicher Vorrat an leicht aufnehmbaren Stickstoffverbindungen — sei es infolge des natürlichen Reichtums des Bodens, sei es durch starke Düngung — erhöhend auf den Proteingehalt des Weizenkorns einwirkt, ist durch viele Untersuchungen, auf die wir hier nicht näher eingehen können, nachgewiesen worden. Es ist jedoch zu beachten, dass sich die Stickstoffdüngung zuerst in einem üppigen Wachstum der ganzen Pflanze und im Ertrag und erst in zweiter Linie im prozentualen Stickstoffgehalt der Körner auswirkt. Eine Erhöhung des Eiweissgehaltes der Körner wird am ehesten bei später Anwendung der Düngung erzielt (vgl. z. B. Gericke, 1922; Doneen, 1934; Åkerman, 1938). Reichliche Stickstoffaufnahme wirkt, wie McCalla (1933) zeigen konnte, direkt vermindernd auf den Kohlehydratgehalt der Pflanze, weil für die Assimilation der anorganischen Stickstoffverbindungen Kohlehydrate verbraucht werden.

Im ganzen genommen sind aber Boden und Düngung von wesentlich geringerem Einfluss auf die Zusammensetzung des Weizenkorns als das Klima. Dies geht besonders deutlich aus den Untersuchungen von Leclerc und Yoder (1914) hervor.

Daten von Brenchley und Hall und die auf Grund des Materials von Thatcher (1913, 1915) berechneten Zahlen beigefügt. Zu den angeführten Daten ist noch zu bemerken, dass der Stickstoffgehalt des Trockengewichtszuwachses für je zwei Perioden gesondert bestimmt wurde; die erste Periode entspricht bei unserem Material dem Zeitabschnitt von der ersten Probeentnahme bis ungefähr zur Milchreife, die zweite dem Abschnitt von der Milchreife bis zur Vollreife.

Wie aus Tab. 41 ersichtlich ist, war der Trockensubstanzzuwachs in der ersten Periode in den meisten Fällen bedeutend stickstoffärmer als in der zweiten. *Es macht sich also in den frühen Entwicklungsstadien eine verhältnismässig starke Einwanderung der Produkte der Kohlensäureassimilation geltend; in den späteren Stadien tritt dagegen mit dem fortschreitenden Absterben der zur Assimilation befähigten Gewebe die Mobilisation der Eiweissreserven und der Zustrom stickstoffhaltiger Verbindungen stärker in den Vordergrund.* Zwischen den einzelnen unserer Versuchsserien sind besonders in der ersten Periode starke Abweichungen zu beobachten. Bei den im Herbst und im frühen Frühjahr gesäten Kulturen war der Stickstoffgehalt des Trockensubstanzzuwachses der ersten Periode niedrig, teilweise noch bedeutend niedriger als bei den von Brenchley und Hall (Rothamsted, England) untersuchten Proben; bei den mittelspäten und späten Saaten liegen dagegen die entsprechenden Werte wesentlich höher; sie bewegen sich auf ungefähr derselben Höhe wie die aus dem Material von Thatcher (Minnesota, U. S. A.) berechneten Zahlen.

Vergleichen wir den Stickstoffgehalt des Trockensubstanzzuwachses der ersten Periode mit dem Stickstoffgehalt der Körner zur Zeit der Reife, so zeigt sich, dass zwischen diesen beiden Grössen eine gute Parallelität besteht. Weniger deutlich ist die Beziehung zwischen der Zusammensetzung der reifen Körner und dem N-Gehalt des im zweiten Entwicklungsabschnitt eingetretenen Trockensubstanzzuwachses.

Es zeigt sich somit, dass der Proteingehalt unserer Weizenkörner in starkem Masse durch den Stickstoffgehalt der in der ersten Periode einwandernden Trockenmasse bestimmt wurde. Da aber die Zusammensetzung des Nährstoffstroms, der den Körnern in den frühen Entwicklungsstadien zufliesst, von der Intensität der Assimilation und damit vom Bau der ganzen Pflanzen abhängt, weisen auch diese Berechnungen letzten Endes auf die grosse Bedeutung der während der früheren Phasen der Entwicklung herrschenden Bedingungen hin. Auf jeden Fall steht fest, dass die Witterungsverhältnisse kurz vor der Reife den Stickstoffgehalt unserer Weizenproben nicht entscheidend beeinflussten.[1]

[1] Diese Feststellung bezieht sich ausschliesslich auf den Stickstoff- bzw. den Rohproteingehalt. Was die *qualitative* Beschaffenheit der Eiweißstoffe, insbesondere der Kleberproteine anbetrifft, ist allem Anschein nach mit einem bedeutenden Einfluss der in den letzten Tagen vor der Reife herrschenden Witterung zu rechnen (vgl. Gassner, 1925; Schnelle, 1929).

Tabelle 41.

Stickstoffgehalt des Trockensubstanz-Zuwachses von Weizenkörnern.

	Sorte, Saatzeit usw.	Periode	N-Gehalt des Trockensubstanzzuwachses	Periode	N-Gehalt des Trockensubstanzzuwachses	N-Gehalt des reifen Kornes
			%		%	%
Eigene Untersuchungen .	Huron, Herbstsaat . . .	25.VI.—12.VII.	1.43	12.VII.—28.VII.	2.45	1.79
	» Frühsaat	5.VII.—20.VII.	1.90	20.VII.—4.VIII.	2.87	2.12
	» mittelspäte Saat .	11.VII.—26.VII.	2.20	26.VII.—18.VIII.	3.68	2.66
	» Spätsaat	27.VII.—4.VIII.	2.26	4.VIII.—27.VIII.	2.84	2.57
	Marquis, Frühsaat . . .	3.VII.—18.VII.	1.77	18.VII.—5.VIII.	2.88	2.18
	» mittelspäte Saat	9.VII.—24.VII.	2.33	24.VII.—18.VIII.	3.09	2.58
	» Spätsaat . . .	24.VII.—1.VIII.	2.54	1.VIII.—27.VIII.	3.02	2.75
	Strickhofweizen, nicht gelagert	29.VI.—14.VII.	1.31	14.VII.—1.VIII.	2.64	1.94
	Strickhofweizen, vom 13. Tage nach Beginn der Blüte an gelagert . .	29.VI.—14.VII.	1.38	14.VII.—1.VIII.	3.01	1.99
Zahlen von Brenchley und Hall (1909)	Square Head's Master Broadbalk Field, Plot 3, seit 1843 ungedüngt 1907	19.VII.—6.VIII.	1.67	6.VIII.—24.VIII.	1.68	1.78
	Square Head's Master Broadbalk Field, Plot 10, jährlich mit Ammoniumsalzen gedüngt . . 1907	16.VII.—3.VIII.	1.70	3.VIII.—21.VIII.	1.87	1.90
	Square Head's Master, gewachsen unter normalen Anbaubedingungen 1908	3.VII.—21.VII.	1.55	21.VII.—8.VIII.	1.91	1.81
	Red Fife 1907	25.VII.—12.VIII.	1.69	12.VIII.—30.VIII.	2.45	2.05
Berechnet auf Grund des Materials von Thatcher (1913) und (1915)	Turkey 1913	30.VI.—8.VII.	1.63	8.VII.—19.VII.	2.60	2.17
	Bluestem 1913	8.VII.—19.VII.	2.54	19.VII.—3.VIII.	3.33	2.85
	Velvet Chaff . . . 1914	11.VII.—20.VII.	2.07	20.VII.—29.VII.	2.96	2.33
	Fife 1914	14.VII.—23.VII.	2.18	23.VII.—1.VIII.	5.60	2.72
	Bluestem 1914	15.VII.—24.VII.	2.42	24.VII.—2.VIII.	3.85	2.74

Die während der Jugendentwicklung herrschenden Bedingungen und die Dauer des vegetativen Wachstums sind möglicherweise ganz allgemein von bedeutendem Einfluss auf die Zusammensetzung des Ernteproduktes. Die zur Assimilation befähigten Organe der Pflanzen entwickeln sich unter sonst gleichen Bedingungen um so kräftiger, je mehr Zeit ihnen für die vegetative Entwicklung zur Verfügung steht. Wenn sich Keimung, Schossen und Aehrenschieben in kurzer Zeit folgen, wie dies im kontinentalen Klima und unter unsern Verhältnissen bei später Aussaat zutrifft, wird die Blattausbildung relativ schmächtig und die Kohlehydratproduktion spärlich ausfallen. Es ist daher verständlich, dass die unter diesen Bedingungen gebildeten Körner stärkearm, eiweissreich und vielfach von niedrigem Tausendkorngewicht sind. Umgekehrt schafft die Verlängerung der Zeitspanne zwischen Auflaufen und Blüte, wie sie beim Winterweizen und unter unsern Verhältnissen beim frühgesäten Sommerweizen eintritt, eine wichtige Voraussetzung für die Ausbildung grosser, stärkereicher und relativ eiweissarmer Körner.

Neben den während der Jugendentwicklung sich geltend machenden Einflüssen, die der Pflanze in starkem Masse ihr Gepräge geben, darf natürlich auch die Wirkung der später herrschenden Bedingungen nicht übersehen werden, da auch diese die Kohlensäureassimilation und mit ihr die Zusammensetzung der reifen Körner noch wesentlich beeinflussen können. So wurde in den Versuchen von Thatcher und Watkins (1907) der Stärkegehalt des Weizens durch 10—12tägige Beschattung der reifenden Pflanzen um 4.42—7.15 % herabgesetzt. Ebenso dürfte auch die Verkürzung der Reifezeit, wie sie in kontinentalem Klima häufig eintritt, durch Verminderung der Kohlehydratproduktion zur Steigerung des relativen Eiweissgehaltes des Korns beitragen. Es muss aber im Hinblick auf die Untersuchungen von Thatcher (1913, 1915) betont werden, dass der hohe Stickstoffgehalt des unter kontinentalen Bedingungen gewachsenen Weizens nicht etwa auf einem frühzeitigen, gewaltsamen Unterbruch der Stoffzufuhr, sondern in erster Linie auf dem von Anfang an höheren Stickstoffgehalt der einwandernden Trockenmasse beruht.

Als wichtigstes Ergebnis unserer Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Stoffzufuhr und Beschaffenheit des fertigen Korns möchten wir festhalten, dass *der Stickstoffgehalt des Weizenkorns durch die Zusammensetzung der in den frühen Entwicklungsstadien einwandernden Trockenmasse in besonders starkem Masse beeinflusst wird.* Es ist daher allem Anschein nach auch schon längere Zeit vor der Gelbreife im wesentlichen entschieden, ob das Ernteprodukt vorwiegend glasige oder vorwiegend mehlige Beschaffenheit aufweisen wird. Die während der Ausreifungsperiode herrschenden Bedingungen vermögen den Proteingehalt und die Textur der Körner nur noch in schwächerem Masse zu modifizieren.

VIII. Zusammenfassung.

Die vorliegende Arbeit verfolgte das Ziel, einen vertieften Einblick in die während der Entwicklung des Weizenkorns stattfindenden Stoffumwandlungen zu gewinnen. Die Erweiterung der über diesen Gegenstand bereits vorliegenden Kenntnisse wurde angestrebt

a) durch Paralleluntersuchungen an Material, das zu verschiedenen Zeiten und unter verschiedenen äusseren Bedingungen ausreifte,

b) durch eingehendere Differenzierung bei der Untersuchung gewisser Stoffgruppen, insbesondere der beim Stickstofftransport und beim Eiweissaufbau beteiligten löslichen Stickstoffverbindungen,

c) durch Ergänzung der an den ganzen Körnern gewonnenen Versuchsresultate mittelst getrennter Prüfung der einzelnen Teile.

Die wichtigsten Ergebnisse unserer Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen :

1. Das Wachstum des Korns und die Einlagerung der Reservestoffe äussern sich besonders augenfällig in der während der ganzen Entwicklung andauernden Zunahme des Trockengewichtes. Im Endospermteil setzte die ausgiebige Gewichtszunahme wesentlich früher ein als im Embryo. Die Trockengewichtsvermehrung kam sowohl im Embryo als auch im Endosperm im Stadium der Gelbreife zum Abschluss.

2. Der relative Wassergehalt ging im Laufe der Entwicklung andauernd zurück. Dieser Rückgang erfolgte bis zu einem « kritischen » Wassergehalt von zirka 40 % in enger Beziehung zur Trockensubstanzeinlagerung; er wurde durch die während der Reservestoffspeicherung herrschenden Witterungsverhältnisse im wesentlichen nur insofern beeinflusst, als diese die Entwicklung der Körner beschleunigten oder verzögerten. Nach Abschluss der Stoffzufuhr erfolgte die Wasserabgabe bei trockenem, warmem Wetter sehr rasch; bei regnerischer Witterung und hoher Luftfeuchtigkeit zog sich dagegen die Austrocknung stark in die Länge. Die Abnahme des Wassergehaltes ging im Embryo langsamer vor sich als im Endosperm. Zwischen der unteren, dem Embryo anliegenden, und der oberen Hälfte des Endospermteils war in bezug auf die Veränderung des Wassergehaltes kein Unterschied festzustellen.

3. Die in 1000 Körnern enthaltene absolute Wassermenge stieg anfänglich entsprechend dem Wachstum der Körner an; sie blieb während der Periode der intensivsten Reservestoffeinlagerung vielfach annähernd gleich und ging schliesslich mit dem Uebergang zur Gelb- und Vollreife verhältnismässig rasch zurück. Im Embryo wurde der höchste absolute Wassergehalt, im Gegensatz zum Endosperm, erst kurz vor der Gelbreife erreicht.

4. Die jungen Weizenkörner weisen einen beträchtlichen Gehalt an direkt reduzierendem Zucker und einen überaus hohen Gehalt an Rohr-

zucker und löslichen Polysacchariden auf. Der nach der Hydrolyse mit verdünnter Säure festgestellte Gesamtzuckergehalt betrug im Maximum 46 % der Trockensubstanz. Der Gehalt an Gesamtzucker ging im Laufe der Entwicklung zuerst rasch, später langsamer zurück; zur Zeit der Reife machte er noch 2—3 % der Trockensubstanz aus. Die direkt reduzierenden Zucker nahmen ebenfalls kontinuierlich ab; von der Gelbreife an wurden nur noch Spuren dieser Zuckerarten gefunden. Der Stärkegehalt stieg in den frühen Entwicklungsstadien stark an; der prozentuale Höchstgehalt war im Stadium der Milchreife praktisch erreicht.

5. Der absolute, auf 1000 Körner berechnete Gesamtzuckergehalt nahm ab bis ungefähr zur Milchreife, d. h. bis zu dem Stadium, wo die Resorption der farblosen Parenchymzellen der Fruchtknotenwand und das äussere Wachstum des Korns abgeschlossen sind. Von diesem Zeitpunkt an bis kurz vor der Gelbreife blieb die absolute Menge Gesamtzucker im Endospermteil annähernd konstant; im Embryo stieg sie indessen stark an, so dass das Weizenkorn als Ganzes in diesem Entwicklungsabschnitt eine deutliche Zunahme des Zuckergehaltes aufwies. Mit dem Uebergang zur Gelbreife ging der absolute Gehalt an Gesamtzucker im Endosperm (und auch im ganzen Korn) erneut zurück; dagegen blieb der recht hohe Zuckergehalt der Embryonen während dieser Zeit ungefähr konstant. Die in 1000 Körnern enthaltene absolute Stärkemenge nahm in der Regel bis zur Gelbreife zu. Nach der Gelbreife waren meistens keine nennenswerten Verschiebungen des Kohlehydratgehaltes mehr festzustellen; einzig bei ausgesprochen feuchter Witterung machte sich ein weiterer beträchtlicher Rückgang des Zuckergehaltes geltend.

6. Die äusseren Bedingungen beeinflussten den Gehalt an Zucker und Stärke in erster Linie insofern, als sie die Entwicklung beschleunigten oder verzögerten. Störungen in der Kohlehydratzufuhr infolge frühzeitigen Absterbens der assimilierenden Gewebe oder infolge Lagerung bewirkten eine Reduktion der absoluten Menge der eingelagerten Kohlehydrate und eine Verminderung des Tausendkorngewichtes; dagegen wurde der prozentuale Gehalt an Zucker und Stärke durch ungünstige äussere Verhältnisse nur wenig beeinflusst.

7. Der Stickstoffgehalt nahm in der Regel bis ungefähr zur Milchreife ab, in den späteren Reifestadien dagegen durchgehends deutlich zu. Der anfängliche Rückgang des Stickstoffgehaltes machte sich besonders stark bei den Wintersaaten und zum Teil bei den frühen Frühjahrssaaten geltend. Die Körner dieser Kulturen wiesen denn auch im reifen Zustand einen entsprechend niedrigen Proteingehalt auf. Der Embryo war während der ganzen Entwicklung bedeutend stickstoffreicher als der Endospermteil; innerhalb des letzteren zeichnete sich die distale Hälfte durch ihren etwas höheren Stickstoffgehalt aus. Der Stickstoffgehalt des Endospermteils erfuhr im Laufe der Entwicklung zuerst eine leichte Abnahme und von der Milchreife an eine deutliche Zunahme.

8. Der absolute Stickstoffgehalt stieg im Laufe der Entwicklung kontinuierlich an. Die Einlagerung stickstoffhaltiger Verbindungen nahm auch während des eigentlichen Ausreifens, d. h. nach dem Abschluss des äusseren Wachstums ihren Fortgang. Aehnlich wie der absolute Gehalt an Gesamtstickstoff wies auch der absolute Eiweissgehalt eine bis zur Reife andauernde Zunahme auf.

9. Der prozentuale Gehalt an Nichteiweißstickstoff ging im Laufe der Entwicklung kontinuierlich zurück. Von den verschiedenen Bestandteilen des Nichteiweißstickstoffs wiesen Amino- und Ammoniakstickstoff einen andauernden Rückgang auf. Amid- und Polypeptidstickstoff nahmen am Anfang der Entwicklung ebenfalls ab; später machte sich jedoch bei diesen Stoffgruppen vielfach wieder eine leichte Zunahme geltend. Der Aminostickstoff bildete während der ganzen Entwicklung die stärkste Fraktion des Nichteiweißstickstoffs. Der Aminostickstoffgehalt war in den frühen Stadien durchschnittlich etwa 10mal, zur Zeit der Reife etwa 3—4mal so hoch wie der Gehalt an Amidstickstoff. Die unreifen Körner enthielten ungefähr ebensoviel Ammoniak- wie Amidstickstoff; von der Gelbreife an wurden dagegen nur noch Spuren von präformiertem Ammoniak gefunden.

10. Die absolute, in 1000 Körnern enthaltene Menge Nichteiweissstickstoff nahm in den frühen Entwicklungsstadien zu, sie blieb sodann während der Periode des gleichbleibenden absoluten Wassergehaltes vielfach annähernd konstant, um während des Ausreifens auf einen bedeutend niedrigeren Wert zu sinken. Dieser Verlauf, der sich auch bei einzelnen Bestandteilen des Nichteiweiss-N, insbesondere dem Amino-N wiederfindet, deutet darauf hin, dass die Zufuhr löslicher Stickstoffverbindungen anfänglich rascher vor sich geht als der Aufbau der Proteine. Es folgt vielfach eine Periode, wo die Bereitstellung der Eiweissbausteine und ihre Synthese zu Eiweiss sich annähernd die Waage halten, bis schliesslich gegen das Ende des Reifungsprozesses die synthetischen Vorgänge eindeutig überwiegen. Die Umwandlung der Aminosäuren in höhermolekulare Verbindungen ging auch nach der Gelbreife in schwachem Umfang weiter.

11. Aehnlich wie in den als Ganzes untersuchten Körnern nahm auch im Endospermteil der prozentuale Gehalt an Nichteiweißstickstoff, an Amino- und Ammoniakstickstoff mit fortschreitender Reife ab. Im Embryo ging der Aminostickstoffgehalt im Laufe der Entwicklung nur wenig zurück, und der Amidstickstoffgehalt nahm sogar noch bedeutend zu. Dank dieser Zunahme machte der in Form von Asparagin bzw. Glutamin vorliegende Stickstoff im reifen Embryo etwa 7 % des Gesamtstickstoffs aus.

12. Die Verschiebungen der absoluten Mengen löslicher Stickstoffverbindungen unterscheiden sich in ihrem Verlauf sehr stark von den Veränderungen des absoluten Gehaltes an löslichen Kohlehydraten,

trotzdem beide Stoffgruppen beim Materialtransport und beim Aufbau der hochmolekularen Reservestoffe analoge Funktionen ausüben. Die beobachteten Abweichungen hängen damit zusammen, dass die durch die Analyse erfassten löslichen Verbindungen nur zum Teil an der Stoffumwandlung bzw. am aktiven Stoffwechsel beteiligt sind, zum Teil aber — sei es vorübergehend oder dauernd — selbst als Reservestoffe auftreten. Die letztgenannte Funktion kommt insbesondere den in der jungen Frucht sich anhäufenden Fruktosanen, dem in den Geweben des Keimlings enthaltenen Rohrzucker und dem ebenfalls im Embryo vorgefundenen Asparagin zu.

13. Die proteolytische Aktivität des Weizenkorns, gemessen an der Spaltungswirkung essigsaurer Extrakte auf Edestin, war während der ganzen Entwicklung beträchtlich. Die in den frühen Stadien geernteten Körner wiesen, auf Gewichtseinheit bezogen, eine stärkere Proteinaseaktivität auf als die in der Milch-, Gelb- und Vollreife geernteten Proben. Zwischen der Proteinasewirkung und der Intensität der Eiweissbildung konnte kein Zusammenhang nachgewiesen werden.

14. In den frühen Entwicklungsstadien war die Proteinasewirkung in den einzelnen Teilen des Kornes, bezogen auf gleiche Mengen Trockensubstanz, nicht sehr verschieden. Mit fortschreitender Entwicklung nahm die Aktivität der Embryonen rasch zu, die des Endospermteils ging dagegen mehr und mehr zurück. Besonders stark war die Abnahme in der oberen Endospermhälfte, so dass diese von der Milchreife an eine viel schwächere proteolytische Aktivität aufwies als die untere, dem Embryo anliegende Hälfte. Das ungleiche enzymatische Verhalten der beiden Endospermhälften wurde auch an embryolosen Weizenkaryopsen festgestellt.

15. Der Aschengehalt der Weizenkörner ging in den frühen Entwicklungsstadien deutlich zurück. Der Phosphorsäuregehalt, ausgedrückt in Prozenten der Trockensubstanz, wies anfänglich ebenfalls eine schwache Abnahme auf; der Anteil der Phosphorsäure an der Gesamtasche stieg jedoch mit fortschreitender Entwicklung an. Einen ziemlich starken anfänglichen Rückgang erfuhr der (auf die Trockensubstanz bezogene) Gehalt an Kali, Magnesia und Kalk. Von der Milchreife an veränderte sich der Aschengehalt im allgemeinen nur noch wenig; auch die Zusammensetzung der Asche, bestehend aus zirka 50 % P_2O_5, zirka 30 % K_2O, 12—14 % MgO und 4—6 % CaO, blieb in den späteren Reifestadien annähernd konstant. Der absolute Aschengehalt und der absolute, auf 1000 Körner berechnete Gehalt an Phosphorsäure, Kali, Magnesia und Kalk nahmen bis ungefähr zur Gelbreife zu.

16. Zwischen der unteren, dem Embryo anliegenden und der oberen Hälfte des Endospermteils konnten, abgesehen von der ungleichen proteolytischen Aktivität und den geringen Abweichungen im Gesamtstickstoffgehalt, keine nennenswerten Unterschiede in der stofflichen Zu-

sammensetzung nachgewiesen werden. Dieser Befund deutet darauf hin, dass die Stoffeinlagerung in beiden Endospermhälften in ähnlicher Weise erfolgt und mit annähernd gleicher Geschwindigkeit vorwärtsschreitet.

17. Die reifen Körner der verschiedenen Versuchsparzellen wiesen hinsichtlich des Stickstoffgehaltes und der Glasigkeit bedeutende Unterschiede auf. Die Körner der Herbst- und Frühsaaten von Huron und Marquis waren relativ eiweissarm und zum grösseren Teil meliert und mehlig, die der mittelspäten und späten Saaten dagegen proteinreich und überwiegend glasig.

18. Der Proteingehalt der reifen Körner wurde besonders stark durch die Zusammensetzung der vor der Milchreife ins Korn einwandernden Trockenmasse beeinflusst. Der Stickstoffgehalt des Trockensubstanzzuwachses zwischen der ersten Probeentnahme und der Milchreife betrug bei den Herbst- und Frühsaaten 1.31—1.90 %, bei den mittelspäten und späten Saaten, deren Körner sich im reifen Zustand durch ihren hohen Proteingehalt auszeichneten, dagegen 2.20—2.54 %. Der Zeitpunkt der Ernte und die während der letzten Reifestadien herrschenden Witterungsbedingungen übten auf den Proteingehalt und die Glasigkeit des Ernteproduktes nur einen geringeren Einfluss aus.

19. Die dem Korn zufliessenden Stickstoffverbindungen stammen, wie aus der einschlägigen Literatur ersichtlich ist, zum überwiegenden Teil aus dem vor Beginn der Blüte in der Pflanze enthaltenen Stickstoffvorrat; die zur Ernährung der Körner dienenden Kohlehydrate werden dagegen in der Hauptsache erst während der Kornentwicklung produziert. Das Eiweiss/Stärke-Verhältnis der Körner wird durch eine Reihe von Faktoren bedingt, unter denen dem Bau und der Leistungsfähigkeit der vegetativen Organe der Pflanze allem Anschein nach eine besondere Bedeutung zukommt.

20. Die Körner der gelagerten Partien des Strickhofweizens zeigten im Laufe der Entwicklung annähernd denselben Gehalt an löslichen Kohlehydraten, an löslichen Stickstoffverbindungen und an Gesamtstickstoff wie die Körner der stehengebliebenen Pflanzen. Der allgemeine Verlauf der Stoffumwandlungen wurde somit durch die Lagerung nicht merklich verändert, dagegen erfuhr, wie das niedrigere Tausendkorngewicht des gelagerten Weizens anzeigt, die Gesamtmenge der zugeführten Stoffe eine beträchtliche Einschränkung.

* * *

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem Kollegen Dr. Geering, der zusammen mit Herrn Jost die notwendigen Kjeldahl-Bestimmungen ausführte, für seine Mitarbeit herzlich zu danken. Ebenso danke ich den Herren Dr. Gisiger, Platter und Pfenninger bestens für die Durchführung der im Kapitel VI ausgewerteten Mineralstoffanalysen. Mein besonderer Dank gilt schliesslich meiner Frau,

welche mir durch ihre ausdauernde Mitarbeit im Laboratorium und bei der Berechnung der Versuchsresultate viel Kleinarbeit abgenommen hat.

Zürich-Oerlikon, Ostern 1939.

Literatur.

Adorjan, J., 1902. Die Nährstoffaufnahme des Weizens. Journ. Landw. 50, 193—230.

— 1903. Die Stickstoffaufnahme des Weizenkornes. Landw. Versuchsstat. 58, 281—289.

Ahrendt, R., 1859. Untersuchungen über einige Vorgänge bei der Vegetation der Haferpflanze. Landw. Versuchsstat. 1, 31—68.

Åkerman, Å., 1938. Die Möglichkeit, die Qualität unserer Getreidearten durch Züchtung und Stickstoffdüngung zu verbessern. Zeitschr. Züchtung A, 22, 551—563.

Archbold, H. K., 1938. *a)* Physiological studies in plant nutrition VII. The role of fructosans in the carbohydrate metabolism of the barley plant 1. Material used and methods of sugar analysis employed. Ann. Bot. N. S. II, 183—202.

— 1938. *b)* Physiological studies in plant nutrition VII. The role of fructosans in the carbohydrate metabolism of the barley plant, Part 2. Seasonal changes in the carbohydrates with a note on the effect of nitrogen deficiency. Ann. Bot. N. S. II, 403—435.

— and Barter, A. M., 1935. A fructose anhydride from the leaves of the barley. Biochem. J. 29, 2689.

Arnold, B., 1927. Die Entwicklung und die Aufgabe des Aleurons bei einigen Getreidearten. Acta Bot. Inst. Univ. Zagreb 2, 57.

Arny, A. C. and Sun, C. P., 1927. Time of cutting wheat and oats in relation to yield and composition. J. Am. Soc. Agr. 19, 410—439.

Association of Official Agricultural Chemists (A. O. A. C.) 1935. Methods of Analysis. Washington D. C. 4th edition.

Bach, A. und Oparin, A., 1923. Ueber Fermentbildung in keimenden Pflanzensamen. Biochem. Zeitschr. 134, 183—189.

— Oparin, A. und Wähner, R., 1927. Untersuchungen über den Fermentgehalt von reifenden, ruhenden und keimenden Weizensamen. Biochem. Zeitschrift 180, 362—370.

Barnell, H. R., 1938. Distribution of carbohydrates between component parts of the wheat plant at various times during the season. New. Phytol. 37, 85—112.

Belval, H., 1924. La genèse de l'amidon dans les céréales. Rev. Gén. Bot. 36, 308—324, 337—356, 395—411.

Bersin, Th., 1935. Thiolverbindungen und Enzyme. Ergebn. der Enzymforschung 4, 68—101.

Boonstra, A. E. H. R., 1936. Der Einfluss der verschiedenen assimilierenden Teile auf den Samenertrag von Weizen. Zeitschr. Züchtung A, 21, 115—147.

Brenchley, W. E., 1909. On the strength and development of the grain of wheat. Ann. Bot. 23, 117—138.

— and Hall, A. D. 1909. The development of the grain of wheat. J. Agr. Sci. 3, 195—217.

Brown, H. T. and Morris, G. H., 1890. Researches on the germination of some of the gramineae. J. Chem. Soc. London 57, 458—528.

Colin, H. et Belval, H., 1922. La genèse des hydrates de carbone dans le blé. Présence de lévulosanes dans la tige. Comptes rendus Acad. Sc. Paris 175, 1441—1443.

— et Belval, H., 1923. Les hydrocarbones solubles du grain de blé au cours du développement. Comptes rendus Acad. Sc. Paris 177, 343—346.

— et Belval, H., 1923. Les lévulosanes dans les céréales. Comptes rendus Acad. Sc. Paris 177, 973—975.

— et de Cugnac, A. Les lévulosanes des graminées : Graminine et triticine. Bull. Soc. Chim. Biol. 8, 1926, 621—630.

Czapek, F., 1922/1925. Biochemie der Pflanzen. 3. Auflage.

Dehérain, P.-P., et Dupont, C., 1902. Sur l'origine de l'amidon du grain de blé. Ann. Sci. Agron. 28, 522—527. (Gleiche Arbeit in Comptes rendus Acad. Sci. Paris 133, 774—778, 1901.)

Dietrich, Th. und König, J., 1891. Zusammensetzung und Verdaulichkeit der Futtermittel. Berlin 1891.

Doneen, L. D., 1934. Nitrogen in relation to composition, growth and yield of wheat. Bull. 296, Agr. Exp. Sta., Pullmann, Wash.

Engel, H., 1929. Beiträge zur Kenntnis des Stickstoffumsatzes grüner Pflanzen. Planta 7, 133—164.

Fellenberg, Th. v., 1928. Stärkebestimmung im Kindermehl. Zeitschr. Unt. Lebensmittel 55, 473—475.

— 1937. Zur direkten Stärkebestimmung. Mitt. aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene 28, 111—115.

Forgwer, E., 1906. Ueber die beim Reifungsprozesse der Roggen- und Weizenkörner vorkommenden quantitativen und qualitativen Veränderungen. Diss. Jena 1906.

Frankfurt, S., 1896. Zur Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des ruhenden Keims von *Triticum vulgare*. Landw. Versuchsstat. 47, 449—470.

Frey-Wyssling, A., 1938. Ueber die Herkunft der sekundären Pflanzenstoffe. Naturwiss. 38, 624—628.

Gassner, G., 1925. Der Einfluss des Klimas auf die Erntebeschaffenheit des Getreides. Mitt. D. L. G. 40, 950—955.

— und Franke, W., 1938. Untersuchungen über den Stickstoffhaushalt rostinfizierter Getreideblätter. Phytopathol. Zeitschr. 11, 517—570.

Gäumann, E., 1932. Der Einfluss der Keimungstemperatur auf die chemische Zusammensetzung der Getreidekeimlinge I. Zeitschr. f. Bot. 25, 385—461.

Gericke, W. E., 1922. Certain relations between the protein content of wheat and the length of the growing period of the head-bearing stalks. Soil Science 13, 135—138.

Gisiger, L., 1939. Die titrimetrische Bestimmung der Phosphorsäure auf der Grundlage der Methode von N. v. Lorenz unter Anwendung der Tauchfiltration. Zeitschr. analyt. Chemie 115, 15—29.

Gortner, R. A. and Holme, G. F., 1933. Origin of humin formed by the acid hydrolysis of proteins V. J. Am. Chem. Soc. 42, 821—827.

Grassmann, W., 1932. Proteolytische Enzyme des Tier- und Pflanzenreiches. Ergebn. der Enzymforschung 1, 129—167.

— und Schneider, F., 1936. Proteasen. Ergebn. der Enzymforschung 5, 79—116.

Günther, G., 1927. Beiträge zur Kenntnis der Entwicklung des Getreideendosperms. Bot. Arch. 18, 299—319.

Handtke, R., 1870. Chem. Ackerm. 16, 163, zitiert nach Dietrich und König (1891).

Hannon, 1863. Farmer's Mag. 24, 254 zit. nach Koernicke und Werner (1885), Bd. II, S. 508.

Harlan, H. V. and Pope M. N., 1923. Water content of barley kernels during growth and maturation. J. Agr. Res. 23, 333—360.

Headden, W. P., 1916. A study of Colorado wheat, Part III. Col. Agr. Exp. Sta. Bul. 219, zitiert nach Shollenberger und Kyle (1927).

Heinrich, R., 1867. Stockhardt, Chem. Ackersm. S. 116, zit. nach Koernicke und Werner (1885).

— 1871. Ann. Landw. 57, 31—49, zit. nach Koernicke und Werner (1885) und Wolff (1881).

Hopkins, J. W., 1935. Influence of weather conditions on the nitrogen content of wheat. Can. J. Research 12, 228—237 und 13 Sect. C, 127—133.

Janson, Chr., 1907. Untersuchungen über die Einlagerung der Reservestoffe in die Hafer- und Gerstenkörner beim Reifungsprozess. Diss. Jena.

Jensen, J. L., 1899. Sammenhaengen mellen Klima og Kornarternes Kaernestørrelse. Tidskr. Landbr. Planteavl. 5, 138—147.

Jodidi, S. L., 1925. Nitrogen metabolism in etiolated corn seedlings. J. Agr. Res. 31, 1149—1164.

Kedzie, 1893. Mich. Exp. Sta. Bul. 101, zitiert nach Thatcher (1913) und Arny und Sun (1917).

Keyssner, E. und Tauböck, K., 1933. Die Stickstoffbilanz. Bestimmung der Stickstoff-Fraktionen in der Pflanze. In G. Klein, Handb. Pflanzenanalyse, Bd. 4 II, 1345—1402.

Kiesel, A. und Kastrubin, M., 1934. Ueber Variationen in der Zusammensetzung der Eiweisskörper reifender Weizenkörner. Zeitschr. physiol. Chemie 230, 216—224 (1934).

Kiesselbach, T. A., 1925. Winter wheat investigations. Univ. of Nebraska, Agr. Exp. Sta. Res. Bul. 31.

Knowles, F. K. and Watkin, J. E., 1931. The assimilation and translocation of plant nutrients in wheat during growth. J. Agr. Sci. 21, 612—637.

— and Watkin, J. E., 1932. The amount and distribution of some phosphorus and nitrogen compounds in wheat during growth. J. Agr. Sci. 22, 755—766.

Koernicke und Werner, 1885. Hdb. des Getreidebaues, II. Band.

Kostytschew, S., 1931. Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, II. Band.

Lawes and Gilbert, 1884. On the composition of the ash of wheat-grain, and wheat-straw, grown at Rothamsted, in different seasons and by different manures. J. Chem. Soc. London 45, 305—407.

Leclerc, J. A., and Yoder, P. A. 1914. Environmental influences on the physical and chemical characteristics of wheat. J. Agr. Res. 1, 275—291.

Lehmann, E. und Aichele, F., 1931. Keimungsphysiologie der Gräser. Stuttgart, XXIII + 677 Seiten.

Liebscher, G., 1887. Der Verlauf der Nährstoffaufnahme und seine Bedeutung für die Düngerlehre. Journ. Landw. 35, 1887, 335—518.

Lischkewitsch, M. J. und Prizemina, S. P., 1929. Ueber den Fermentgehalt von Samen verschiedenen Ursprungs. Biochem. Zeitschr. 212, 280.

Lucanus, B., 1862. Ueber das Reifen und Nachreifen des Getreides. Landw. Versuchsstat. 4, 147—166.

Lüers, H., 1920. Studien über die Reifung der Zerealien. Biochem. Zeitschr. 104, 30—81.

Mangels, C. E., 1925. Protein content of North Dakota wheat. Bul. 191, Agr. Exp. Sta. North Dakota Agr. Coll.

McCalla, A. G., 1933. The effect of nitrogen nutrition on the protein and non-protein nitrogen of wheat. Can. J. Research 9, 542—570.

— 1938. Fractionation of nitrogen in developing wheat kernels. Can. J. Research 16. Sect. C, 263—273.

McCalla, A. G., and Newton, R., 1935. Effect of frost on wheat at progressive stages of maturity. II. Composition and biological properties of grain and flour. Can. J. Res. 13, Sect. C, 1—31.

McGinnis, F. W. and Taylor, G. S., 1923. The effect of respiration upon the protein percentage of wheat, oats and barley. J. Agr. Res. 24, 1041—1048.

McKee, H. S., 1937. A review of recent work on the nitrogen metabolism of plants. New Phytolog. 36, 33—56, 240—266.

Mothes, K., 1926. Ein Beitrag zur Kenntnis des N-Stoffwechsels höherer Pflanzen. Planta 1, 472—552.

— 1929. Physiologische Untersuchungen über das Asparagin und Arginin in Koniferen. Ein Beitrag zur Theorie der Ammoniakentgiftung im pflanzlichen Organismus. Planta 7, 585—649.

— 1931. Zur Kenntnis des N-Stoffwechsels höherer Pflanzen. 3. Beitrag. Planta 12, 686—731.

— 1936. Stoffwechsel organischer Verbindungen. Fortschritte der Botanik 5, 202—234.

Mounfield, S. P., 1936—1938. The proteolytic enzymes of sprouted wheat. I—III. Biochem. J. 30 (1936), 549—557; 30 (1936), 1778—1786; 32 (1938), 1675—1684.

Muntz, A., 1878. Sur la maturation de la graine du seigle. Comptes rendus Acad. Sc. Paris 177, 973—975.

— 1886. Recherches chimiques sur la maturation des graines. Ann. Sciences nat., Bot., Sér. VII., 3, 45—74.

Nedokutschajew, N., 1902. Ueber Umwandlungen, welche stickstoffhaltige Stoffe beim Reifen einiger Getreidearten erleiden. Landw. Versuchsstat. 56, 303—310.

— 1903. Zur Frage der Bestimmung der Eiweißstoffe und einiger anderer Stickstoffverbindungen in den Pflanzen. Landw. Versuchsstat. 58, 275—280.

Nowacki, A., 1870. Untersuchungen über das Reifen des Getreides nebst Bemerkungen über den zweckmässigsten Zeitpunkt der Ernte. Halle 1870.

— 1886. Anleitung zum Getreidebau auf wissenschaftlicher und praktischer Grundlage. Berlin 1886.

— 1905. Ueber die Gelbreife des Getreides. Deutsche Landw. Presse 32, 491—492.

Olson, G. A., 1923. A study of factors affecting the nitrogen content of wheat and the changes that occur during the development of wheat. J. Agr. Res. 24, 939—953.

Orcutt, F. S. and Wilson, P. W., 1936. Biochemical methods for the study of nitrogen metabolism in plants. Plant Physiology 11, 713—730.

Percival, J., 1921. The wheat plant. London 1921. X + 463 S.

Pierre, J., 1866. Recherches expérimentales sur le développement du blé. Zit. nach Dehérain und Dupont (1902).

Prjanischnikow, P. N., 1930. Spezieller Pflanzenbau. Berlin 1930.

Rahn, H., 1932. Untersuchungen über den N-Stoffwechsel pflanzlicher vegetativer Speicherorgane. Planta 18, 1—51.

Ritthausen, 1857. Sitzung der Schlesischen Gesellschaft für vaterländische Kultur in Breslau, Jahresbericht 1857. Zit. nach Koernicke und Werner (1885), II. Band, S. 486.

Rousseaux, E. et Sirot, 1920. Les matières azotées et l'acide phosphorique dans la maturation et germination du blé. Comptes rendus Acad. Sc. Paris 171, 578—580.

Russell, E. J., and Bishop, L. R., 1933. Investigations on barley. J. Inst. Brewing 39, 287—421.

Sande-Bakhuyzen, van de, H. L., 1937. Studies on wheat grown under constant conditions. Food Research Institute, Stanford University, California, XVI + 393 Seiten.

Sandstedt, R. M., and Blish, M. J., 1933. A new characterization of the gluten proteins. Cereal Chem. 10, 359—366.

Schindler, F., 1893. Der Weizen in seinen Beziehungen zum Klima und das Gesetz der Korrelation. Berlin 1893.

Schjerning, H., 1906. On the proteine substances of barley, in the grain itself and during the brewing processes. First Section. On the formation and transformation of proteine substances during the growth, ripening and storage of barley. Comptes rendus Lab. Carlsberg 6, 229—307.

— 1914. On the proteid substances of barley, in the grain itself and during the brewing processes. Comptes rendus Lab. Carlsberg 11, 45—105.

Schnelle, Fr., 1929. Studien über die Backqualität von Weizensorten. Wiss. Archiv Landw. Abt. A (Pflanzenbau) 1, 471—555.

Schulze, E. und Frankfurt, S., 1894. Das Vorkommen von Raffinose im Keime des Weizenkornes. Ber. dtsch. bot. Ges. 27, 64—65.

Schwab, G., 1936. Studien über Verbreitung und Bildung der Säureamide in der höheren Pflanze. Planta 25, 579—606.

Sharp, P. F., 1925. Wheat and flour studies. III. The amino nitrogen content of the immature wheat kernel and the effect of freezing. Cer. Chem. 2, 12—38.

Shollenberger, J. H. and Kyle, C. F., 1927. Correlation of kernel texture, test weight per bushel and protein content of hard red spring wheat. J. Agr. Res. 35, 1137—1151.

Shutt, F. T., 1922. The development of the wheat kernel. Interim Report of the Dominion Chemist. Ottawa 77—78.

Siegert, Th., 1864. Ueber die vorteilhafteste Erntezeit und das Nachreifen der Getreidekörner. Landw. Versuchsstat. 6, 134—140.

Sounders, Ch. E., 1921. The effect of premature harvesting on the wheat kernel. Sci. Agr. 1, 74—77, zitiert nach Sounders (1928).

— 1928. The development of the wheat kernel. Sci. Agr. 8, 524—531.

Stuart, N. W., 1935. Plant Physiolog. 10, 135.

Tanret, M.-C., 1891. Sur la lévosine, nouveau principe immédiat de quelques céréales. Bull. Soc. chim. 3me série, 5, 724—731.

Teller, G. L., 1898. A report of progress of investigations in the chemistry of wheat. Ark. Exp. Sta. Bull. 53, zitiert nach Thatcher (1913).

— 1935. Changes in nitrogen compounds in the wheat grain at different stages of development. Plant Physiology 10, 499—509.

Thatcher, R. W., 1913. The progressive development of the wheat kernel. J. Am. Soc. Agron. 5, 203—213.

— 1915. The progressive development of the wheat kernel II. J. Am. Soc. Agron. 7, 273—282.

— and Watkins, H. R., 1907. The effect of shade during ripening on the proximate constituants of the wheat kernel. J. Am. Chem. Soc. 29 (1), 764—767.

Toulaikoff, N. M. and Pisarewski, N. V., 1927. Storage of mineral matters, total and protein nitrogen and starch during the ripening of different wheats. J. Agr. Res. South East Saratov 3, 17, zit. nach Sande-Bakhuyzen (1937).

Volkart, A. und Kirchner, O., 1908. Gramineae. In Kirchner, Schröter und Löw, Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Mitteleuropas. Bd. I, 2. Abt.

Wagner, H., 1933. Ueber Wachstumsvorgänge des Hafers bei Wassermangel und des Winterweizens bei Frühjahrseinsaat. Zeitschr. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde. A, 30, 208.

Wiegner, G., Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen Praktikum. 2. Aufl. von H. Pallmann, Berlin 1938.

Wiley, 1902. Influence of environment on the chemical composition of plants. U. S. Dept. Agr. Yearbook 1901, 299—318.

Willstätter, R. und Waldschmidt-Leitz, E., 1921. Alkalimetrische Bestimmung von Aminosäuren und Peptiden. Ber. dtsch. Chem. Ges. 54, 2988—2993.

Wolff, E., 1880. Aschenanalysen von land- und forstwirtschaftlichen Produkten, Fabrikabfällen und wildwachsenden Pflanzen. II. Teil.

Woodman, H. E. and Engledow, F. L., 1924. A chemical study of the development of the wheat grain. J. Agr. Sci. 14, 563—586.