

70 RUBNER UND LANGSTEIN: ENERGIE- UND STOFFWECHSEL USW.

geburt II sehr viel und meistens dünne Stühle. Die durch Haut und Lunge ausgeschiedenen Wassermengen sind bei beiden Kindern gleich; pro Kilogramm und Tag haben sie (durch Haut und Lunge) im Mittel beider Perioden 55 bzw. 60 g ausgeschieden. Das sind recht hohe Mengen, die vom kalorischen Gesichtspunkte aus betrachtet einen beträchtlichen Wärmeverlust durch Verdunstung ergeben.

	Wärmebildung in Kal.	Wasser durch Verdunstung in g	Kal. in verdunstetem Wasser	Wärme durch Verdunstung in Proz.
Kind I:				
I. Periode	188.7	182	109	57.7
II. Periode	188.5	117	70.2	37.2
Mittel aus I und II				47
Kind II:				
I. Periode	176	163	98	55.7
II. Periode	169	100	60	35.6
Mittel aus I und II				45.6

47 bzw. 45.6 Proz. der Wärmeabgabe fallen also auf die Wasserverdampfung. Die Kinder lagen sehr ruhig, das Moment einer starken Lungenventilation kann also für die hohe Wasserdampfausscheidung nicht in Betracht kommen. Man muß aber berücksichtigen, daß die den Kindern mit der Nahrung zugeführte Wassermenge sehr groß war (176 bzw. 160 g pro Tag und Kilogramm Körpergewicht).

Fassen wir kurz die Ergebnisse zusammen, die wir aus den Gesamtstoffwechselfersuchen an zwei frühgeborenen Säuglingen gewonnen haben: Die beiden Frühgeborenen haben bei einer im allgemeinen ungünstigen kalorischen Ausnutzung der Nahrung insbesondere bei schlechter Fettausnutzung das ihnen mit der Nahrung gereichte Eiweiß sehr gut zum Aufbau ihrer Zellen verwertet. Vom energetischen Standpunkte ist die Tatsache bedeutungsvoll, daß fast der gesamte Nahrungsüberschuß zum Anwuchs verbraucht wurde. Die Wärmebildung war nicht gesteigert.

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

ARCHIV

FÜR

FOLGERSZUNG DES VON REIL, REIL U. AUTTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER,
REICHERT U. DU BOIS-REYMOND HERAUSGEGEBENEN ARCHIVES.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. WILHELM WALDEYER,

PROFESSOR DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN

UND

DR. MAX RUBNER,

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1915.

PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG.

ZWEITES UND DRITTES HEFT.

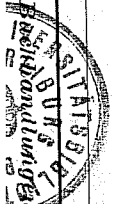
MIT ZWEI TAFELN.

LEIPZIG,

VERLAG VON VEIT & COMP.

1916

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen des In- und Auslandes.



Über Pentosen und Zellhüllen des Brotgetreides.

Von

Max Rubner.

In dem Birkenholzschnitt hatte ich zur Untersuchung ein Material verholzter Zellen, das frei von sonstigen nährenden Bestandteilen war, erhalten; es kann als ein Beispiel für die Beschaffenheit einfacher, inhaltsleerer Zellmembranen gelten. Zellmassen ähnlicher Art, nur meist reichlich gefüllt mit Inhalt, finden sich auch sonst in pflanzlichen Nahrungsmitteln, sei es, daß es sich um oberflächliche Zellschichten oder um solche der inneren Gewebsgliederung oder um Gefäße handelt. Man hat daher mit ihnen als Begleitstoffen der üblichen menschlichen Kost zu rechnen. Nach den Untersuchungen der Histologen sind diese Zellhülle morphologisch sehr verschieden gebaut, umschließen nicht immer gleichmäßig impermeabel den Zellinhalt, zeigen sich von veränderlicher Zusammensetzung, vor allem auch je nach dem Alter der Zellen.

Neben diesen, auch für die Ernährung wahrscheinlich bedeutungsvollen Eigenschaften, ist das Verhältnis zwischen Zellmembranen und den von ihnen eingeschlossenen höher zu bewertenden Nährstoffen wie Eiweiß, Fett, leicht verdaulichen Kohlehydraten ein verschiedenes, das ergaben die Analysen der Rohfaser, auch wenn man die letztere als völlig einwandfreien Maßstab für die Menge der Zellmembranen nicht ansehen darf. In manchen Fällen läßt sich ein großer Teil der Zellmembranen besichtigen, nämlich dort, wo sie als äußere Hüllen und Schalen aufzutreten pflegen. Es schien mir gerade mit Rücksicht auf die menschliche Ernährung wünschenswert, den Versuch zu machen, die Zellmembranen für einige wichtige Nahrungsmittel nach ihrer Menge und sonstigen Eigenschaften festzustellen. Über die Menge der Zellmembran kann die bisher geübte Methode der Untersuchung des Rohfasergehaltes keinen Entscheid bringen, da, abgesehen von der schwankenden Zusammensetzung des

letzteren, kaum ein konstantes Verhältnis zwischen der Masse der Zellmembran und der Zellhülle, welche den größten Teil der „Rohfaser“ ausmacht, bestehen dürfte. Mit der Erkenntnis der in den Zellmembranen zusammengefaßten Stoffe verminderten sich die in dem Sammelwort — N-freie Extrakte zusammengefaßten Substanzen, sie werden genauer präzisiert.

Von den Nahrungsmitteln, deren genauere Kenntnis besonders wünschenswert erscheint, steht das Brot an erster Stelle. Über die Bedeutung des Brotes vom Standpunkte der Volksernährung habe ich in der deutschen medizinischen Wochenschrift 1915, Nr. 18 bis 20 eine eingehende Darstellung gegeben, die sich auf die bisherigen Untersuchungen gründet und auch die physiologischen Grundlagen der Ausnützung behandelt. Die Verschiedenheit in der Ausnützung ist eine sehr weitgehende.

Die wesentlichen ausschlaggebenden Momente liegen außer in der Natur der Brotnacht, in der Mahlweise, dem Kieiereichtum und der Backweise. Über einen wichtigen Punkt wissen wir leider sehr wenig, nämlich über den tatsächlichen Gehalt an Zellmembranen und deren Beschaffenheit. Bei meinen ersten Untersuchungen über die Verdaulichkeit von Mehl verschiedenen Ausnahmsgrades, die über 30 Jahre zurückliegen, habe ich allerdings versucht, im Mehl wie in den Ausscheidungen die Kleieteilchen von den übrigen Bestandteilen zu trennen, um auf diese Weise wenigstens den Einfluß grob zerkleinerter Zellhüllen auf die Kotbildung kennen zu lernen.

Man muß aber damit rechnen, daß neben den größeren Teilchen auch noch feinere, die durch Sieben nicht zu beseitigen sind, vorkommen und wahrscheinlich heute unter der so mißbräuchlichen Bezeichnung „der Streckung“ des Getreides eine nicht gerade erwünschte Änderung der Mehle herbeiführen.

Die Hauptunterschiede in der Güte der Mehle vom Handelsstandpunkt und auch in diätetischer Hinsicht sind bedingt durch die ungleiche Ausmahlung und den Kleiegehalt. Ich gehe daher zunächst auf die Beschaffenheit der Kleie und ihre Rückwirkungen auf die Zusammensetzung der Zerealien näher ein.

Die Kleie.

Merkwürdigerweise sind die Schalen des Getreides, um deren Bedeutung so oft gestritten wurde, nie eingehender bis jetzt untersucht worden, obschon eine solche Untersuchung von Interesse sein kann. Die morphologischen Verhältnisse im speziellen sind bekannt, das wesentliche Angemerk war auf die Kleberzellen gerichtet. Die chemische Natur des Inhaltes steht noch nicht völlig fest, wenn auch das Vorkommen von

Körpern, die den Nukleinstoffen zugehören, außer Zweifel steht. Die Schalen sind zum Teil als Schutzhüllen aufzufassen, die Verholzung der Zellen ist weit vorgeschritten. Da aber die einzelnen Holzarten in dem Aufbau sehr verschiedenen sind, so war es wünschenswert, diese Hilfssubstanzen so weit wie möglich von den anhaltenden anderen Substanzen zu befreien, um einen Vergleich der Schalensubstanz mit dem Birkenholz zunächst zu ermöglichen. Dies war um so erwünschter, als die Resorptionsverhältnisse der Zelllose der Kleie zweifellos recht ungünstig sind. Daher wird man sich fragen müssen, ob schon in der Zusammensetzung oder auch vielleicht nur in der morphologischen Struktur die Gründe für das Verhalten bei der Resorption begründet sind.

Kleiegehalt ist ein kurzer Ausdruck für das, was eigentlich den Kern des Objektes ausmacht für die Hüllen des Samenkorns, denn um diese handelt es sich in erster Linie oder auch ausschließlic. In dem einen Fall wird bei der Vermahlung viel, in dem anderen wenig oder selbst gar keine Kleie abgeschieden; daher gibt das Wort „Kleiegehalt“ immerhin ein Bild von dem Produkte, das die Mühle als Mehl liefert.

Die Kleie ist als Handelsartikel wichtig zur Viehfütterung, aber in ihrer Zusammensetzung wie naturgemäß nach dem Ausmahlungsgrad wechselnd im Futterwert. Wenn man von einer Ausmahlung des Weizens von 70 Prozent spricht oder jener des Roggens mit 65 Prozent, so sind das etwa Durchschnittszahlen.

Zur Untersuchung habe ich in folgendem Handelskleie benutzen müssen, wie sie eben in der Kriegszeit erhältlich war, ohne über den Grad der Ausmahlung etwas Näheres angeben zu können, was für die allgemeine Besprechung auch ohne weitere Bedeutung ist. Ich schicke zunächst die Analyse der Kleie voraus. Nach dem üblichen Untersuchungsverfahren beurteilt hatte sie folgende Zusammensetzung:

100 Teile enthielten:	
2.7 Prozent N,	
11.87 „	Rohprotein,
2.11 „	Ätherextrakt (abzügl. Harze usw.),
7.26 „	Asche,
78.76 „	Rohfaser und N-freie Extrakte.

Die durchschnittliche Annahme für Futterkleie ist (pro 100 Trockensubstanz):

16.29 Prozent	Rohprotein,
4.78 „	Rohfett,
71.07 „	N-freier Extrakt und Rohfaser (davon 11.61 Rohfaser),
7.86 „	Asche.

Die mir vorliegende Kleie war also vor allem etwas N-ärmer. Die Bestimmung der Rohfaser wurde nach Hoffmeister ausgeführt, und ergab 12.1 Prozent, worüber noch einiges zu sagen sein wird.

Im Zusammenhang mit den früher gemachten Beobachtungen interessiert uns hier wieder zunächst der Pentosegehalt. Nach meinen Bestimmungen war die verwendete Handelskleie ziemlich reich an Pentose, denn sie enthielt 21.2 Prozent der Trockensubstanz.

Die Pentosen würden also, rein chemisch betrachtet, ein erheblicher Teil der Nährstoffe der Kleie sein; nach den Versuchen mit Birkenholz wird auch tatsächlich ein großer Teil verlustlos im Körper verwertet. Von den Pentosen verbleibt ein nicht unerheblicher Teil in der Rohzelllose, 11.02 Prozent von letzteren waren Pentosen, wozu noch 11.66 Prozent Asche kamen. Da freie Pentosen in den Zellulosen nicht vorhanden sein können, so rechnet man in Pentosanwerte um, wobei man mit 0.883 zu multiplizieren hat, 11.03 Pentosen sind dann 9.14 Pentosane.

Mithin kommen von	12.1 Prozent Rohfaser
in Abzug Pentosane 1.14	
und Asche 1.28	Summe 2.4
	<u> </u>
	= 9.7 Prozent Zellulose

Der Wert für Zellulose kann als zutreffender gelten wie die Rohfaserbestimmungen üblicher Ausführung.

Von der Kleie interessieren im wesentlichen die eigentlichen Zellhüllen, denn das beigemengte Mehl haben wir im Hinblick auf das Strömm der Zellwandungen als eine unwillkommene Verunreinigung zu betrachten.

Die Reinigung der Kleie wurde ebenso vorgenommen, wie jene des Birkenholzes durch Anwendung der Diastase, die natürlich hier zunächst die Stärke zu entfernen erlaubt, dann durch Anwendung von Chloralhydrat. Es empfiehlt sich wenig Substanz und reichlich Wasser zur Diastasebehandlung zu verwenden. Die Prüfung auf vollkommene Umwandlung der Stärke ist erwünscht, doch stören kleine Reste derselben nicht, da sie ja in warmen Chloralhydrat löslich und filtrierbar ist. Die Hülsen erhält man dann schon dem äußeren Anschein nach so weit rein, daß sie im allgemeinen den zu stellenden Anforderungen entsprechen. Bei der Anwendung von Diastase und Auswaschen mit heißem Wasser, Alkohol und Äther, blieben von 100 Trockensubstanz 42.16 Prozent als Zellhüllen zurück. Durch Chloralhydrat wurde weiter von dem Zellinhalt weggenommen, so daß 34.97 Prozent der trockenen Kleie hinterblieben. In den Hülsen hat man die wesentliche Pentosanquelle der Kleie vor-

sich. Sie enthielten auf Trockensubstanz gerechnet 41.43 Prozent Pentosen = 36.58 Prozent Pentosane.

Dies gibt zu folgender Betrachtung Anlaß:

Die Kleie enthielt in 100 Teilen:

9.7 Prozent pentosan- und aschefreie Zellulose und
34.97 „ Hülsen (aschefrei)

diese Hülsen bei 36.58 Prozent Pentosane 12.79 g Pentosane. Somit sind in den Hülsen nachgewiesen 9.7 Zellulose und 12.79 Pentosane, also 22.0 Teile näher bekannter Substanzen; der Rest¹

$$\begin{array}{r} 34.97 \\ -22.40 \\ \hline =12.57 \end{array}$$

mag auf Lignine und Hexosane usw. gewisse Mengen von Eiweiß und auf die Asche treffen. Die Pentosane sind also dem gegebenen Falle der Zellulose gegenüber in der Oberhand. Auf 9.7 Teile Pentosane und aschefreie Zellulose treffen 34.97 g Hülsen, auf 1 Teil Zellulose obiger Zusammensetzung 3.605 Teile Hülsen.

Berechnet man die Zusammensetzung dieser Kleieschalen, d. h. der noch eiweißhaltigen Zellmembran, so enthielt diese in 100 Teilen organischer Substanz

27.71 Prozent Reinzellulose,
36.58 „ Pentosane,
35.71 „ Rest.

Die Menge der Pentosen ist demnach außerordentlich groß. Die Birkenholzmasse bestand, wenn man Asche, Eiweiß, Fett in Abzug bringt, in 100 Teilen organischer Substanz aus:

41.31 Reinzellulose,
36.33 Pentosanen,
22.36 Prozent Rest.

Bei den Kleiezellen ist also ein sehr großes Übergewicht auf Seiten der Pentosen und des Restes, während das Birkenholz relativ viel Zellulose enthält. Die beiden Zellmassen sind also sehr verschieden zusammengesetzt; die Kleie scheint mehr den Charakter der Verholzung an sich zu tragen, als die eigentliche Holzmasse.

Die in den Zellhüllen enthaltene Pentose deckt den Gesamtpentosegehalt der Kleie nicht. Dieser war:

34.97 Zellhüllen mit 41.45 Prozent Pentosen $\frac{21.2}{14.49}$ g
66.03 Teile, die nicht Zellhüllen sind, enthalten $\frac{=6.71}{=14.49}$

Demnach in 100 Teilen dieses Restes rund 10.2 Prozent Pentosen.

¹ S. später S. 169.

Da es nicht wahrscheinlich erscheint, daß bei der Darstellung der Zellhüllen Pentosane abgelöst werden, da wenigstens bei Birkenholz weder bei der Behandlung mit Diastase, noch mit Chloralhydrat der Pentosegehalt bemerkenswert sich geändert hat, so mußte man schließen, daß auch in dem stärkehaltigen Anteil und eventuell in jenen aus Kleiezellen gelösten Stoffen, die manche für Nukleinstoffe halten, Pentosen enthalten sind.

Um dies zu prüfen, habe ich Roggenmehl mit Chloralhydrat in der Kälte verkleistert und durch Zentrifugieren die Zellhüllen soweit gesenkt, daß ein Abgießen des Kleisters möglich war. Er wurde durch Glaswolle filtriert und die Stärke mit absolutem Alkohol gefällt und getrocknet. Sie enthielt:

8.17 Prozent Pentosen.

Der Pentosegehalt der nicht als Zellhülle zu betrachtenden Teile mag ein schwankender sein, aber es mag der für Roggenmehlstärke gefundene Pentosegehalt immerhin als genügende Erklärung für den Umstand angesehen werden, daß nicht alle Pentose nur in den Zellhüllen steckt.

Eine solche Scheidung ist von prinzipieller Bedeutung, denn es ist anzunehmen, daß eben nur die in den verholzten Zellen befindlichen Pentosane gewisse Schwierigkeiten der Resorption finden, also kurz gesagt schwer verdanlich sind, während für die Pentosen beim Fehlen einer festeren Verbindung mit anderen Substanzen die Resorptionsmöglichkeit günstig sein muß; es wird darauf später zurückzukommen sein.

Vorerst mögen noch einige wichtige Eigenschaften der Zellmembran und Zellulose der Kleie erwähnt sein.

Ieh habe beim Birkenholz gezeigt, daß dieses einen sehr großen Teil seiner Pentosen bei der Behandlung mit 5 Prozent Kalllänge abgibt (62.54 Prozent), die Gewichtsmenge der gelösten Substanzen ist aber nicht so beträchtlich (28.5 Prozent), die gelöste Substanz besteht daher zum überwiegenden Teil aus Pentosen ($\frac{7}{10}$).

Da die Kleie noch reicher an Pentosanen ist wie Birkenholz, so habe ich auch bei ersterer geprüft, wie sie sich zu 5 Prozent Kali (in der Kälte und in 24 Stunden) verhält. Aus der Analyse ergibt sich, daß die Löslichkeit der reinen Kleie im allgemeinen viel größer ist, als jene des Birkenholzes, da 43.55 Prozent der Trockensubstanz in Lösung gingen. Dagegen zeigte sich in der Löslichkeit der Pentosane die Kleie hinter dem Birkenholz zurückstehend, da nur 52.9 Prozent derselben gelöst wurden.

Der in Kali lösliche Anteil der Kleihüllen enthält nur etwas mehr als die Hälfte des Gewichtes an Pentosen (52.93 Prozent), während wie oben erwähnt, beim Birkenholz ^{7/10} des Auszuges aus Pentosen bestehen.

Da die Zellulose in 5 Prozent Kalilösung in der Kälte nicht angegriffen wird, darf man annehmen, es sei bei der geringeren Zerlegung von Pentosen wohl der als „Rest“ bezeichnete Anteil und noch vorhandenes Eiweiß von Kali angegriffen worden. Es genügt kurz darauf hinzuweisen, daß ich mich von der Reinheit der Zellhüllen an Stärke auch mikroskopisch jedesmal überzeugt hatte.

Oben S. 79 habe ich über den Abbau des Birkenholzes durch die nachfolgende Behandlung mit 5 Prozent Kalilauge, durch Herstellung der Zellulose und Behandlung dieser mit 5 Prozent Kalilauge zahlenmäßige Angaben gemacht.

Bei der Bedeutung, die W. Hoffmeister dem Kali löslichen Anteil der Zellulose beimißt, habe ich bei der Kleie entsprechende vergleichende Untersuchungen ausgeführt. Kleiezellulose wurde mit 5 Prozent Kalilauge in der Kälte behandelt. Sie zeigte sich viel löslicher als die Birkenholzzellulose. Es waren unlöslich 63.6 Prozent und löslich 36.4 Prozent; der unlösliche Anteil enthielt 7.89 Prozent Asche. Im unlöslichen Anteil waren 5.66 Prozent Gesamtpentosen enthalten. Die Veränderungen im Pentosengehalt der Zellhüllen der Kleie sind unter Beifügung der für Birkenholz früher erhaltenen Resultate in absoluter Zahl folgende:

	Birkenholz
Zellhüllen der Kleie enthalten in 100 Teilen an Pentosen	41.43 g 32.7 g
der in Kali unlösliche Teil davon (56.45 Teile mit 34.6 Prozent Pentose)	19.53 12.3
in 84.57 Teilen Zellulose ¹ sind bei 12.12 Prozent Pentosen	4.18 4.8
in 21.98 g in Kali unlöslicher Zellulose mit 5.66 Prozent Pentosen	1.24 1.04

Die Gewichtsmenge an Trockensubstanz, welche sich nach den vorstehenden Eingriffen ergeben, sind:

		für Birkenholz
Ausgangsmaterial Zellhüllen	100 g	100 g
in 5 Prozent Kali unlöslich	56.45	71.4
Rohzellulose	34.57	45.0
in Kali unlösliche Rohzellulose	21.98	41.1

¹ Berechnet aus dem Zellulosegehalt der Kleie und deren Zellhüllengehalt.

Die Pentosane werden in der Kleie ähnlich wie in Birkenholz in erster Linie durch die geschichteten Eingriffe betroffen und bis auf geringe Reste beseitigt; bei der Kleie ist der Unterschied im Verhältnis zum Birkenholz hauptsächlich in der erstmaligen Einwirkung der 5 procentigen Kalilauge und den Eingriffen bei der Darstellung der Zellulose begründet, die Zellulose selbst verliert bei den Hüllen der Kleie und bei Birkenholz fast die gleiche Pentosmenge beim Ausziehen mit Kali.

Sieht man von den Pentosen ab, so sind die Zellmembranen der Kleie jedem Eingriff gegenüber weniger widerstandsfähig gewesen wie Birkenholz. Die erste Kalieextraktion, die Zellose-darstellung und die Löslichkeit der Rohzellulose in Kali wirken auf Kleie stärker als auf Birkenholz. Aber nicht das Lösungsvermögen der Kleierohzellulose ist der Masse nach das Anschlaggebendste, sondern die Einwirkung der ersten Extraktion. Wollte man, wie es Hoffmeister will, dieser Kalilöslichkeit einen besonderen Wert für die Beurteilung des Löslichkeitsvermögens im Darmkanal zuschreiben, so wäre es jedenfalls richtiger, nicht von den Eigenschaften der Zellulose, sondern von jenen der Zellmembranen selbst auszugehen.

Die in Lösung gehende Substanzgemische lassen sich für eine orientierende Beurteilung einigermaßen charakterisieren, wenn man die Menge der Stoffe von einem chemischen Eingriff zu dem anderen mit der Lösung der Pentose in Rechnung stellt. So wird aufgelöst:

- Bei der Einwirkung von 5 Prozent Kali auf die Muttersubstanz:
- bei den Kleihüllen 43.55 g mit 22.01 g Pentosen,
- bei Birkenholz 28.6 g Substanz mit 20.4 g Pentosen.
- Bei der Behandlung der Rohzellulose:
- bei den Kleihüllen 12.59 g Substanz mit 2.94 g Pentosen,
- bei Birkenholz 3.9 g Substanz mit 2.9 g Pentosen.

Der Prozentgehalt des gelösten Substanzgemisches ist:

- Bei der Einwirkung der Kalilösung auf die Muttersubstanz:
- bei den Kleihüllen 50.72 Prozent Pentose, bei Birkenholz 71.3.
- Bei der Behandlung der Rohzellulose:
- bei den Kleihüllen 23.3 Prozent, bei Birkenholz 74.3.

Beim Birkenholz werden also in beiden Fällen überwiegend Pentosen aufgelöst, bei den Kleihüllen sind es aber noch andere Stoffe, die in Lösung gehen und zwar bei Behandlung der Rohzellulose, mehr von diesen nicht näher zu bezeichnenden Stoffen, als beim Behandeln der Muttersubstanz.

Bei Birkenholz hatte ich nachgewiesen, daß durch die Behandlung mit 5 Prozent Kali bei Zimmertemperatur die Zellulose nicht angegriffen und aufgelöst wird, da diese Beobachtung auch für die Zellhüllen der Kleie gilt, dann bliebe nur der Schluß übrig, daß die Rohzellulose der Kleie außer den Pentosen noch andere Stoffe enthält, welche ähnlich wie die Pentosane durch Kalilösung abtrennbar sind.

Die Art der Zellmembranen drückt sich gewiß in der Verschiedenheit der bei der Analyse erhaltenen Rohzellulose aus, aber das vorliegende Material zeigt, daß die quantitativ wichtigen Vorgänge das Verhalten der Zellmembranen im ganzen betreffen. Daher muß es von großem Wert sein, bei der Betrachtung der Resorptionsverhältnisse im Darmkanal von letzteren ausgehen zu können.

Die analytische Betrachtung des Substanzgemisches, welche durch die Hoffmeister'sche Zellulosebestimmung zerstört wird, zeigt, daß bei Birkenholz rund 50, bei Kleiehüllen rund 53 Prozent Pentosen in dem zerstörten Stoffgemische sind.

Bei der Mikroskopie der Weizenschalen hat sich ergeben, daß die äußersten Lagen aus Zellen bestehen, die einen Gehalt an Nährstoff ganz vermessen lassen, weshalb man dachte, die Mahltechnik soweit zu ändern, daß die äußerste Zellschicht vor der Melbereitung entfernt wird (Dekortikation).

Die Zellhüllen bei der Dekortizierung des Getreides.

Bei der Dekortikation fällt die äußere Lage der Hülsen des Kornes ab, im ganzen rund 5 bis 6 Prozent.

Die Untersuchung dieses Materiales bot zwar untergeordnetes Interesse, immerhin können die Ergebnisse als Ergänzung zu dem vorstehenden über Kleiehüllen gelten. Dem Äußeren nach sieht das Material strobig aus, enthält aber noch ein paar Körner der Frucht und mancherlei Abfall, wie bekannt. Die Dekortifikationskleie stammte von Roggen, der nach einem modernen Verfahren bearbeitet worden war.

Der Gehalt an N betrug nur 1.52 Prozent = 9.5 Prozent Rohprotein bei 3.56 Prozent Asche. Nach der Bearbeitung des Materiales besteht es zum überwiegenden Teile aus den äußeren Zellmembranen, die Kleberschicht soll unversehrt beim Korn bleiben, weil die Dekortikation ein Vollkornmehl zum Ziele hat, das sozusagen alle Nährstoffe des Kornes erhalten will.

Der Pentosengehalt war ein sehr hoher = 37.17 Prozent der Trockensubstanz.

Die Verdauung mit Diastase und das Auswaschen mit heißem Wasser löst einen erheblichen, aber weit geringeren Teil der Masse auf, wie bei der Kleie. In Chloralhydrat löste sich nach der Wasser- und Diastasebehandlung kaum weiteres auf. Die Menge des Unlöslichen = Menge der Hülsen war 78.75 Prozent — der Rest gelöst = 21.25 Prozent; daraus sieht man auch die Armut an Stärkebestandteilen. Die Dekortikation arbeitete demnach in diesem Falle, was den Gewinn an reinem Korn anlangte, sehr gut. Nach Abzug der Asche verblieben 76.37 Prozent organische Substanz als Hülsen pro 100 Teile trockenen Ausgangsmateriales.

Die gereinigten Hülsen enthielten, wie jene aus der Kleie darzustellen, große Menge von Pentosen = 43.25 Prozent der Trockensubstanz

In der ursprünglichen Substanz waren:

37.17 Prozent Pentosen	37.17 g
78.75 Teile Hülsen mit 43.25 Prozent Pentosen geben	34.06 „
in 21.22 Teilen des durch Diastase und Chloralhydrat	
gelösten waren also Pentosen	3.11 „

was einen Gehalt des Restes von 14.6 Prozent entspreche. Dieser mag zum Teil auf Mehlbestandteile kommen, die ja hier auch nicht ganz fehlen, wie schon die zwischengestreuten Körner erkennen lassen.

Aus den Beobachtungen über die Kleie, wie den hier angeführten über die dekortizierten Hülsen, ergibt sich, daß der Pentosegehalt der Mehle wesentlich von den beigemengten Hülsen abhängig sein muß.

Kleie und Pentosengehalt der Mehle.

Durch die vorherigen Untersuchungen ist der Beweis erbracht, daß wir in der Kleie, d. h. den Zellhüllen, eine wesentliche Quelle des Pentosengehaltes des Getreides von Weizen und Roggen sehen müssen, demgegenüber die Stärke als pentosearm, die andere Komponente der variablen Mischungsverhältnisse in dem Mehle darstellt.

Für die Kotbildung und den Verlust an pentosenhaltigem Material kommt in erster Linie der Zellhüllengehalt in Betracht. Es ist aber näherliegend eine kurze Betrachtung darüber anzustellen, inwieweit die Zellhüllen am Pentosegehalt des Getreides teilnehmen.

Um dieser Frage näher zu treten, habe ich geschälten dekortizierten Weizen in einer Laboratoriumsmühle gemahlen und dieses Material für den nachstehenden Versuch verwendet.

Das Mehl enthielt bei 2.02 Prozent Asche der Trockensubstanz 2.36 Prozent N = 14.75 Prozent Rohprotein, war demnach sehr eiweiß-

reich. Der Pentosegehalt betrug 10-46 Prozent der Trockensubstanz, ist also beträchtlich (die Methylpentosen machten 10-03 Prozent der Gesamtpentosen aus).

Über den Pentosegehalt von Weizen finde ich nur eine Angabe bei Tollens (Zit. bei König, Bd. II, S. 763), welcher für eine bestimmte Weizensorte 10-44 Prozent gefunden hat, was auf Pentosen umgerechnet, etwas höher wäre, als der von mir gefundene Wert.

Die weitere Untersuchung des hergestellten Weizenmehles ergab folgendes: Der Gehalt an Rohzellulose betrug 4-65 Prozent der Trockensubstanz, diese Zellulose enthielt noch 5-02 Prozent Pentosen. Nach Abzug der letzteren und Berechnung auf aschefreie Substanz finde ich 4-26 Prozent Reinzellulose (asche- und pentosefrei). Schon aus dieser, nicht hohen Zellulosezahl folgt, daß die Hillen der Kleie nicht die alleinige Quelle des Pentosegehaltes des Mehles sein können, denn der Pentosegehalt übertrifft selten in den Hillensubstanzen die Reinzellulose erheblich an Gewicht.

Der Gehalt der in den Kleiehüllen enthaltenen Pentosen läßt sich zahlenmäßig in folgender Weise näher begrenzen:

Die Vollkornmehle sind nach meiner Beobachtung ausnahmslos nicht so fein gemahlen, daß man nicht ziemlich leicht, wenigstens einen großen Teil der Hillen schon mechanisch abtrennen könnte.

Aus solchen Vollmehlen kann man durch Absieben einen Teil der Kleie, freilich noch eiweißhaltig und etwas stärkeemehhaltig, gewinnen. Ich habe früher¹ einmal 23 Prozent dieser leicht absehbaren Kleie gefunden, woraus sich dann durch einfaches Waschen im Koliertrich an 7-69 Prozent Hillen der Trockensubstanz des Mehles feststellen ließen.

Für den vorliegenden Fall kann ich Genaueres angeben: Ich habe die Zellmembranen in der vorher angegebenen Weise, in Mehl wie bei der Kleie bestimmt. Im Mittel mehrerer Bestimmungen fand ich 11-42 Prozent Zellhüllen (organische Substanz) der Trockensubstanz. Letztere enthalten 42-02 Prozent Pentosen, woraus folgt, daß die Gesamtmenge der in den Zellhüllen enthaltenen Pentose 4-798 g ausmacht, d. h. 45-87 Prozent aller Pentosen, die in dem Vollkornmehl enthalten waren.

Die Kleiehüllen bedingen beim Brotkonsumenten den hohen Gehalt seiner Ausscheidungen an Pentosen, im Vollkornmehl selbst aber ist noch nicht die Hälfte aller Pentosen auf die Hillen zurückzuführen.

¹ Zeitschrift für Biologie. Bd. XVI. S. 63.

Aus dem Gesagten ergibt sich aber die Abhängigkeit des Pentosegehaltes der Mehle vom Ausmahlungsgrade des Getreides. Je mehr die Kleie, wie bei den feineren Mehlsorten, abgeschieden wird, um so weniger enthalten sie Pentosen.

Vergleicht man mit dem Vollkornmehl den Gehalt an Pentosen von feinem weißen Weizenmehl, so fand ich pro 100 g Trockensubstanz 4-68 Prozent Pentosen (wovon 1-4-5 Prozent Methylpentosen). Dies feinste Mehl enthielt also weniger als die Hälfte des Vollkornmehles an Pentosen. Sie enthalten aber viel mehr Pentosen als in der noch beigementen Kleie, die ja auch da nicht ganz fehlt, vorhanden sein kann.

Nach Untersuchungen, die ich mittelst der Weender-Methode über den Zellulosegehalt von feinem Weizenmehl mit 30 Prozent Ausmahlung und Vollkornmehl (also etwa 95 Prozent Ausmahlung) gemacht, aber bisher nicht publiziert habe, war das Verhältnis zwischen beiden wie 0-17 Prozent:1-51 Prozent, das feinste Mehl enthielt also nur 11-2 Prozent an Zellulose, die bei dem Vermahlungsprozeß zum Vollkornmehl als unvermeidliche Beimengung erscheinen. Der Pentosegehalt des reinsten Weizenmehles würde sich natürlich nicht aus den Kleiehüllen-Pentosen erklären können. Wenn das Vollkornmehl etwa 11 Prozent Zellhüllen enthält, so würde 11 Prozent davon nur 1-2 Prozent Hillen ergeben und in diesen könnte nicht mehr als 0-5 g Pentosen enthalten sein.

Die Erklärung ist einfach. Trennt man die Eiweißstoffe und die sogenannten N-freien Extrakte auch von der Kleie ab — das kann durch Ausziehen mit Chloralhydrat geschehen —, filtriert die kleisterartige Masse durch eine Mischung von Glaswolle und Asbest, mit der man einen Gooch-schen Tiegel halb füllt, und fällt das Filtrat mit Alkohol und Äther, so enthält auch dies Gemenge reichlich Pentosen. So habe ich aus dem Vollkornmehl ein Präparat erhalten, das noch 4-77 Prozent (auf aschefreie Substanz berechnet) aufwies. Aus einem dunkelbraunen Roggenmehl unbekannter Herstellung erhielt ich bei gleicher Behandlung sogar 8-17 Prozent Pentosen.

Wäscht man Mehl in kaltem Wasser aus und sammelt die Stärke durch Sedimentierung, so erhält man ein schön weißes Präparat, das keine qualitative Probe auf Pentosen gibt, also reine Stärke darstellt, zentrifugiert man aber die über der Stärke stehende trübe Flüssigkeit, so setzt sich nochmals Stärke ab, aber diese Menge ist klebriger und mehr gran gefärbt und gibt die Pentosereaktion.

Wir müssen uns dabei erinnern, daß die N-freien Extrakte zwar gewöhnlich als Stärke berechnet werden, aber doch Gemische verschiedener Substanzen sind.

Nach König (Bd. II, S. 763) nimmt man als mittlere Zusammensetzung der N-freien Extrakte bei Weizen pro 100 Trockensubstanz an, einen Gehalt von 3.75 Prozent Zucker, 2.93 Prozent Dextrin und Gummi, 73.07 Prozent Stärke.

Bei Weizen sind von dem Gemische der N-freien Extrakte 3.6 Prozent, bei Roggen 6.93 Prozent Dextrin und Gummi. Im einzelnen mögen die Weizen- und Roggensorten manche Verschiedenheiten aufweisen. Ich hatte keine Möglichkeit zurzeit auf die vorliegende Frage weiter einzugehen, der Pentosegehalt des kiefreien Mehles bedarf nach dem eben Gesagten keiner weiteren Erörterung.

Gewöhnliches Roggenbrot der Kriesszeit enthielt zwischen 4.6 bis 6.3 Prozent der Trockensubstanz an Zellhüllen. Da es auch einen Zusatz von Kartoffelmehl, das sehr arm an Zellulose ist, gesetzlich erhalten mußte, so wird der Gehalt des Roggens selbst zwischen 5 bis 7 Prozent Zellhüllen betragen haben, was sehr reichlich erscheint.

Eine Beobachtung, welche sich vielleicht bei ausgedehnten Untersuchungen bestätigen läßt, ist nicht ohne Interesse. Sie betrifft den ungleichen Gehalt an Methylpentosen.

Aus den Analysen über Kleie und Mehl scheinen sich gewisse Beziehungen der Pentosen zum Gehalt an Methylverbindungen der Pentosen zu ergeben.

Ich stelle hier kurz das Ergebnis zusammen:

Prozentgehalt ¹ der Pentosen an Methylverbindungen:	
äußerste Hüllen des Getreidekornes	1.1 Prozent
Kleinhlsen	2.50 "
Vollmehl	10.03 "
feinstes Weizenmehl	14.5 "

Der absolute Pentosegehalt der Mehlprodukte wird um so geringer, je kleiner der Gehalt an Zellhüllen ist; das habe ich schon erwähnt, merkwiürdigerweise steigt aber die relative Menge der Methylpentose je mehr das reine Mehl überwiegt.

Für die Resorbierbarkeit der Pentosen haben wir also in den vorliegenden Versuchen eine ausreichende Erklärung gefunden. Durch den Kleiegehalt wird zwar der Pentosegehalt des Mehles erhöht, zu gleicher Zeit aber die Verdaulichkeit herabgesetzt, weil wenigstens die Aufnahme-

¹ Aus dem Verhältnis des Furfurophosphorgluzids berechnet.

fähigkeit für die Zellmembranen der Zerealien eine sehr geringe ist, soweit man das nach den bisherigen Untersuchungen über „Zelluloseverdauung“ zu beurteilen in der Lage ist.

Die Resorption der Pentosen im Brote ist bisher nur von König für den Menschen untersucht worden, allerdings nicht bei reiner Brotfütterung, sondern bei Zugabe von Brot zu einer aus Fleisch und Fett bestehenden Grundnahrung. Er fand als Pentosenverlust bei Soldatenbrot 20.24 Prozent, bei Grahambrot 12.97 Prozent.

König fügt dann hinzu: Daß die Pentosane der beiden kleiehaltigen Brotsorten geringer ausgenutzt sind als die der Gemüsesorten, mag darin seinen Grund haben, daß hiervon eine größere Menge verzehrt und der Bedarf an Kohlehydraten durch die leichter ausnutzbare Stärke gedeckt wurde, während bei den weniger zusagenden Gemüsen als einseitige Kost die Pentosane in höherem Maße die fehlenden Kohlehydrate ersetzt haben.

Diese Erklärung könnte wenig befriedigen; schon aus den von mir nachgewiesenen Verhältnissen ergibt sich für die Zukunft die Notwendigkeit, zwischen leicht resorbierbaren nicht an Zellwände gebundenen Pentosen und den als Pentosanen in der Zellwand enthaltenen schwer verdaulichen zu trennen.

Im Zusammenhang mit den Untersuchungen von Weizen und Roggen habe ich noch eine Reihe von Analysen angeführt, die sich auf einige andere wichtige Volksnahrungsmittel beziehen, den Reis, Mais, die Hirse, die Leguminosenmehle, Erbsen, Bohnen und Linsen. Beim Reis habe ich außer einer Probe meiner Nahrungsmittelsammlung, aus poliertem Reis, ein Mehl zur Analyse hergestellt. Alle Proben mit Ausnahme der Linsen waren völlig gleichartiger Natur; nur letztere ließen bereits mit bloßem Auge erkennen, daß etwas Schalen mit vernahen worden sind. Die Versuche sollen nur eine Stichprobe über die Art des Pentosegehaltes im allgemeinen sein.

Die Ergebnisse sind folgende:

	Pentosegehalt	Asche
Feinstes Reismehl	3.04 Proz.	0.95 Proz.
zerkleinertem polierter Reis	2.86 "	1.29 "
feinstes Maismehl	3.09 "	0.31 "
Hirse	3.00 "	2.87 "
feinstes Weizenmehl	4.68 "	2.20 "

Die in vorstehender Zusammenstellung aufgeführten Mehle aus Reis, Mais und Hirse sind alle wesentlich pentoseärmer als das Weizenmehl, unter sich sind sie so gut wie garnicht verschieden. Der Roggen ist, wie schon erwähnt, gehaltreicher an Pentosen wie der Weizen.

Da diese in feinen Mehlen vorkommenden Pentosen nicht an Zellhüllen gebunden sind oder wenigstens nur in sehr kleinen Mengen auf einen solchen Zellhüllengehalt zurückzuführen sind, wird man sie bestimmt — wie das Stärkemehl der aufgeführten Nahrungsmittel — als leicht resorbierbare Pentosen ansehen können, im Gegensatz zu den schwer oder nicht resorbierbaren Pentosen der Kleie und schalenhaltigen Mehlsorten.

Von Hülisen habe ich nur die Reiskleie untersucht; Die Zellmembran enthielt in 100 Teilen:

39.19 g Zellulose,
26.95 g Pentosen,
33.86 g Restsubstanzen.

Da die Leguminosennmehle so vielfach benutzt werden, auch das Ausgangsmaterial zu einer großen Anzahl von Nährpräparaten bilden, habe ich noch Erbsen-, Bohnen- und Linsennmehl untersucht. Bohnen- und Erbsennmehl unterschied sich wenig im Äußeren von Weizen- und Roggennmehl guter Ausmahlung, beim Linsennmehl waren Spuren von Schattheilen mit bloßem Auge erkennbar. Für den Gehalt an N-freien Extraktstoffen wird nach König (Bd. II, S. 839) für 100 Teile Trockensubstanz angegeben:

Erbsen 64.45	bei 3.13 Prozent Asche
Bohnen 65.88	„ 3.76
Linsen 63.74	„ 2.89

Der Pentose- und Aschegehalt meiner Proben war: für 100 Teile trocken:

	Pentose	Asche
Erbsen	5.22	2.75
Bohnen	8.36	4.49
Linsen	4.92	4.31

Die Leguminosennmehle waren also im ganzen genommen ziemlich reich an Pentosen, was um so mehr ins Gewicht fällt, als ihr Gehalt an N-freien Extraktstoffen überhaupt kleiner ist als bei den Brotrüchten, Reis, Mais usw. Der Pentosengehalt war am höchsten bei meinem Bohnennmehl. Methylpentosen fanden sich nur in allergeringsten Mengen.

Über die Ausnutzbarkeit der Zellmembranen der Kleie.

Von

Max Rubner.

I.

In den vorhergehenden Abhandlungen habe ich die Notwendigkeit auseinandergesetzt, den Begriff der Zellhüllenverdaulichkeit in die Frage der Ausnutzbarkeit pflanzlicher Nahrungsmittel aufzunehmen. Wenn mir dieser Gesichtspunkt bei der Ausführung meiner Ausnutzungsversuche (1878 bis 1880) an Vegetabilien auch keineswegs entgangen war, so fehlte es doch damals an der Möglichkeit, die hiermit verknüpften Fragen zu lösen. Manche wichtigen Zellmembranbestandteile, die man heute leicht bestimmen kann, wie die Pentosen oder Pentosane, waren ganz unbekannt, die Natur der Zellmembranen selbst in chemischer Hinsicht noch ein unbebautes Feld.

Die Isolierung der Zellhüllen, wie sie in der vorhergehenden Untersuchung für die Kleie durchgeführt, versetzt uns in die Lage, genaue Auskunft über die Natur des verführten Nahrungsmittels zu geben und ebenso lassen sich die Methoden der Isolierung der Zellmembranen, wie sie sich für die zahlreichen Versuche mit Birkennmehl gut bewährt haben, auch auf Kot anderer Herkunft anwenden.

Somit kann man also die Beteiligung der Kleie an der Kotbildung sicherlich jetzt genau feststellen und auch die weiteren Fragen behandeln, ob die Kleie ein Reizmittel für den Darm ist, die Sekretionen stark in Anspruch nimmt und dadurch Verluste an Körperstoffen herbeiführt; bei den Birkennmehlen war ausgesprochen eine solche Rückwirkung nicht zu verzeichnen.

Eine weitere Klärung der Ausnutzungsvorgänge im Darm ist also möglich und für die Kleie wegen der großen Bedeutung für die Ernährung durch Brot dringend erwünscht, freilich an dem durch mich zuerst festgestellten Gesamtergebnis, daß die Kleie eine Quelle der geringen Ausnutzbarkeit mancher Brotsorten ist, was ja auch allseitig bestätigt werden