

Die Versuchsreihen wurden benutzt, um Asche und Kalkausscheidung im Harn zu verfolgen, das Ergebnis mag hier kurz angeführt sein. Die Knochenfütterung (an den Abgrenzungstagen) hatte keinen Einfluß auf die Ausscheidung von Kalk im Harn, wohl aber auf den Salzgehalt des Harnes im ganzen. Von den Holzpräparaten vermehrte das aus Birke hergestellte die Kalkausscheidung wohl wegen des größeren Säuregehaltes, den es besaß.

Nach den vorliegenden Ergebnissen schien es mir nicht aussichtsreich, auf die weitere Untersuchung solcher Produkte am Menschen einzugehen, da sie ja gegenüber unpräpariertem Birkenmehl keine Vorteile bieten und insoweit eine Veränderung der Zellulose, also ihre Überführung in eine andere Modifikation mit veränderter physikalischer Eigenschaft in Frage kommt, doch den Zweck leichter Verdaulichkeit nicht erzielen.

Die Verdaulichkeit von Weizenbrot.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Ziele und Aufgaben von Ausnutzungsversuchen.

Man hat bei den Untersuchungen über die Ausnutzung und Verdaulichkeit bei der Feststellung der üblichen Stoffwechselformen, wie Trockensubstanz, Fett und Asche halt gemacht. Ja in neuester Zeit will Hindhede überhaupt nur die Trockensubstanz bei einem Ausnutzungsversuch feststellen, sie genügt ihm für seine Art von Schlußfolgerungen.

Man ist über viele Einzelfälle von Nahrungsmitteln hinsichtlich der allgemeinen Züge der Ausnutzung, soweit es sich um rein praktische Beurteilung handelt, unterrichtet und aus rein praktischen Gesichtspunkten heraus ist man meist zur Aufnahme der Untersuchungen veranlaßt worden, besonders umfangreich waren solche auf dem Gebiete der Brotbereitung, während andere Gebiete der Nahrungsmittel so ziemlich vernachlässigt blieben.

Wenn ich mich in den nachfolgenden Untersuchungen nach mehreren Jahrzehnten nochmals an der Untersuchung über die Ausnutzung von Nahrungsmitteln beim Menschen beschäftige, so muß ich vor allem einige prinzipielle Fragen behandeln, durch deren Lösung der Ausnutzungsversuch uns nicht nur zum empirischen Mittel des Vergleichs einzelner Nahrungsmittel untereinander sich ausgestaltet, wie das für alle bisherigen Untersuchungen auf diesem Gebiete gilt, sondern zu einem Experiment, welches die Gründe der verschiedenen Verdaulichkeit aufdeckt, damit die Vorstellungen über die Nahrungsmittelresorption fördert und diese Art von Untersuchung zur Erkenntnis der Resorptionsvorgänge auswertet. Schon bei meinen ersten Untersuchungen über die Ausnutzung einiger Nahrungsmittel¹ und der unmittelbar anschließenden Arbeiten² hatte ich die Ausnutzung nicht als empirischen Ausdruck eines spezifischen Verlustes unverdaulicher Produkte

¹ *Zeitschrift f. Biol.* Bd. XV.

² *Ebenda.* Bd. XVI. S. 19.

glattweg angesehen, obschon das unter Umständen für praktische Ziele genügt, sondern ich habe darauf verwiesen, daß die Kotbildung sich aus zwei Teilen, dem Stoffwechselanteil — wie ich kurzweg den einen Teil nennen will — und aus den wirklichen Nahrungsresten zusammensetzt. Zur Feststellung der N-haltigen Stoffwechselprodukte wurde von mir der erste Versuch durch die Verfütterung N-freier (oder N-ärmster) Nahrung gemacht.¹

Ebenso findet sich der Versuch, direkt unverdauliches Material durch Untersuchung der Kotbestandteile darzustellen, bei den Ausnützungsversuchen über Brot durch Nachweis der Kleie in den Ausscheidungen gegeben.² Einige Jahre später wurde die Ausnützung der Rohfaser in den Versuchen von Wicke³ mit zur Beurteilung herangezogen.

Zu den Faktoren ungleicher Ausnützung rechnete ich auch die bei manchen Nahrungsmitteln stark in den Vordergrund tretenden Gärungen.

Waren so die allgemeinen Gesichtspunkte auch festgelegt, so fehlte es doch an den geeignetsten Mitteln zu einer wirklichen Trennung der einzelnen Ausnützungsvorgänge in quantitativer Hinsicht.

In der späteren Zeit wurden von anderer Seite sehr häufig die Ausnützungsversuche in der ursprünglichen Form verlassen und das zu untersuchende Nahrungsmittel nur als Teil einer komplizierten Kost gereicht, oder einfach zu einer „Normalkost“ zugesetzt. Dadurch sind eine ganze Reihe von Schwierigkeiten in die Ergebnisse hineingetragen worden. Das ist für praktische Zwecke manchmal genügend und für die ausführenden Personen zwar ein bequemes Verfahren, bietet aber zugleich eine derartige Komplikation der Resorptionsvorgänge, daß wir bei dem heutigen Stand des Wissens gar nicht in der Lage sind, die Versuchsergebnisse aufzuklären. Massenuntersuchungen dieser Art können den Mangel an Eindeutigkeit der Versuche nicht ersetzen.

Einen Schritt vorwärts versuchte hinsichtlich der Prinzipienfrage Prausnitz. Er verglich die chemische Zusammensetzung des Kotes bei verschiedenen Ausnützungsversuchen⁴; macht auch eine Zusammenstellung verschiedener Kotsorten, die im N, Fett und Aschegehalt sehr genau übereinstimmten, und kam zu dem Schluß, daß man nicht von verschiedener Ausnützung, sondern von verschiedener Kotbildung reden sollte. Nur in Ausnahmefällen wollte er Reste der Nahrung als Bestandteile des Kotes zulassen. Sonach läge die ungleiche Ausnützung nur in der ungleichen Bildung von Darmsekreten als kotbildenden Faktoren. So sollte im

¹ *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XV. S. 98.

² *Ebenda.* Bd. XIX. S. 68.

³ *Archiv f. Hygiene.* Bd. XI. S. 335.

⁴ *Zeitschr. f. Biol.* 1897. Bd. XXXV. S. 335.

allgemeinen eine Art „Normalkot“, aber in verschiedenen Mengen entstehen. Für die empirische Beurteilung der Ausnützbarkeit hätte diese Anschauung nichts geändert, ob Kotbestandteile oder Nahrungsrest, die Verluste bestehen und müssen in Rechnung gezogen werden.

Prausnitz ist also so weit gegangen, aus den ziemlich sich nahestehenden N-Prozenten des Kotes zu schließen, daß die Ausnützung, von wenigen Fällen abgesehen, nur in der Bildung von Darmsekreten und nicht aus Nahrungswerten bestehe. Aber gerade auf dem springenden Punkt, auf den es Prausnitz ankommt, nämlich auf die Wesensgleichheit des Kotes bei animalischen und vegetabilischen Nahrungsmitteln, ist diese Annahme eines sozusagen schlackenfreien Kotes ganz unmöglich. Überall, wohin man sieht, spielen die Rückstände der Nahrung eine bestimmte Rolle, sie sind vorhanden, ohne vielleicht den Kot immer ausschlaggebend zu beeinflussen, man darf nur beliebig die Versuche der letzten Abhandlungen durchsehen, um jedesmal den Rest der Nahrungsmittel in den Ausscheidungen wenigstens in der Form der Zellmembranen aufzufinden.

Prausnitz glaubte für den Kot einen mittleren N-Fett- und Aschegehalt angeben zu können, d. h. für das, was er normalen Kot nennt und für Stoffwechselprodukte erklärt. Viel weitergehend ist der Kot, wie ich durch spätere Untersuchungen erwiesen habe, merklich übereinstimmend in der Verbrennungswärme¹, aber auch da darf man nicht die Verhältnisse umstoßen wollen, denn häufig genug ist die Resorption der Nahrungsmittel so dürftig, daß sie die mittlere Verbrennungswärme bei gut resorbierbarer Nahrung erheblich ändert und verschiebt.

Es wäre naheliegend gewesen, darauf hinzuweisen, daß N-, Fett- und Aschegehalt natürlich an sich nicht beweisen, daß solche Kote untereinander innerlich übereinstimmen, identisch und nichts weiter sind als Reste der Darmsäfte; die wenigen chemischen Merkmale erfassen keineswegs gerade die wesentlichsten Produkte der Kotbestandteile. Man kannte aber schon damals eine ganze Reihe von Fällen, die sich durch wesentliche Verschiedenheiten der Zusammensetzung des Kotes auszeichnen. Plagge und Lebbin (das Soldatenbrot, Berlin 1897) haben deshalb nach ihren zahlreichen Erfahrungen auf dem Gebiete der Brotausnützung den Ausdruck „kotbildende Nahrungsmittel“ als Ersatz für den Ausdruck Ausnützung bestimmtstens (a. a. O. S. 149) abgelehnt. Später hat Schierbeck² durch zahlreiche Beispiele gezeigt, daß der N-Gehalt des Kotes „individuell“ verschieden sein kann. Er hat Personen mit dauernd hohem

¹ Rubner, Der Energiegehalt der menschlichen Nahrungsmittel. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. XLII. S. 261.

² *Arch. f. Hyg.* 1904. Bd. LI. S. 78.

und andere mit dauernd niedrigem N-Gehalt beobachtet. Beispiele über schwankenden Fett- und Aschegehalt kann man so häufig finden, daß man die Berechtigung, nur von verschiedener Kotbildung zu reden, auch fallen lassen muß, soweit sich diese Lehre etwa nur auf die bloße Feststellung des N-, Fett- oder Aschegehaltes des Kotes gründet.

Später¹ habe ich in der Abhandlung über den Energiewert der Kost des Menschen eine Zusammenstellung der Verbrennungswärmen des Kotes bei verschiedener Ernährung mitgeteilt. Dabei zeigte sich (a. a. O. S. 297), daß die Ausscheidungen stets eine höhere Verbrennungswärme der organischen Teile besitzen wie die Nahrung. Bei gut verdaulicher Kost aber findet man Verbrennungswärmen des Kotes, die nur um wenige Procente verschieden sind und um den Mittelwert von 6.2 Kal. per 1 g (organisch) schwanken, d. h. solange der Gesamtverlust an Energie mit dem Kote 8 Prozent nicht übersteigt, darüber hinaus sinkt bei vegetabilischer Kost deutlich die Verbrennungswärme, sie würde höher werden, wenn Kot nach überreichlicher Fettzufuhr vorläge.

Insoweit Bestandteile der Galleausscheidung in Betracht kommen, haben diese sehr hohe Verbrennungswärmen.

Cholesterin	9.883 kg-cal. per 1 g
Ochsengalle (organisch)	7.614 „ „ 1 „
Cholalsäure	8.119 „ „ 1 „

Die sich abschilfernde Epithelien werden dem Keratin in der Verbrennungswärme entsprechen = 5.56 Kal., per 1 g. Das Mekonium enthält nach meinen Bestimmungen = 5.818 kg-cal. per 1 g. Nach meinen Untersuchungen am Fleischkot des Hundes², geht von 100 Teilen N:

1.24 Prozent in den Ätherextrakt
0.74 „ in den salzsauren Ätherextrakt
61.50 „ in den Alkoholextrakt
63.48 Prozent in Alkohol- und Ätherextrakt zusammen.

Das „Fett“ des Kotes hat nur 8.4 kg-cal., ist also in hohem Maße durch Stoffe geringerer Verbrennungswärme verunreinigt. Der Alkoholextrakt des Kotes hatte pro 1 g organisch nur 3.982 kg-cal. Wie ich später gefunden habe, läßt sich der als Stoffwechselanteil zu betrachtende Kot (inkl. Bakterien) in salzsaurem Alkohol und nachfolgend im kochenden Chloralhydrat bis auf Spuren lösen.

Da die Verbrennungswärme die Gesamtsummen aller vorhandenen Kotbestandteile zusammen faßt und kleine Schwankungen in der Zusammen-

¹ *Zeitschr. f. Biol.* 1902. Bd. XLII. S. 263.

² Rubner, *Gesetze des Energieverbrauchs.* Leipzig und Wien, 1902. S. 26.

setzung etwa im N-Gehalt kaum in Betracht kommen, eignet sich diese Methode recht gut zu einem allgemeinen Urteil, etwa in dem Sinne, daß viele Nahrungsmittel (Fleisch, Milch usw.) und Nahrungsmittelgemische, welche nicht reich an Vegetabilien und grobem Brot sind, einen offenbar sehr gleich zusammengesetzten Kot liefern, was nur möglich ist, wenn tatsächlich die von der Nahrung herrührenden Reste weit geringer sind, als man früher angenommen hat. Da aber solche Nahrungsreste, wie sie im Kote nach Gemüse- und Brotfütterung zurückbleiben, nicht nur Rohfaser, sondern Zellmembranen sind, die meist auch unresorbierte Eiweißstoffe einschließen, so ist ihre Verbrennungswärme zwar abweichend und niedriger als 6.0, aber doch meist nur um 4—5.5 Kal. schwankend, daher können erst nicht allzu kleine Mengen unresorbierten Materials den mittleren Verbrennungswert des Kotes herabdrücken. Zum mindesten wird also oft ein sehr großer Anteil des Kotes neben Unverdaulichem aus Stoffwechselprodukten bestehen, inwieweit das wirklich der Fall ist, wird in Zukunft durch die Versuche selbst zu entscheiden sein.

Für den Hund wurde die Frage der Mehrung der Stoffwechselprodukte in meinen Versuchen dadurch festgestellt, daß eine einheitliche Fleischnahrung innegehalten wurde, der die zu untersuchende (ungelöste) Substanz beigemischt wurde, nach der Verdauung wurden die Reste der Zellmembranen wieder dargestellt.

Als Resultat ergab sich, daß manche Zellmembranen ohne jeden Einfluß auf die Steigerung der Stoffwechselprodukte sind, d. h. das Fleisch versorgt durch den lebhaften Strom von Verdauungssäften die Verdauung der zugesetzten Membranen noch nebenbei, in anderen Fällen war aber deutlich eine Steigerung der Stoffwechselprodukte vorhanden.

Bei der Verdauung vegetabilischer Nahrungsmittel kommt allerdings die Resorption des Eiweißes, des Fettes, der Kohlehydrate und Zellmembranen in Betracht, daneben aber möglicherweise eine Einwirkung durch die Extraktivstoffe oder ähnliche Körper auf den Darm. Die Größe der Stoffwechselprodukte läßt sich aber heute direkt einer Untersuchung unterziehen, das geht aus den nachfolgenden Betrachtungen hervor. Um in dieser Hinsicht einen Schritt weiter zu kommen, habe ich bei den Versuchen, zu deren Durchführung mir Fragen der heutigen Kriegsernährung den Anlaß boten, auf dieses Gebiet der Ausnützung zurückgegriffen, den bisher unbekanntem Teil der Ausnützungslern, das Verhalten der pflanzlichen Zellmembran als solcher studiert, zu ihrer Untersuchung die nötigen Methoden angegeben und in den bisherigen Versuchen am Tier erprobt. So sind die in dieser Zeitschrift niedergelegten Untersuchungen entstanden.

Nach den bisherigen Ergebnissen meiner Untersuchungen über die Verdaulichkeit von Zellmembranen verschiedener Art mußte es notwendig

werden, die am Hunde abgeschlossenen Experimente auf Menschen in geeigneten Fällen auszudehnen.

Dies halte ich für um so wichtiger, als man ja immerhin gewisse Abweichungen in der Verdaulichkeit zwischen Hund und Mensch wird finden können, wenn schon nach mancher Richtung hin eine weitgehende Übereinstimmung besteht. So habe ich des öfteren darauf verwiesen, daß unser Darm, was die Ausnützung des Fleisches anlangt, dem Hunde gegenüber die gleiche Verdauungsgröße aufweist.

Es ist aber außerdem von mir noch auf einen anderen Gesichtspunkt verwiesen worden, nämlich auf den Umstand, daß die Verdaulichkeit der Zellmembranen, die z. T. auf Bakterieneinwirkung zurückzuführen ist, soweit sie die Zellulose und Lignine usw. betrifft, durch die begleitenden Bedingungen der Verdauung, d. h. die Kotmasse als Nährboden in bakteriologischem Sinne von Bedeutung wird. Daher ist es nicht gleichgültig, in welchem Verband die Zellmembranen zur Verdauung gelangen.

Das Wichtigste bleibt der natürliche Verband mit allen anderen Nährstoffen in dem Nahrungsmittel selbst und beim ausschließlichen Genuß desselben.

Niemals wird man im Kote Reste der gefütterten Nahrungsmittel ganz vermissen, wenn man die Ausscheidungen mikroskopisch durchmustert, besonders bei den Vegetabilien, die ja zumeist charakteristische in den Verdauungssäften wenig veränderte Formelemente liefern, ist dies ausgeprägt der Fall. Daher hat hier die Mikroskopie zur Diagnose der vorliegenden unverdauten Teile eine gewisse Bedeutung erlangt.¹ Doch muß ich aus meinen eigenen zahlreichen Beobachtungen betonen, daß auch aus dem mikroskopischen Bild allein nie ein Urteil über die quantitativen Verhältnisse des Unverdauten gefällt werden kann.

Unter den Ausscheidungen finden sich allemal reichlich Bakterien. Die Frage der Kotbakterien ist vielfach untersucht worden, es wurde behauptet, daß der Kot bis zu $\frac{4}{10}$ aus Bakterien bestehen könne. Ich habe daher diese Frage in meinem Laboratorium durch Lissauer eingehend untersuchen lassen² und will nur kurz die hier interessierenden Endresultate angeben.

Bei gemischter Kost fanden sich . . .	8.67	Prozent des trocknen Kotes
bei vegetabilischer Kost	10.5	„ „ „ „
bei Fleisch	4.3	„ an Bakterien.

¹ S. hier Zusammenstellung bei Joseph Möller, *Zeitschr. f. Biol.* 1897. S. 291.

² *Zeitschr. f. Hyg.* 1906. Bd. LVIII. S. 145.

Manche Personen liefern dauernd Kot mit wenig Bakterien. In absoluter Menge würden sich für die Tagesausscheidungen berechnen:

	Trockenkot täglich	N darin	Bakterien darin	N in den Bakterien
für Fleisch	17.1	1.12	0.73	0.08
gemischte Kost	30.0	2.9	2.86	0.33

Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Menge der Bakterien bei der heutigen Methode dieses Nachweises eher zu hoch als zu niedrig gefunden wird. In den nachfolgenden Versuchen jedesmal die Bakterienmasse zu bestimmen, war mir bei den zeitraubenden Experimenten dieser Art unmöglich. Die von mir angewandte Methode der Feststellung der Zellmembranen läßt die Bakterien unberührt, da sich diese in siedendem Chloralhydrat, soweit ich einige Reinkulturen prüfte, fast ganz auflösen.

Auf einen Umstand, der mir für die künftige Bearbeitung der Fragen der Stoffwechselprodukte von Bedeutung erscheint, möchte ich noch hinweisen, es ist die Frage, wie sich Mischungen von Nahrungsmitteln verhalten werden. Es ist möglich, daß zwei Substanzen gemischt, jede für sich eine besondere Rückwirkung auf die Erzeugung von Stoffwechselprodukten ausübt, es ist aber auch der Fall möglich, daß durch eine Substanz bereits so reichlich Verdauungssäfte entstehen, daß eine Beilage gewissermaßen „kostenlos“ mit resorbiert wird. Vielleicht findet sich im Laufe der noch fortzusetzenden Arbeiten Gelegenheit, auch solche Fälle aufzudecken.

Die Aufschließung der Nährwerte der Brotfrucht.

Unter den vegetabilischen Nahrungsmitteln ist dem Brot bisher in der Literatur der Ausnützung das meiste Interesse zugewandt worden, seitdem durch G. Meyer und vor allem durch meine Versuche über die Bedeutung der Ausmahlung des Getreides¹ das Interesse dafür geweckt war. Die Ergebnisse standen nach allen Richtungen im Gegensatz zu den damaligen Lehren Liebig's. Letztere konnten als rein theoretische Einwände gegen die Verwendung von Mehlen gelten, die mehr oder minder kleiearm hergestellt wurden, vielleicht auch als eine Bekämpfung der durch das Aufblühen der Hochmüllerei bedingten Verfeinerung des Brotes. Im öffentlichen Leben hatte man schon im 18. Jahrhundert üble Erfahrungen mit dem Eigennutz der Müller, die dem Mehle große Mengen Kleie beimengten, gemacht und durch Gesetzesverordnungen war in manchen Staaten daher seit langem der Ausmahlungsgrad festgestellt.

¹ *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XIX. a. a. O.

Seitdem Liebig dem Brot aus ganzem Korn rein vom chemischen Standpunkt aus, den Vorzug zugesprochen hatte, die Gärung durch chemische Treibmittel zur Lockerung des Teiges gefordert worden war, die Salze des Brotes maßgebend für die Verdaulichkeit sein sollten, war eine lebhaftere Bewegung zu „Brotverbesserungen“ entstanden. Alle diese Annahmen sind zwar durch meine Versuche widerlegt worden und so für einige Zeit zum Stillstand gekommen. Sie haben aber in der halb populären Literatur ihr Dasein gefristet. Es konnte auch nicht wundernehmen, daß viele dieser halb schlummernden, wenn auch unbegründeten Ideen plötzlich wieder in der Kriegszeit auftauchten. Die Vorschläge zu Verbesserungen des Brotes, Herstellung von „Kraftbrot“, Brot mit großem Reichtum an Nährsalzen, Ersatz der Hefe und des Sauerteiges durch Backpulver, alle diese halb vergessenen Dinge tauchten wieder auf und wurden wie neue Offenbarungen diskutiert. Man schalt die Ernährungswissenschaft als rückständig, weil sie sich mit solchen Problemen nicht beschäftigte. Alles zu Unrecht, die Bearbeitung dieser Fragen gehört einer Zeit an, die fast 50 Jahre hinter uns liegt, so daß die Literatur hierüber und auch das Experimentelle selbst ärztlichen Kreisen völlig fremd geworden ist.

Die Frage der Herstellung eines rationellen Brotes, d. h. eines solchen, welches die vorhandenen und erzeugten Nährwerte möglichst ausnützt, wäre eine Aufgabe von fundamentaler Bedeutung, darunter wird aber sicherlich nie ein Einheitsbrot zu verstehen sein, über diese patriarchalischen Zustände sind wir in der Entwicklung hinausgekommen und werden nie wieder dahin zurückkehren, errungene Verbesserungen und höhere kulturelle Ansprüche gehen nicht mehr zurück, nur die Extreme und Ausschreitungen, die damit verbunden sind, werden durch natürliche Gegenreaktion eingedämmt, insofern haben selbst fanatisch betriebene Agitationen oft ihr Gutes. Die „neuen“ Richtungen der Agitation erscheinen vielen durch das Vordringen in die Öffentlichkeit von epochemachender Bedeutung, während sie tatsächlich auf die große Masse nur einen beschränkten Einfluß üben, diese kennt nur zwei Gründe der Wahl: Verbesserung der Geschmacksqualitäten und Billigkeit des Preises.

Seitdem ich durch meine Untersuchungen auf Vor- und Nachteile des Mitverbackens grober Kleie hingewiesen und gezeigt habe, daß die geschlossenen Kleierzellen keine Eiweißstoffe abgeben, sind eine ganze Reihe von Verfahren zur verbesserten Herstellung des Vollkornbrotes entstanden. Aber diese Mahlverfahren haben ausnahmslos bis jetzt das gesteckte Ziel nicht erreicht, sie sind von verschiedenen Seiten auf ihre ernährungs-physiologische Bedeutung geprüft und nicht als voll befunden worden. Es kann nicht wundernehmen, daß man in der Kriegszeit wieder versucht hat, sie

an den Mann zu bringen, in der Hoffnung, daß die allgemeine Einführung eines einheitlichen Vollkornbrotes die Patente rentabel machen werde.

Der Vollkornbrotbewegung schwebt unter den heutigen Verhältnissen nichts Geringeres vor als ein Einheitsbrot, die ausschließliche Vermahlung aller Getreidevorräte zu einem Vollkornmehl. Die Agitationschriften unterlassen es regelmäßig, anzugeben, wenn einmal ihre Präparationsverfahren experimentell geprüft und als kein Fortschritt bezeichnet worden sind.

Das mangelhafte Ergebnis der Verdaulichkeit solcher Brotsorten sucht man durch die Behauptung zu erklären, daß in der Regel das Brot nur zu wenig gekaut werde; was die Müllerei nicht leisten könne, hätten eben die Zähne des Menschen zu erzielen. Eine solche Behauptung hat der Amerikaner Fletcher aufgestellt, sie ist aber durch keinen einwandfreien Versuch bewiesen. Soweit ich aus meinen früheren publizierten Versuchen (1883) mit einem unter den Vollkornbroten nahezu am günstigsten dastehenden Material habe nachweisen können, werden größer zermahlene Kleiestückchen beim Kauen und Durchgang durch den Darm kleiner, ich habe schon damals gefunden, daß etwa nur halb so viel grobe Kleie im Kot auftritt wie in dem Brot vorhanden war. Aber auch diese Zerkleinerung, die vermutlich gar nicht allein von den Zähnen geliefert wird, sondern wie ich jetzt zeigen kann, durch teilweises Auflösen der Zellmembranen, bringt ein Zertrümmern der Zellen nur in beschränktem Maße zustande. Mit der Vollkornfrage wurde die Vitaminlehre verknüpft und daraus die Unentbehrlichkeit der Kleie abgeleitet — was selbstverständlich auch noch kein Argument für ein Einheitsbrot wäre, denn wenn man selbst annimmt, die Kleierzellen enthielten Vitamine, so entspricht es dem menschlichen Bedürfnis durchaus, teils Feinbrot, teils Brot aus kleiehaltigem Mehl zu genießen, ganz abgesehen davon, daß gemischte Kost niemals einen Mangel an Vitaminen aufweisen kann.

Und schließlich sollen die Salze des Kornes im Vollkorn zu gewinnen sein, obschon nach dieser Richtung die Versuche auch schon ergeben hatten, daß dem Mehr der Zufuhr stets vermehrte Verluste bei der Verdauung gegenüberstehen. Die einzige Behörde des Staates, welche der Brotbereitung ein tieferes Verständnis entgegengebracht hat, war die Militärverwaltung, welche die Herstellung von Soldatenbrot durch Plagge und Lebbin praktisch einer eingehenden Untersuchung hat unterziehen lassen.¹ Für manche staatliche Nahrungsversorgungen bei Zivilbehörden ist man sogar noch bei der allgemeinen Vorschrift, nur ungebeuteltes Korn zu verwenden, stehen geblieben.

¹ *Das Soldatenbrot.* Berlin 1897.

In der Beurteilung des Brotes werden meist zwei verschiedene Fragen durcheinander gemengt, die eine betrifft den Wert, den der einzelne durch den Genuß eines wenig ausgemahlene Mehles oder eines Vollkornmehles aus dem gekauften Brote ziehen kann. Die Antwort hierauf haben meine Versuche aus Weizenmehl verschiedener Ausmahlung und auch die späteren Versuche von Plagge und Lebbin gegeben, allenfalls ist es möglich, daß das schwächer ausgemahlene Mehl für die Tagesrationen nur etwa 1 g Eiweiß und einige Milligramm weniger an resorbierbarer Asche liefert, dafür aber sichert es einen sehr erheblichen Zuwachs an verdaulicher Stärke, im ganzen also mehr Nährwert als Vollkornbrot.

Die andere Seite des Problems ist eine nationalökonomische oder Frage der Nährwertgewinnung im ganzen; bei gutem Weizenkorn, bei vorheriger Dekortikation kann man aus den gleichen Mengen Korn bei dem Vollkornbrot, wie ich gezeigt habe, mehr verdauliches Material erhalten, weil die abgetrennte Kleie vor allem noch Mehl einschließt, je nach dem Grade der Ausmahlung verschieden viel. Brot bis 80 Prozent trägt noch annähernd den Charakter eines wenig belästigenden Gebäckes, darüber hinaus treten bereits sehr häufig schon Unbequemlichkeiten durch starke Gasbildung und andere unbequeme Nebenumstände auf. Ein robuster Darm kommt darüber hinweg, aber nicht alle Menschen.

Wie das Verdauliche mit der Ausmahlung abnimmt, zeigen folgende Zusammenstellungen für 100 Teile dekortizierten Getreides.

Nach meinen Versuchen am Weizen:

	Trockensubstanz	Organisch	N	Asche
ganzes Weizenkorn dekortiziert liefert Verdauliches	87.8	87.8	1.42	0.01
bei 70 Proz. Ausmahlung wird erhalten	65.3	65.0	1.13	—

Das ist etwa eines der günstigsten Verhältnisse, die man bei einem Vollkornbrot erhalten kann, wie spätere Versuche haben erkennen lassen. Es wird 30 Prozent Kleie gewonnen und zu anderen Zwecken verfügbar, wenn auf 70 Prozent ausgemahlen wird. Der Gewinn an Trockensubstanz ist zum Teil nicht voller Nährwert, sondern verdaute Zellmembran, wie ich jetzt nachweisen kann, also kein voller Nahrungsgewinn. Die Kleie hatte, wenn man sie zum Brot von 70 Prozent Ausmahlung zugesetzt dachte, den Verdaulichkeitsgrad des 70prozentigen Mehles wenigstens nicht vermindert.

Aus den Versuchen von Plagge und Lebbin würde sich für Roggenbrot ergeben:

resorbiert von 100 Teilen Vollkornmehl.	84.3	Trockensubst.	4.35	Prot.
bei 72 Prozent Ausmahlung	65.2	„	6.10	„

Dem Gewinn von Trockensubstanz stände also hier ein Eiweißverlust beim Vollkorn gegenüber, auch hier ist der Gewinn nicht reine Stärke, sondern sicher nur zum Teil verdaute Zellmembran. Die beiden Beispiele genügen zum Beweise dafür, daß eine generelle Regelung durch Einheitsbrot zu einem Verlust an Nährwert im Eiweiß ausschlagen könnte, obschon es sich hier noch um eine günstige Vermahlung gehandelt hat.

Die Verdauungsvorgänge sind also selbst bei Ausmahlungsverschiedenheit von etwa 30 Prozent noch von solchem Einfluß, daß sie die Massenverringeringung zum erheblichen Teil kompensieren.

Die geringe Verdaulichkeit der Vollkornbrote (und auch jener Brote aus kleiereichen Mehlen überhaupt) wird vielfach nur als durch die beigebackene Kleie bedingt angesehen, sozusagen als der Effekt eines hinzugefügten unnötigen Ballastes.

Das ist aber sicher unrichtig: Es mag daran erinnert sein, daß bei einem aus Roggenmehl $\frac{4}{5}$ und Weizenmehl $\frac{1}{5}$ ohne Kleiauszug (nach Plagge und Lebbin a. a. O. S. 151) hergestellten westphälischen Landbrot 15.7 Prozent Trockensubstanz und 52.04 Prozent der Eiweißstoffe, bei Vollkornbrot nach Gelink 22.4 Prozent Trockensubstanz und 50.3 Prozent der Eiweißstoffe verloren gehen und ähnliche Beispiele lassen sich viele anführen.

Es kann sich dabei nicht mehr bloß um den Verlust der Kleiezellmembranen handeln, da nach meinen Versuchen so viel als hier abgeht, gar nicht als Zellmembran vorhanden ist, es kann sich auch nicht nur um den Verlust von Eiweiß handeln, das in den Kleberzellen steckt, auch dafür werden sich später Belege finden. Die Gebäcke als ganzes sind minderwertig und Verdauliches geht mit Unverdaulichem ab, Verschwendung höchsten Grades.

Die Vollkornbrote haben für meine Aufgabe der Erforschung der näheren Verdauungsvorgänge des Brotes nur die Bedeutung extremer Fälle der Kleieanreicherung. So wenig wir über diese Brotsorten irgend etwas Abschließendes wissen, so dürftig ist auch die Kenntnis der Brotverdauung irgendwelcher anderer Vermahlungsgrenzen, auch über die feinsten Mehle sind uns die Verhältnisse der Rückwirkung auf den Darm und ähnliches noch unbekannt oder doch unbewiesen. In manchen Fällen ist bei Brotausnutzungsversuchen die Rohfaserbestimmung mit herangezogen worden. Es fällt uns dabei eine gewisse Schwankungsbreite auf, auch bei Versuchen von R. O. Neumann, die während der Kriegszeit ausgeführt sind, finden sich bei derselben Person recht bemerkenswerte Unterschiede, welche auf „biologische Schwankungen“ der Ausnützung der Zellmembranen hinweisen. Man wird also diesem Umstände in Zukunft die Hauptbeachtung schenken müssen, weil sich daraus allein schon eine Aufklärung über ungleiche Versuchsergebnisse bei verschiedenen Personen ergeben.

Es ist aber nicht auszuschließen, daß sich unter der Bezeichnung Rohfaser vielleicht oder man darf besser sagen, mit Sicherheit Verschiedenheiten der Zusammensetzung der Zellmembran verbergen, die ohne ins einzelne gehende Untersuchung nicht aufzuklären sind.

Neue Versuche über die Verdaulichkeit von Weizenbrot.

Bei dem Brot handelt es sich um ein Nahrungsmittel, das zu den alltäglichen gehört, von einer Fremdartigkeit kann daher keine Rede sein, ein Versuch mit ausschließlicher Brotnahrung wird also gut ertragen, da sie gewohnte Nahrung ist. Es wird bei uns kaum jemanden geben, der nicht in seiner Kost mehr oder minder reichlich Brot aufzunehmen pflegt. Ausnahmsweise findet sich ja wohl schon häufig der ausschließliche Weißbrotgenuß, keineswegs aber nur in den besser situierten Klassen, sondern kaum minder häufig unter den wenig gut gestellten Leuten.

Ich bin bei der Ausführung solcher Versuche dabei geblieben, nur Brot mit Zugabe von Fett als Nahrung zu geben, um jede anderweitige Komplikation der Versuche und ihrer Berechnung auszuschließen. Auch mit dieser einfachen Versuchsanordnung kann man vier- oder sechstägige Versuche recht gut durchführen. In manchen Fällen war es möglich, eine Gruppe von Personen zu erhalten, was für die Gewinnung von Mittelwerten recht willkommen ist, allerdings aber, wenn man, wie dies geschah, den einzelnen Bestandteilen in der Resorption nachgeht, eine solche Fülle von Analysen notwendig macht, daß bei dem Mangel an Arbeitskräften die anstrengendste Arbeit nötig war, um die Analysen zu Ende zu führen.

Die nachfolgenden eigenen Untersuchungen sind über die üblichen Feststellungen (Asche, N, Fett) auf die Verbrennungswärme, die direkte Bestimmung der Stärke, auf Pentosen, die Zellmembran und ihre Bestandteile ausgedehnt worden.

Die Versuchsreihen werden zeigen, daß wir in der Lage sind, die Gründe der ungleichen Resorbierbarkeit mit großer Bestimmtheit anzugeben und vor allem die nicht resorbierten Produkte von den übrigen Kotbestandteilen zu trennen.

Mit Rücksicht auf das Brotgetreide muß ich eine allgemeine Betrachtung, welche auf den Aufbau dieses Nahrungsmittels etwas näher Bezug nimmt, vorausschicken. Die nährenden Bestandteile sind die Teile des Mehlkernes, bestehend aus Stärke, den Klebereiweißstoffen und geringen Mengen anderer Eiweißstoffe des Mehlkernes, ferner jenes Eiweiß, das in den Kleberzellen enthalten ist und der Zellen des Embryos, eiweiß- und fettthaltig. Diese Substanzen finden sich als Inhalt von Zellen mit feinen

oder dickeren Zellwänden. Von den Zellen der Frucht und Samenhaut sind viele anscheinend nährstofffrei. Jedenfalls gehören alle Zellmembranen zu den nicht unmittelbar verdaulichen Nahrungsstoffen. Die bei der Ausbeutung des Mehles abfallende Substanz nennt man kurzweg die Kleie, sie ist ein Handelsbegriff, in Wirklichkeit ein Gemenge von nährenden Bestandteilen und der Zellmembranen verschiedener Art. Was als Zellmembran in einzelnen Mehlsorten vorhanden ist, kann demnach etwas sehr Wechselndes sein.

Das Mehl kann je nach seiner Zubereitung alle diese Zellmembranen enthalten, oder es kann die Fruchtschale im wesentlichen abgetrennt sein (dekortiziertes Mehl) oder bei sehr scharfer Schälung auch die Kleberzellenschicht wegfallen, oder der Keimling entfernt sein. Man wird bei Handelsmehlen auch bei gleichem Rohfasergehalt nie wissen, was man in Händen hat, zumal das Verhältnis der Zellmembran zum Mehlkern durch Mischung verschiedener Zermahlungen beliebig verschoben werden kann.

Die Natur dieser verschiedenen Zellwände und sonstigen Bestandteile des Mehles ist bisher einer Untersuchung nicht unterzogen worden; bei den mannigfachen morphologischen Unterschieden kann man aber auch chemische Unterschiede voraussetzen und beides wird auch auf das Verhalten bei der Verdauung von Einfluß sein können.

Es muß sich demnach von selbst verstehen, daß Versuche über die Ausnützung von Brot ohne Kenntnis dieser Verhältnisse und speziell ohne Feststellung des Anteils, den die Zellmembranen im Kot nehmen, für eine Klarlegung der Ursachen der Resorption unverwertbar sind. Es wird auch weiter zu untersuchen sein, ob nicht Unterschiede in der Resorbierbarkeit der Rohfaser, die ich z. B. zwischen Feinmehl und Vollkornmehl fand, und manche Unterschiede, wie sie in dieser Hinsicht zwischen verschiedenen Beobachtern zu finden sind, auf solche grundsätzliche Verschiedenheiten der Zellmembran zurückzuführen sind. Man kann schon jetzt mit Bestimmtheit sagen, daß die Vollkornbrote des Handels in der Beschaffenheit der Zellmembran sehr verschieden sind, so daß die Resultate der Versuche schon deshalb voneinander abweichen. Die Technik war bis jetzt gar nicht in der Lage, den Wert der Verbesserungen des Mahlverfahrens sicher zu beurteilen.

Es ist daher notwendig, die Verdaulichkeit des Brotes im Zusammenhang mit diesen ursprünglichen Verschiedenheiten der Zellmembran genau zu untersuchen. Von der bei der Dekortizierung abfallenden Membran und den Zellhüllen der Gesamtkleie ist mir durch Analyse bekannt, daß zwischen beiden insofern kein wesentlicher Unterschied besteht, als sie sich chemisch wenigstens nicht unterscheiden. Unbekannt ist vorläufig die Zusammensetzung der Membran des Mehlkernes. Sie läßt sich auch nicht mechanisch

von der Mehlsubstanz trennen. Die Keimlinge dagegen sitzen ziemlich locker in den anderen Geweben und können allerdings im Zusammenhange mit etwas Kleberzellen abgeschieden werden. Auf die Bedeutung der letzteren werde ich in einer besonderen Arbeit näher eingehen.

Einige wichtige Beobachtungen über das Verhalten der reinen Zellmembran der Kleie (dekortizierten Mehles) habe ich bereits mitgeteilt. Sie beziehen sich auf tunlichst durch nicht eingreifende Mittel gewonnene Membranen.

Am Tier stellt sich die Kleiezellmembran etwas besser in der Resorption wie Birkenholzschliff; sie steht also in einiger Beziehung zu den Holzmembranen.

Der Hund vertrug die Kleie ohne Steigerung seiner Stoffwechselprodukte des Darmes. Von dem in der Kleie vorhandenen N waren 31·1 Prozent zu Verlust (nicht Gesamt N-Verlust) gegangen. Im Kot waren enthalten außer der Kleiezellmembran und dem Inhalt der Kleberzellen auch noch reichlich ungelöste Pentosen. Von den Pentosen waren pro Tag 7·04 g als freie Pentosen gefüttert worden. Im Kot fanden sich aber frei 9·88, es sind also noch aus Zellmembran abgespaltene Pentosen dazu gekommen.

Die Zellmembran selbst hatte einen Verlust von 44·7 Prozent, die Zellulose einen solchen von 75·04 Prozent, die Pentosen der Zellmembran gingen nur zu 38 Prozent mit der Zellmembran wieder ab, das übrige blieb zum Teil gelöst, aber wie schon bemerkt, unresorbiert liegen. Auch von den Ligninen usw. wird resorbiert. Für die Auflösung kommt die morphologische Eigenart der Zellmembranen in Betracht und die Wege des Angriffs sind, wie Haberlandt mikroskopisch zeigen konnte, in den verschiedenen von mir ausgeführten Versuchen recht verschieden gewesen. Die einzelnen Formelemente werden verschiedenartig angegriffen. Die Zellmembranen nehmen unter den Ausscheidungen bei Brotnahrung eine viel bedeutendere Stellung ein, als man nur nach dem Rohfasergehalt erwarten sollte. Es wird also für den Menschen die Feststellung dieser Resorptionsverhältnisse ein oder das wesentlichste Element darstellen.

Von der Lösung der Zellmembran wird in den meisten Fällen überhaupt auch der Ausnützungsgrad des Eiweißes mit abhängen. Man sieht das schon aus der engen Beziehung zwischen Rohfasergehalt der Mehle und der Eiweißausnützung. Darauf habe ich in einer Arbeit von Wicke an der Hand von Versuchen über dekortizierten Weizen und Roggen zuerst hingewiesen.¹

Auch die Gesamtmenge des Verlustes an organischen Bestandteilen geht damit im wesentlichen Hand in Hand. Die Rohfaser selbst aber zeigte in der Verdaulichkeit insofern Unterschiede, als dort, wo wenig vorhanden

war, relativ mehr verdaut wurde, wie bei höherem Holzfasergehalt (48·9 Prozent im Minimum, 95·9 im Maximum). Die bei der Dekortikation abfallende Außenhaut des Kornes erwies sich auch schlechter resorbierbar als die Kleberschicht und Fruchtschale. Vergleiche über Mahlverfahren und Verbesserungen der Technik können nur an Ausgangsmaterial von der gleichen Zellmembranart angestellt werden. Bloße Angaben über den Ausnützungsgrad dieser oder jener Brotsorte haben ohne Rücksicht auf diesen Umstand keine Bedeutung, weder im Hinblick auf die Verluste an organischer Substanz noch im Hinblick auf die Resorption von Eiweiß.

Dies hängt mit dem Einschluß des Kleberzelleneiweißes in den Zellen, offenbar schwer auflösbaren Zellen, zusammen, wie ich zuerst 1883 ausgeführt habe. Die energischere Vermahlung der Kleie auf trockenem Wege führt zu keiner sehr weitgehenden Öffnung der Kleberzellen, denn bei den neueren Vollkornbrotten bleibt der Verlust an Substanz im allgemeinen und der Verlust an Eiweiß etwa auf der Höhe, wie ich ihn 1883 gefunden habe, ja er scheint mehrfach noch höher. Beide Momente bedingen einen Verlust, der so groß ist, daß ein Esser von feinem Weißbrot kaum eine Einbuße an Eiweiß oder Salzen erleidet, wohl aber einen nicht unerheblichen Gewinn an Nährstoffen (Stärke) zu verzeichnen hat.

Die Versuche nach dem Uhlhorn- oder Steinmetzverfahren, die Resorption zu steigern, sind ohne Erfolg geblieben.

Der negative Erfolg solcher Versuche wird gewissermaßen durch zwei Versuchsreihen zusammengefaßt, der älteren von Poggiale lange schon vergessenen, wobei Kleie an einen Hund gefüttert, gewaschen, nochmals gefüttert, wieder ausgewaschen und an Hühner gefüttert wurde, worauf noch immer $\frac{1}{3}$ so viel N wie zu Anfang in der Kleie vorhanden war. Ferner haben Plagge und Lebbin in eigener Verarbeitung Kleie feinst gemahlen, bis sie durch ein Sieb von $\frac{1}{5}$ mm Weite hindurch ging, und immer noch 56·3 Prozent N Verlust gefunden bei 43·2 Prozent Verlust der Trockensubstanz (a. a. O. S. 149). Ich habe schon früher den Verlust des N der Kleie auf Grund meiner eigenen Versuche auf 38·9 Prozent angenommen. Da die Kleie auch noch Mehlteile enthielt, wären die Verluste der reinen Schalen natürlich noch relativ größer.

Plagge und Lebbin gehen wohl zu weit, wenn sie dem Kleberzelleneiweiß so gut wie gar keinen Wert beilegen, denn die Resorbierbarkeit hängt, abgesehen von der mechanischen Zermahlung der Kleberzellen, auch sonst von der Zellmembranauflösung oder wie man sagt, von der Verdaulichkeit der Zellulose ab. Allerdings ist gerade bei reichlichen Mengen von Rohfaser stets das Auflösungsvermögen gering gefunden worden (s. die Versuche von R. O. Neumann).

¹ Arch. f. Hyg. 1890. Bd. XI. S. 363.

Inwieweit Aufschließungsverfahren der Kleie Erfolge erzielen, das soll später in einer besonderen Abhandlung an der Hand von Versuchen gezeigt werden.

In Fällen mit guter Zellmembranlösung liegt das Eiweiß dann frei vor. Mein Versuchshund verdaute etwa die Hälfte der Zellmembran und damit auch entsprechend Kleberzelleneiweiß. Wenn im Darm die Bedingungen zur Zellmembranlösung vorhanden sind (diese scheinen wechselnd zu sein), so wird sie gelöst, gleichgültig, ob sie ganz fein oder mittelfein zermahlen ist.

Es wäre von größtem Interesse, wenn man sich überhaupt ein Bild von dem Nutzen machen könnte, den die Eiweißstoffe in den Kleberzellen haben können, damit man wüßte, was dann der günstigste Endeffekt aller Aufschlußbestrebungen sein kann. Immer wieder wird man sagen können, wenn nur die Zellwand gelöst ist, dann wird das Eiweiß auch nutzbar. Die Verdaulichkeit setzt sich also, wenn kein freies Klebereiweiß vorhanden ist, aus zwei Komponenten zusammen:

- a) aus der Auflösung der Zellmembran,
- b) aus der spezifischen Verdaulichkeit des Kleberzelleneiweißes.

Daß letzteres in Verdauungssäften löslich sein muß, ergibt sich aus künstlichen Verdauungsversuchen, die ich mit den Kleberzellen angestellt habe, die zum Teil angebrochen waren; ähnliche Beobachtungen hat später auch Finkler gemacht. Künstliche Verdauungsversuche beweisen allerdings nicht viel.

Ich habe die nötigen Unterlagen, um annähernd die Verdaulichkeit des Kleberzelleneiweißes im Körper zu berechnen. Zunächst erinnere ich an die Versuche, welche ich mit gereinigtem Kleiematerial an Hunden angestellt habe. Wenn man unter Abrechnung der Stoffwechselprodukte des Kotes die Berechnung anstellt, habe ich für die betreffende Kleie 32 Prozent N-Verlust gefunden, welche nur auf Kleberzelleneiweiß trafen, die weitere Überlegung sagt folgendes:

In möglichst gereinigten, d. h. stärkefreien Zellmembranen (Weizenkleie) fand ich noch 2·33 Prozent N = 14·78 Protein, auf reine aschefreie Zellmembran gerechnet pro 1 g 0·21 Protein. Im Weizen sind durchschnittlich 13·89 Prozent N-Substanz; da man nach meinen Untersuchungen etwa 11 Prozent Zellmembran im Vollkorn (ohne Dekortikation) annehmen kann, und auf 1 Teil dieser Zellmembran 0·21 g Protein treffen, so liegt in der Kleberzellenschicht etwa 2·31 g Protein, d. h. 16·8 Prozent des Gesamteiweißes; als echter Kleber usw. ist vorhanden 11·58 g Protein, d. h. 83·2 Prozent des Gesamteiweißes. Von reinem Kleber werden (ohne Rücksicht auf die Stoffwechselprodukte) nur 5 Prozent nach meinen Versuchen oder noch weniger verloren. Von dem Inhalt der Kleberzellen sind, wenn 55 Prozent

der Zellmembran gelöst werden, 32 Prozent N verloren gegangen.¹ Wenn demnach von den 2·31 g Protein als Kleberzelleninhalt 55 Prozent frei werden = 1·27 g und 32 Prozent des N der Gesamtkleie unausgenutzt verloren werden = 0·74 g in diesem Falle, so ist die wahre Ausnützung des freien Eiweißes der Kleberzellen, die man bisher ja nicht kennt, 41·8 Prozent und der Verlust 59·2 Prozent. Das würde also dafür sprechen, daß dieses in den Kleberzellen eingeschlossene Eiweiß wirklich weit schlechter resorbiert worden ist, wie die wahren Kleberstoffe. Damit scheint der jahrzehntelange Streit auf die einzige Basis gestellt, die zur Lösung und zum Verständnis beitragen kann. Somit würde der Verlust bei der Ausnützung von allen im Korn enthaltenen Eiweißstoffen, auch wenn alle Zellen gelöst würden, 13·54 Prozent betragen. Nimmt man, um für einen praktischen Fall ein Bild zu geben, als verzehrt pro Tag 600 g Mehl = 83·4 g Protein als Nahrung eines Mannes, so wäre der ganze Verlust = 11·28 g Protein, wozu noch 1·3 g N im Kot als

$$\begin{aligned} \text{Stoffwechselrest} &= 8\cdot12 \text{ g Protein hinzukäme,} \\ \text{Gesamtverlustsumme} &= 19\cdot4 \text{ g Protein.} \end{aligned}$$

Der Verlust nach üblicher Berechnung der Ausnützung wäre dann mindestens rund 23·3 Prozent. Es kann aber doch fraglich sein, ob es eine spezifische Ausnützung des Kleberzelleneiweißes dieser Art gibt. Denn es ist denkbar, daß sich dieses Eiweiß nur deshalb als schlecht resorbierbar zeigt, weil es erst im Dickdarm bei Lösung der Zellmembranen frei wird, also an einer Stelle liegt, welche für die Resorption weniger geeignet ist als der Dünndarm mit seinem Fermentreichtum und Mitteln zur Resorption. Wir wissen zwar, daß der Dickdarm resorptionsfähig für geringe Mengen von Nährstoffen und zwar auch für Eiweißstoffe ist, doch könnte es eben an Fermenten fehlen, um diese Kleberzelleneiweißstoffe so aufzuspalten, daß sie resorbierbar sind. J. Möller, der den Stuhlgang von einigen Ausnützungsversuchen von Prausnitz untersucht hat², sagt allerdings von dem mikroskopischen Bild nach Pflanzenkost, daß Kleberzellen mit unversehrtem Inhalt vorkommen, sogar dann, wenn die Zellen durch die Verdauungssäfte isoliert worden waren. Solche Bilder mit angerissenen Kleberzellen und wohl erhaltenem Inhalt habe ich auch gesehen, dies spricht allerdings wieder für die schwierige Resorption. Ich muß daher diese Frage vorläufig noch für unentschieden lassen in dem Sinne des kausalen Zusammenhanges, möglicherweise erlauben spätere Versuche mit besonders vorbereitetem Material einen definitiven Entscheid. An der Tat-

¹ S. dies Archiv. 1915. Physiol. Abtlg. S. 143.

² Zeitschr. f. Biol. 1897. Bd. XXXV. S. 304.

sache, daß diese Eiweißstoffe schwer resorbierbar sind, ist aber nicht zu zweifeln, ich kenne keine Ergebnisse, welche auf eine bessere Ausnützung hinweisen. Die Stellung des Kleberzelleneiweißes in der Rolle des Pflanzenstoffwechsels ist noch immer nicht allgemein richtig erkannt. Nur zu häufig wird wegen des Namens angenommen, es handele sich um dieselben Substanzen, die wir sonst als Kleber nennen. Mit letzteren hat das Kleberzelleneiweiß nichts zu tun.

Man hat früher die Kleberzellenschicht mit ihrem Inhalt allerdings als einen Reservebehälter aufgefaßt, aus dem das Eiweiß für die keimenden Pflanzen zur Verfügung gestellt würde. Aber die Untersuchungen von Haberlandt¹ haben endgültig bewiesen, daß die Kleberzellen als ein Drüsenorgan aufzufassen sind, das bei der Keimung vom Keimling aus zur Sekretion von Diastase angeregt wird und im weiteren Verlauf des Keimens (unter Verfettung) verkümmert. Solche Drüsengewebe kommen nach Haberlandt bei Getreide und Grasarten weit verbreitet vor, selbst bei ölhaltigem Samen, wo sie vielleicht statt Diastase andere Fermente, d. h. fettumsetzende sezernieren.

Man kann also nicht behaupten, daß der Kleberzelleninhalt in direktem Zusammenhang mit den Umsetzungen der Eiweißstoffe in den keimenden Pflanzen steht und an sich zur Vollwertigkeit des Gesamteiweißes des Weizen- und Roggenkornes für die Pflanze notwendig ist.

Mit der Natur von Drüsenzellen verträgt sich auch ein gewisser Reichtum an Nukleinverbindungen, wie er für das Kleberzelleneiweiß mehrfach behauptet worden ist. Es wäre sehr zweckmäßig, wenn man es entsprechend anders benennen wollte, um der Verwechslung aus dem Wege zu gehen, vielleicht kann man es Kleieeiweiß nennen, um so seinem Vorkommen gerecht zu werden.

Der Zerfall des Kleieeiweißes erfolgt nach einer privaten Mitteilung von Haberlandt erst zu einer Zeit, wo die Pflanze einer weiteren Nahrungszufuhr von präformiertem Eiweiß oder deren Spaltprodukten nicht mehr bedarf.

Nach den üblichen Angaben ist man der Anschauung, daß die Kleie reich an Salzen ist, weil das stärker ausgemahlene Mehl reicher an Asche ist. Mehle enthalten lufttrocken

Marke 0	0.31	Prozent	Asche ²
„ 1	0.36	„	„
„ 4	0.58	„	„
„ 6	0.98	„	„
„ 8	2.24	„	„

¹ Ber. d. deutschen Botan. Gesellschaft. 1890. Bd. VIII.

² Vedrödi, Zeitschr. f. angew. Chemie. 1893. Heft 12.

Plagge und Lebbin geben für Handelskleie 4.46 Prozent Asche. Man nimmt an, daß diese Salze zum Aufbau der Zellmembran gehören.

Diese Aschebestandteile sind bei den Pflanzen aber nicht notwendig, um harte Gebilde zu erzeugen. Viele sehr harte Produkte enthalten ungemein wenig Asche, wie ich bei Haselnußschalen, Dattelnkernen, Kaffeebohnen gezeigt habe, auch die Zellulose selbst ist nach meinen Versuchen zur Erzielung von Härte nicht notwendig, dazu reichen die Hemizellulosen vollkommen aus. Man kann Zellulosefasern mit Erhaltung der natürlichen Struktur herstellen, mit verschwindendem Aschegehalt. Durch einfaches Auswaschen mit Wasser erhält man Kleie von 2.5 Prozent Aschegehalt. Die von mir auch aus Kot hergestellten Zellmembranen waren äußerst aschearm, obschon man mit der Masse von Zellmembranen im Kot die Ascheausscheidung sich stark mehren sieht. Nicht einmal die Kieselsäure in den Gräsern spielt eine wesentlich härtende Rolle in dem Aufbau.¹ Es ist daher wohl möglich, daß diese Salze, welche man in den Membranen findet, Verunreinigungen der kolloiden Massen der Zellmembranen sind², daß sie also zum eigentlichen und ersten Aufbau der keimenden Pflanzen gar nicht gehören. Der größere Reichtum an Aschebestandteilen in Mehlsorten mit Kleie erweist sich entweder in der Regel als für den Körper praktisch entbehrlich, da die Ascheausscheidung von Salzen im Kot allein meist ebensogroß ist wie die Einfuhr überhaupt. In kurz dauernden Versuchen läßt sich in dieser Hinsicht über den Aschestoffwechsel kein Entscheid bringen, daher soll diese Frage hier von der Besprechung ausscheiden, jedenfalls besagt der größere Aschereichtum gleichhaltiger Brotsorten nichts für die wirkliche Befriedigung des Bedürfnisses nach Salzen.

Versuche mit feinem Weizenmehl.

Die Verdaulichkeit der Mehle hängt eng mit deren Zellmembrangehalt zusammen, vorläufig habe ich Beispiele dafür schon gegeben. In einem selbst bereiteten Vollkornweizenmehl fand ich bis 11 Prozent Zellmembranen. Die einzelnen aus demselben Korn hergestellten Mehle werden sich recht wesentlich in ihrem Zellmembrangehalt unterscheiden, was man aber freilich nur höchst unsicher aus dem verschiedenen Rohfasergehalt wiedererkennen kann. Es finden sich in der älteren Literatur darüber Angaben, die den feinsten und mittleren Mehlen nur Spuren von Rohfaser zuschreiben. Ich selbst fand für ein Weizenmehl

¹ Ladenburg, Chemie. 1872. Bd. V. Lange, ebenda. 1878. Bd. XI.

² S. auch C. Schwalbe, Chemie der Zellulose. S. 35.

bei 30 Prozent Ausmahlung 0.2 Prozent Rohfaser¹
 „ 80 Prozent „ 0.43 Prozent „

und für das Vollmehl aus dekortiziertem Weizen 1.51 Prozent Rohfaser. Auch gibt es sogenannte Auszugsmehle, die noch vollkommener von allen Kleiebestandteilen befreit sind, als das eben angeführte von 30 Prozent Ausmahlung. Analysen darüber scheinen bezüglich des Zellulosegehalts nicht vorzuliegen. Es kommt aber wesentlich auf die Art des Mühlenbetriebes an; auf diese Unterschiede des Vermahlens mag kurz verwiesen sein. Gerade bei den minderen Mehlen kann die Menge der Kleiebestandteile viel größer sein, als das ganze Korn im Durchschnitt enthält, weil besonders bei der Hochmüllerei der Mehlkern für sich die feinsten Mehle liefert, die restierende Kleie sich auf den Rest des nach Absiebung der feinsten Sorte Mehl zurückbleibenden Anteils verteilt.²

Zweifellos kommen aber große Unterschiede bei den Handelsmehlen vor, weil das Korn an sich schon erhebliche Schwankungen auch der Mittelzahlen für die Rohfaser zeigt, bei König, Bd. I, S. 461, liefert Winterweizen (bei 13.37 Prozent Wasser) 2.31 Prozent Rohfaser und Sommerweizen 1.81, im einzelnen sind die Unterschiede aber weit größer (bis 5 Prozent Rohfaser). Große Körner haben weniger, kleine mehr an Rohfaser.

Wahrscheinlich fallen aber die Rohfaserbestimmungen je nach dem Grade der Vermahlung und der Feinheit der Zerkleinerung ungleich aus und die Formelemente können bei feinen und gröberen Mehlen nicht dieselben sein. Das wäre aber für die Verdauungsmöglichkeiten das Entscheidende, wie sich aus meinen anderweitigen Beobachtungen immer wieder gezeigt hat. Über das Verhältnis von Zellmembran aus dem Mehlkern und der Fruchtschale ist bisher nichts bekannt.

Einen gewissen Maßstab für den Zellmembrangehalt an Kleie gibt der Pentosengehalt; 45.87 Prozent der Pentosane sind beim Vollkorn in den Zellmembranen enthalten, und da die Zellmembranen 42.02 Prozent Pentosen enthalten, muß kleiearmes Mehl auch stets pentosanarm sein. Feines Weizenmehl enthielt nur 4.68 Prozent Pentosan³ und nur mehr 11.2 Prozent der Rohfaser, die im Vollkornmehl enthalten sind.

Ein Versuch mit Brot aus Mehl von 30 Prozent Ausmahlung, den ich 1882 ausgeführt habe, ergab bei reiner Brotkost bei 613.3 g aschefreier

¹ Allerdings muß man damit rechnen, daß hier feinst zermahlene Material vorliegt, wodurch die Löslichkeit bei der Rohfaserbestimmung auch wächst.

² Erfahrungen an Berliner Kriegsbrotten haben es wahrscheinlich gemacht, daß man von dem Mehl in den Bäckereien feinere Anteile absiebt hat.

³ Roggenmehl von 65 Prozent Ausmahlung, 4.0 Prozent Pentosan.

Trockensubstanz¹ pro Tag als Nahrung 22.4 organ. Kotbestandteile, letztere können hauptsächlich als Reste der Stoffwechselprodukte aufgefaßt werden. Denn im Kot war so gut wie nichts an Stärkemehl zu finden und der Gehalt an Zellmembran wird etwa 3 g pro Tag nach meinen Erfahrungen betragen haben. Der Verlust an Rohfaser, den ich in meiner Publikation nicht mitgeteilt habe, aber jetzt ergänzen will, war nur 47.1 Prozent.

In der Zeit, als die nachfolgenden Versuche von Dr. Kohlrusch ausgeführt werden sollten, war mir eine freie Wahl des Mehles nicht mehr möglich, ich erhielt aber durch die Z. E. G. die beste Sorte Weizenmehles, welche zu haben war; nach dem Pentosengehalt entsprach sie den zu stellenden Anforderungen, der Aschegehalt war höher, als er den besten Mehlsorten entspricht.

Das nähere Detail der Analysen ist aus dem Nachfolgenden zu ersehen:

Aus 1500 g Mehl wurde mit 85 g Hefe und 50 g Salz Brot gebacken = 3 Laibe mit 2314 g Gewicht, wovon 2154 g Brot in 3 Tagen verzehrt wurden = 1396 g Mehl, im ganzen = 465.4 g pro Tag. Die Versuchsperson K. wog rund 63 Kilo ohne Kleider.

Das Mehl hatte lufttrocken folgende Zusammensetzung:

	für 100 Teile	465.4 g pro Tag
Trockensubstanz	90.15	419.5
Asche	0.45	2.1 (ohne Kochsalz)
Organisches	89.70	417.4
Gesamtpentosen	3.69 = 3.36 Pentosan	16.2 = 15.2 Pentosan
Im Brot ² best.	Zellmembran	2.66 mit 0.19 „ 13.4 mit 0.88 „
	Zellulose	1.24 5.8
	Restsubstanz,	
Lignine usw.	1.23	5.7
N	1.87 = 11.72 Rohprotein	8.7 = 54.4 Rohprot.
Fett	1.12	5.2
kg-cal.	392.2	1825.2

Das Brot hatte 57.93 Prozent Trockensubstanz und in 100 Teilen der letzteren

Asche	1.01 (bzw. Kochsalz)
Organisches	98.9
N	2.15 = 13.42
Fett	0.79
Kalorien	437.2

¹ Bei 0.37 Prozent Asche der Trockensubstanz.

² Eine Rohfaserbestimmung wurde nicht ausgeführt.

Auffallend ist hier die Zusammensetzung der Zellmembran, sie entspricht nicht der Kleie, 100 g enthielten:

Zellulose	42.1
Pentosan	7.5
Lignine usw.	50.4

Der Pentosengehalt ist außerordentlich gering, der Zellulosegehalt höher als der der Kleie, man muß also annehmen, daß bei der feinen Ausmahlung andere zellulosehaltige Teile erscheinen als dann, wenn die äußere Schale sich reichlicher beimengt, was möglich erscheint.

In der Tat war die Menge der sichtbaren Kleieteile außerordentlich gering gegenüber einem weißen, mehr flockigen Material. Diese Zellmembran ähnelt in ihrer Zusammensetzung fast ganz der Zellmembran der Kartoffel (ohne Schale), hier wie dort handelt es sich um die Scheidewände der mit Stärke gefüllten Zellen. Diese Zellmembran des Mehlkernes haben also nichts mit der Frucht und Samenhaut, die sonst vorherrscht, zu tun.

Die Ausscheidungen betragen 188.2 g frisch = 54.8 tr. Kot = 18.3 g pro Tag.

In 100 Teilen Kot sind:	In 18.3 g Kot:
Asche 17.5	3.2
Organisches 82.5	15.0
Gesamtpentosen . . . 5.86 = 5.19 Pentosan	1.07 = 0.96 Pentosan
Zellmembran 16.68 mit 2.1 g „	3.05 mit 0.38 „
Zellulose 6.96	1.27
Rest 7.72	1.4
N 5.83	1.07
Fett 13.85	2.42
Kalorien 450.6	82.4

Was zunächst auffällt, ist die außerordentlich gute Ausnützung, die man ohne weiteres erkennt, auch ohne in eine genauere Rechnung einzugehen. Als was ist diese Kotmenge anzusehen, als Stoffwechselrest oder als Nahrungsrest? Jedenfalls ist der letztere hier ganz verschwindend klein.

Von dem Stoffwechselrest ist bisher wenig bekannt geworden, es wird notwendig sein, hierauf einzugehen. Über einige Beobachtungen am Hunde bzw. Tieren mag folgendes aus meinen früheren Versuchen mitgeteilt sein. Der Kot frei von Nahrungsresten, wie er z. B. bei Hunger oder Fleischfütterung auftritt, ist ganz Stoffwechselprodukt.

Für den Hungerkot habe ich beobachtet, daß er mit der Eiweißzersetzung des Tieres im Zusammenhang steht.¹ Ebenso habe ich für die Fleisch-

¹ Rubner, *Gesetze des Energieverbrauchs*. 1902. S. 30.

fütterung gezeigt, daß bei Unterschieden des Umsatzes um das Zehnfache auch die Kotmenge um das gleiche Verhältnis schwankt. Bei einem Umsatz von 3937 Fleischkalorien waren die Kotkalorien 93.1, bei 403 Fleischkalorien 11.5 (a. a. O. S. 31), im Mittel 2.5 Prozent Verlust an Kalorien. Bei den kleinen Nahrungsmengen etwas mehr, weil ja auch die Verdauungssäfte z. B. auch die Galleausscheidung vom Stoffumsatz abhängig sind. Für den Menschen könnten zwei meiner Versuche herangezogen werden; in analoger Weise berechnet, zeigt sich, daß die Kalorienmenge des Kotes rund 4.7 Prozent der Zufuhr ausmacht, d. h. etwas mehr als für den Hund berechnet wurde, während die N-Ausnützung für Mensch und Hund übereinstimmt. Die Menge des beim hungernden Menschen ausgeschiedenen trockenen Kotes betrug

bei Cetti	3.8 g pro Tag
bei Breithaupt	2.00 „ „ „ mit 0.316—0.133 g N.

Für die vegetabilische Kost besitzen wir bisher keine sicheren Unterlagen für die Frage, wie groß die Stoffwechselprodukte sein mögen. Der Versuch, welchen ich zu diesem Zwecke beim Menschen mit N-freier Kost angestellt habe, gab für 600 g Stärke und Zucker (außerdem 157.8 g Fett) 23.1 g organische Kotsubstanz, was einem Verlust von 3.85 Prozent gleichkäme, dieser Wert ist aber offenbar nicht ein Ausdruck der geringsten Leistung des Darmes. Der vorliegende Brotversuch läßt die Menge der Kotstoffwechselprodukte offenbar als viel geringer bemessen.

Die Menge des im Kote ausgeschiedenen Organischen beträgt hier 15.0 g pro Tag, davon kommen 3.05 Zellmembran und 0.6 Pentosan zum Abzug, so daß 11.4 g, die als Stoffwechselprodukte betrachtet werden können¹, übrig bleiben. Die N-Ausfuhr betrug nur 1.07 g pro Tag. Man könnte annehmen, daß dies nur noch Stoffwechselprodukte waren, weil ich bei reichlicher N-freier vegetabilischer Ernährung etwa noch 1.3 g N in dem Kote gefunden habe, allein etwas an N-Substanz ist sicher doch noch mit der Zellmembran, die noch N enthielt, verloren gegangen.

Im Verhältnis zur Zufuhr war die Menge von organischen Bestandteilen im Kot — ausschließlich der Zellmembran usw., — sehr gering = 2.46 g pro 100 Teile organischer Trockensubstanz der Zufuhr, bei einem Versuch mit 613.3 g Brot (30 Prozent Ausmahlung) hatte ich früher 22.6 g organische Bestandteile am Kot gefunden und wenn man die Verluste an Zellmembran und Pentosan für diesen Versuch proportional dem vorigen Versuch schätzt, so kommen 5.5 g zum Abzug = 17.1 g organisch = 2.78 g für 100 g trockne

¹ Von kleinen Mengen Bakterien abgesehen.

Zufuhr, was für verschiedene Versuchspersonen genügend nahe übereinstimmt.

Einen ähnlichen niederen Wert fand ich, allerdings ohne daß es möglich wäre die Zellmembran zu berechnen, bei Kartoffel bei 516 g Trockensubstanz als Zufuhr, nämlich 3.2 pro 100 Teile Nahrung (16.99 g organische Kotmenge pro Tag).

Es scheint aber sicher zu stehen, daß man bei reiner Brotkost noch wesentlich weniger an Stoffwechselprodukten im Kote finden kann. Thomas hat in seinen Arbeiten über die biologische Wertigkeit einen 6 Tage währenden Versuch mit feinstem Weizenmehl (Marke 00), das wir damals hatten erhalten können, als reinen Brotversuch ausgeführt. Der Versuch ist vom Standpunkte der Ausnützung durch Thomas nicht betrachtet worden, weil dies außerhalb der gestellten Fragen lag. Ich lasse daher die Originalzahlen in anderer Gruppierung hier folgen.

Thomas. Brotversuch II. (Biol. Wertigkeit S. 283.)

5121 g lufttrockenes Mehl = 4439 g trocken	mit 93.05 g N und 59.9 g Fett
(Weizen 00)	(86.68 Proz.) (1.82 Proz.) (1.17 Proz.)
88.3 g Hefe = 33 g trocken	mit 2.08 g N
	(26.1 Proz.) (2.36 Proz.)
99 g Kochsalz = 99 g trocken.	
<hr/>	
7402 g Brot	= 4561 g trocken = 95.9 g N

davon

Einnahme in 6 Tagen	pro Tag	Kot	pro Tag	Proz. Verlust
Brot frisch 5458 g	909.5			
Trockensubstanz 3691 g	615.0	71.4	11.9	1.93
N 70.1 g	13.35	4.86	0.81	6.3
Ätherextrakt 44.2 g	7.4	13.6	2.25	30.7
Asche 161 g	27.0	25.5	4.3	15.8
Organische Substanz 3530 g	588.3	45.9	7.65	1.3
Kalorien 13743	2290	372.3	62.05	2.7

	Gesamt-N	Harnstoff N	Harnsäure N	NH ₃ -N
Harn N am 5. Tag	13.48	11.42 (84.7 %)	0.150 (1.12 %)	0.61 (4.5 %)
6. „	12.61	10.09 (80.1 %)	0.153 (1.21 %)	0.68 (5.4 %)
8. „	15.12	13.00 (86.0 %)		

Die organische Substanz zeigt in dem ersten Versuch, wie man sieht, nur einen Verlust von 1.3 Prozent. Versuchsfehler der Abgrenzung liegen natürlich nicht vor, weitere Abzüge für Zellmembran fallen auch weg und doch ist das Resultat nur die Hälfte etwa des sonstigen Verlustes bei bester Ausnützung. Ein ähnliches Ergebnis hatte ein zweiter Versuch von Thomas, der aber nur 3 Tage dauerte.

Einnahme für 3 Tage:

1057 g lufttrockenes Mehl mit 916 g Trockensubstanz und 19.20 g N	
326 g Rohrzucker	326 g „
48 g Stärke	48 g „
531 g Butter	?

Kot 18.3 g mit 1.11 g N; N-Verlust = 6 Prozent, pro Tag 6.1 g Kot mit 0.37 g N.

Berechnet man den Versuch auf Stärke und Mehl = 964 g Trockensubstanz, so ist der Verlust nur 1.9 Prozent, auf Trockensubstanz gerechnet. Aschebestimmungen liegen nicht vor. Die Tagesration war hier nur 321 g (von Zucker und Butter abgesehen), die tägliche N-Menge im Kot 0.37 g. Das Resultat stimmt also mit dem vorigen Versuch ausreichend überein.

Was die beiden Versuche bemerkenswert macht, ist der geringe N-Verlust, in beiden Fällen 6.3—6.0 Prozent, derartiges ist bisher nie beobachtet worden, es kann sich also nur um ein Mehl gehandelt haben, das fast kein Kleieeiweiß enthielt und eben aus dem Mehlkern des Kornes bestand. Die gute Auflösung der Stärke ist für Weizenmehl öfter schon erwähnt worden.

Es ist bekannt, daß unter den verschiedenen Stärkesorten die Weizenstärke am leichtesten durch Fermente angegriffen wird. Eine interessante Bestätigung hierfür ist ein mikroskopischer Befund von J. Möller.¹ Er fand Cerealienstärke vollkommen aufgelöst, Kartoffel und Leguminosenstärke daneben aber frei im Kot.

Bei mehr kleiehaltigem Mehl wird man im Kot Reste von Stärke nie vermissen. Die Versuche lagen bei Thomas in einer längeren Reihe vegetabilischer Kost mit sehr geringer N-Zufuhr und abfallendem Körpergewicht bei sozusagen fettfreier Kost (7.4 g Fettzufuhr pro Tag). Der Eiweißumsatz war geringer und damit auch jene Menge von Stoffwechselprodukten, welche, von dem Umsatz herrührend, im Kote entleert werden, sehr klein. Zur Aufnahme leicht verdaulicher Stärke gehört also ein außerordentlich kleines Maß von Stoffwechselprodukten.

Der Unterschied in der Ausscheidung von Kotbestandteilen stimmt unter sich bei Kohlrausch und Thomas besser überein, wenn man die Kalorienwerte zugrunde legt, es wird dort der Verlust in dem

Versuch von Thomas	2.70 Prozent der Zufuhr
bei Kohlrausch	3.70 „ „ „
während bei Fleisch als Stoff-	
wechselprodukt beim Hund	2.5 „
beim Menschen	4.7 „

berechnet worden sind.

¹ Zeitschr. f. Biol. 1897. Bd. XXXV. S. 308.

Die Werte liegen alle, wenn sie auch prozentisch nicht unerheblich abweichen, doch so nahe, daß man sie bei den vielen Nebenumständen (Individualität, Bakteriengehalt des Kotes, Einfluß des Eiweißumsatzes usw.) vorläufig als genügende Annäherung für Stärke und Eiweißzufuhr wird betrachten können.

Jedenfalls ist bei dem feinsten Weizenmehl die Menge der Stoffwechselprodukte sehr gering.

Wie groß die Menge der als Stoffwechselprodukte vorhandenen Kalorien in dem vorliegenden Versuch von Kohlrausch war, ergibt sich wie folgt:

Im Tag ausgeschieden	82.4 Kal.
davon ab 3.05 g Zellmembran à 4.2 Kal. =	12.6
0.56 Pentosan (frei) à 3.9 „ =	2.2
11.4 g liefern	67.6 Kal. pro Tag

Demnach würden diese Stoffwechselgemische nahe an 6 Kal. pro 1 g liefern, was recht gut mit meinen anderweitigen Beobachtungen übereinstimmt.

Es ist von großem Interesse, die Resorption der Pentosen und der Zellmembranen und ihrer Bestandteile kennen zu lernen; es ergibt sich als Verlust für 100 Teile

für die Gesamtpentosen	6.60
„ „ Zellmembran	24.6
„ „ Zellulose	21.9
„ „ Restsubstanz	24.5
„ „ Pentosen der Zellmembran	43.2
„ „ freien Pentosen	4.1
Von den Kalorien gingen im allgemeinen zu Verlust	4.51 Prozent
von der organischen Substanz	3.58 „
von N	12.3 „

Darin sind aber die Stoffwechselprodukte mit inbegriffen. Von der organischen Substanz kann man mit Bestimmtheit nur die Zellmembran als Verlust bezeichnen, der N geht über die Grenzen des sonstigen N-Verlustes an Stoffwechselprodukten (die allerdings für diese Versuchspersonen sonst nicht bekannt sind) kaum hinaus. Fällt also die Kleie bei der Vermahlung völlig weg, so haben wir bei dem Weizenmehl eine ebenso völlige Ausnützung der Nahrung wie bei den Animalien, nur etwa beim N-Verlust bleibt ein geringes Mehr in den Ausscheidungen nach Genuß feinsten Weizenbrot.

Alle sonstigen außergewöhnlichen großen Verluste, wie wir sie bei anderen Broten sehen, sind die Wirkung der beigefügten Kleie.

Vollkornmehl aus Weizen.

Zum Vergleich mit dem feinsten Weizenmehl sollte ein Versuch mit Vollkornmehl dienen. Was man Vollkornmehl heißt, sind ganz verschiedene Produkte. Das wahre Vollkornmehl entsteht durch Vermahlung des ganzen Kornes, wie es ausgedroschen wird. Dann enthält es alle Teile, die ihm von Natur zugehören. So verfahren vielleicht viele Flachmühlen alten Systems in Norddeutschland zur Herstellung von Mehlen für den Lokalgebrauch, darüber hinaus und in den Handel kommt wohl wenig von dieser Art von Mehlen, auch wird es hauptsächlich Roggenmehl sein, das so verarbeitet wird.

Was sonst an Vollkornmehlen geliefert wird, hat jedenfalls mehr oder minder gar keinen Anspruch darauf, wirklich alle Teile des Kornes in sich zu vereinigen, kontrollierbar sind diese Mahlverfahren nach der Richtung überhaupt nicht, ob sie mehr oder weniger Kleie bei der Dekortizierung abscheiden. Die einzigen brauchbaren Versuche dieser Art rühren von Plagge und Lebbin her, da sie auf die Meh Zubereitung die nötige Aufsicht haben üben können. Der Angabe der Fabrikanten braucht man kein zu weitgehendes Vertrauen entgegenzubringen, da sie meist selbst ihr Verfahren nicht so genau kennen, als daß sie für wissenschaftliche Erwägungen eine sichere Unterlage geben können.

Zumeist sind aber die jetzt im Handel vorkommenden Vollkornmehle Mehle aus dekortiziertem Korn. Während noch in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts die Technik der Dekortikation noch recht mangelhaft war, sind die Methoden jetzt gut durchgebildet. Die Dekortikation, welche die Fruchtschale und die Bärchen usw. wegnimmt, macht eine gewaltige Veränderung des Mehles, das dadurch nur rund die Hälfte an Schalentteilen enthält, als solches aus ungeschältem Korn. Vollmehl aus dekortiziertem Getreide wäre der richtige Ausdruck für die meisten derartigen Mehlartern. Dieser Unterschied wird leider bei Benennung der zu Versuchen dienenden Brotsorten nicht immer gemacht, wodurch viel Unklarheiten in den Resultaten hervorgerufen worden sind. Zu den nachstehenden Versuchen konnte ich nicht mehr frei bezogenes Mehl verwenden. Es wurde ein mir bis dahin unbekanntes Präparat Karamehl¹ durch die Z.E.G. vermittelt, ein schönes weißes Mehl, das ersichtlich Kleiebestandteile enthielt, wenn schon diese recht gut vermahlen waren. Obwohl mir nicht bekannt ist, aus welchen Sorten Weizen es hergestellt wurde, läßt sich wohl nicht bestreiten, daß es ein Vollkornmehl aus dekortiziertem Weizen war. Es war viel pentosereicher als das erste Mehl und, wie man später aus den Zahlen ersieht, relativ arm an Zellulose und mäßig reich an Zellmembran.

¹ Ich erfahre nachträglich, daß es sich um ein Mehl der Firma Klopfer handelt.

Vollkornmehl lufttrocken.

	In 100 g	in 478 g Mehl p. Tag
Asche	1.40	6.69
Trockensubstanz	89.80	429.20
Organisches	88.40	422.5
Pentosen	7.03 = 6.20 Pentosan	29.63 Pentosan
Zellmembran	5.09 mit 2.41 g ,,	24.31 mit 11.51 P.
Zellulose	1.47	7.03
Restsubstanz	0.78	4.30
N	2.02 = 12.62 Rohprot.	9.65 = 60.2 Rohprot.
Fett	2.20	10.51
Kalorien	384.9	1830.0

Ausscheidung im Kot:

	in 100 Teilen trocken	in 44.1 g Kot trocken
Asche	16.00	7.06
Organisches	83.99	36.50
Pentosan	11.44 = 10.1 Pentosan	4.45 Pentosan
Zellmembran	29.29 = 10.01 Pentosan	12.90 mit 4.45 P.
Zellulose	15.57	6.86
Restsubstanz	3.71	1.63
Stärke	5.70	2.51
N	4.67	2.04
Fett	5.37	2.36
Kalorien	461.7	203.6

In 100 Teilen Zellmembran

	der Zufuhr	der Ausfuhr
Zellulose	29.47	53.16
Pentosan	47.33	34.18
Rest	23.20	12.66

Aus 1500 g Mehl mit 75 g Hefe und 35 g Salz wurden 4 Brote zu 500 g gebacken. 100 g Brot = 75 g Mehl. Verzehrt wurden 1912 g Brot in 3 Tagen = 1434 g Mehl = 478 g Mehl pro Tag. Das Brot hatte 61.75 Prozent Trockensubstanz und in 100 Teilen Trockensubstanz:

2.40 Asche
97.60 Organisch
2.36 N = 14.72 Protein
1.30 Fett
437.2 kg-cal.

Aus der Analyse geht klar hervor, daß die Kleie mit all ihren bekannten Eigenschaften die Zellmembran darstellt, es ist also hier ein ganz ausgeprägter Unterschied gegenüber dem feinen Weizenmehl vorhanden, wenig Zellulose, aber viel Pentosan. Die Ausnutzungsverhältnisse ergeben sich in Einnahme und Ausgabe unmittelbar verglichen wie folgt:

Verlust an Trockensubstanz	10.27
„ „ organ. Substanz	8.64
„ „ Kalorien	11.12
„ „ N	21.14

Das früher von mir untersuchte Vollkornbrot hatte ergeben:

Verlust an Trockensubstanz	12.2 Prozent
„ „ N	30.5 „

Vergleiche dieser Art sind aber ziemlich gewagt, da mir für das Karamehl die Art der Ausmahlung nicht bekannt war, dieser Punkt entscheidet aber in erster Linie; meiner Erinnerung nach enthielt das frühere Vollkornpräparat etwas gröbere Kleie.

Die Steigerung der Kotmenge gegenüber dem Brot aus feinstem Weizenmehl war hier bei dem Vollkornmehl sehr erheblich, dort 15.0 g organisch = 11.4 g zellmembran- und pentosanfreie Masse. Im vorliegenden Falle 36.6 g organischer Kot, wovon abgehen 12.90 g Zellmembran und 2.51 g Stärke, so daß 21.2 g hinterblieben, die im ganzen aus Stoffwechselprodukten (+ Bakterien) bestanden haben müssen = 5.01 Prozent Verlust auf die organische Substanz berechnet, gegenüber 2.46 Prozent bei dem Versuch mit feinem Weizenmehl. Besser vergleicht man die Kalorien der Zufuhr und Ausfuhr.

Im Kot wurden pro Tag ausgeschieden	203.6 Kal.
auf 12.9 Zellmembran treffen $12.9 \times 4.624 =$	59.6 Kal.
auf 2.51 g Stärke 2.51×4.1	10.3 „ 69.9 „
bleibt für Stoffwechselprodukte	133.7 Kal.

gegenüber 1830 Kal. der Zufuhr ist der Verlust aber = 7.30 Prozent. 1 g dieser „Stoffwechselprodukte“ hatte 6.13 Kal. an Brennwert, was ausgezeichnet mit den sonstigen Ergebnissen meiner früheren Untersuchungen über den Energiewert des Kotes übereinstimmt.

Im Versuch mit feinstem Weizenmehl waren nur 67.6 Kal. solchen Kotes erschienen. Von dem Gesamtverluste an Energie mit dem Kote sind hier 65.6 Prozent Stoffwechselprodukte (+ Bakterien) rund $\frac{2}{3}$ und $\frac{1}{3}$ also unresorbierte Bestandteile.

Die unverdaut ausgeschiedenen Teile erklären also hier nicht die Veränderung der Ausnützung, sondern es handelt sich ganz zweifellos um eine stärkere Anregung des Darmes und um die Bildung reichlicher Verdauungssäfte und ihres Rückstandes; diese Mischungen scheinen auch nach den bisher gemachten Erfahrungen nicht wesentlich verschieden zu sein, wenn es sich um die Resorption animaler oder vegetabilischer Produkte handelt. Die Art der Nahrung zeigt sich also von sehr erheblichem Einfluß. Man begreift, daß, wenn zur Resorption einer Substanz mehr Verdauungsvorgänge gehören, wie zu einer anderen, die Nahrung selbst nicht nur zur Quelle der Aschezufuhr wird, sondern zugleich zur Quelle des Ascheverlustes, denn alle diese Kotreste enthalten eine erhebliche Menge von Salzen. Was aber unter Umständen in der einen Richtung an Salzzufuhr vermehrend wirkt, vermehrt in anderer Richtung die Verluste, wahrscheinlich beruht auch hierauf die leicht zu belegende Tatsache, daß trotz der reichlichen Zufuhr von Kleie und der in ihr enthaltenen reichlichen Asche, die Verluste an Asche mit dem Kote gerade die Zufuhr decken oder diese überschreiten.

Die N-Ausscheidung im Kot betrug rund 2.04 g N pro Tag, sie bestand aus dem in Kleberzellen noch enthaltenen N und dem N der Verdauungsprodukte. In den Zellmembranen, d. h. ihren Kleberzellen, war pro Tag 1.15 g N enthalten. Es treffen also 0.89 g N auf Nicht-Kleberzellen-N. Es ist also der größte Teil des Kot-N auf unverdautes Kleberzelleneiweiß zurückzuführen.

Was die Verdaulichkeit der Pentosane und der Zellmembran anlangt, so ergibt sich als

	Verlust bei Karamehl		bei feinstem Mehl
an Gesamtpentosen	15.01 Prozent		6.6 Prozent
„ Zellmembran	53.04 „		24.6 „
„ Zellulose	97.58 „		21.9 „
„ Restsubstanzen, Lignine . . .	44.18 „		24.5 „
„ Pentosan aus Zellmembran . .	38.73 „		43.2 „
„ freies Pentosan	0 „		4.1 „

Die Pentosen, die nicht in der Zellmembran enthalten sind, werden vollkommen resorbiert, die Pentosen der Zellmembran mäßig gut, etwa wie in dem ersten Versuch mit feinem Mehl, die Zellmembran schwerer als im ersten Versuch, besonders schlecht wird die Zellulose angegriffen. Die Unterschiede sind so deutlich, daß auch hieraus sich ergibt, die Zellmembran des feinen Mehles ist bei gleichem Zellulosegehalt der Mehle verschieden von dem Vollkornbrot. Ich möchte aber noch betonen, daß zweifellos der Kleiezellmembran auch Membranen des Mehlkernes beigemischt gewesen sein

müssen, und da diese letzteren so sehr viel besser ausgenutzt werden, so ist ein Teil der zur Lösung gelangten Zellmembransubstanzen nicht der Kleie, sondern eben diesen anderen Membranen zuzuschreiben. Die Resorption der Kleie muß in Wirklichkeit, obschon sie von dekortiziertem Weizen stammte, noch geringer sein, als es hier den Anschein hat. Dann versteht man auch die mit weiterer Mehrung von Zellmembran der Außenschichten des Kornes zunehmende Verschlechterung der Ausnützung, die schon bisher in den Versuchen über dekortiziertes und nicht dekortiziertes Material angedeutet ist.

Eine weitgehende Verschiedenheit in der Verdaulichkeit der Kleiezellmembran zwischen Hund und Mensch besteht zwar nicht; doch erwies sich in diesem Falle die Auflösung der Zellmembran beim Menschen etwas ungünstiger als beim Hund. Es wurde gefunden:

	beim Menschen	beim Hund
an Zellmembran	53.04 Prozent	44.72 Prozent
„ Zellulose	97.58 „	70.04 „
„ Pentosan der Zellmembran . .	38.73 „	38.73 „

Bei sonst guter Resorption einer Brotsorte hängt der Nutzeffekt also wesentlich nur von der Art der Verdaulichkeit der Zellmembran ab.

Die Ausscheidung der Pentosane ist nur eine Funktion der unverdaulich bleibenden Reste der Zellmembran, besonders der kleiehaltigen Brotsorten, ich habe schon früher auf die Notwendigkeit der Unterscheidung in leicht und schwer resorbierbaren Pentosanen hingewiesen. Obige Versuche bestätigen eindeutig diese Anschauung.

Man hat zur Beurteilung, ob eine Brotsorte besser sei als die andere, auch die Vitaminlehre mit herangezogen, der bekannteste Versuch dieser Art ist die Fütterung von Tauben mit poliertem Reis, worauf nach einer Anzahl von Tagen eine Polyneuritis unter Zittern und Kraftlosigkeit auftritt und im weiteren Verlauf zum Tode führt, ein Analogon zur Beriberi-krankheit. Die Erscheinungen gehen zurück, wenn man Reiskleie füttert, auch Weizenkleie, Erbsen, Bohnen, selbst Preßhefe verhüten die Erscheinungen oder machen krankhafte Symptome rückgängig. Der Versuch verläuft so gleichartig, daß man an dem Resultat nicht zweifeln kann.

Die Lehre von den Vitaminen ist, wie man wohl jetzt sagen kann, allmählich auf eine Basis gestellt worden, die sie in Einklang mit unseren sonstigen Vorstellungen vom Wesen der Ernährung bringt. Röhmann hat in seiner kritischen Studie und eigenen Experimenten gezeigt, daß wir die Vitamine besser Ergänzungsstoffe nennen.¹ In manchen einseitigen

¹ *Über die künstliche Ernährung und Vitamine.* Berlin 1916.

Ernährungsformen fehlen bestimmte Teilstücke in den Eiweißkörpern, die für den Gesamtorganismus unentbehrlich sind. Der nötige Ergänzungsstoff läßt sich unter Umständen aus ganz verschiedenen anderen Nahrungsquellen beschaffen. So ist man der Meinung, daß den feinen Mehlen zur vollen Ernährungsfähigkeit etwas zugefügt werden muß, was in der Kleie sich findet. Störungen durch solches Brot könnten aber nur bei einseitiger ausschließlicher Ernährung zutage treten. Eine solche wird praktisch kaum je vorkommen, darin liegt eben der Wert der gemischten Kost, daß sie Eiweißstoffe aus den verschiedensten Quellen einzuführen erlaubt. Wenn man diese Frage auch für völlig spruchreif hält, so würde es sich darum handeln, welches Verhältnis zwischen Mehl und Kleie vorhanden sein müßte, um auch bei der einseitigen Broternährung auszureichen. Meine Untersuchungen haben gezeigt, daß wirklich solche Mehle vorkommen, welche so gut wie keine „Kleie“ enthalten, dafür die Zellmembranen des Mehlkernes. Aber die durchschnittlich gebrauchten Mehle enthalten reichlich an Kleie. Ob es daher notwendig ist, die ganze Menge ins Mehl einzuführen, erscheint fraglich, weil ja tatsächlich von den Kleberzellen so außerordentlich wenig resorbiert wird und jedenfalls bei mittlerem Zellmembrangehalt mehr als bei großen; die Erfahrungen auch der letzten Monate haben gezeigt, daß gerade bei den Vollkornbrotten die N-Verluste sich besonders hoch steigern und diese N-Verluste sind günstigenfalls nur gerade durch unresorbierte Membranen bedingt. 30—50 Prozent N-Verlust bei Vollkornbrotten sind nur möglich bei ausgedehnter unverdauter Zellmembran und weiteren Nahrungsstoffresten. In dieser Hinsicht bieten dann die mittleren Gehalte an Zellmembranen günstigere Bedingungen der Auflösung.

Die vorliegenden Versuche zeigen die Möglichkeit, zwischen Unverdaulichem und Stoffwechselprodukten quantitativ zu trennen, sie lassen in der Kleiezellmembran ein Objekt erkennen, das einen wesentlichen Einfluß auf die Mehrung von Stoffwechselprodukten hat. Ich werde Gelegenheit haben, bei den zahlreichen weiteren Veröffentlichungen auf diese Fragen zurückzukommen.

Die Verdaulichkeit von Spelzmehl beim Hunde.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Statt des Holz- und Strohmehl, die an sich außer der Zellmembran so gut wie keine Nährstoffe enthalten, ist man dazu übergegangen, anderweitiges Material zur Vermahlung zu suchen, das noch etwas besser verdauliche Bestandteile (freilich wohl mehr durch Zufall) einschließt und war so auf die Vermahlung der Spelzen gekommen. Es ist wohl anzunehmen, daß die Spelzen des Getreides an sich aus einer Zellmasse bestehen, welche eine große Ähnlichkeit mit der Zusammensetzung des Strohes haben werden. Die Spelzen, d. h. der Schälabfall des Spelzweizens, enthalten aber auch noch immer Reste des Getreides, einzelne Körner also beigemischt. Zwei Proben, die mir zur Verfügung standen, gaben beide sofort mit Jod eine ausgesprochene Stärkereaktion. Es wird sich aber nur fragen, ob diese Beimengungen quantitativ so beträchtlich sind, daß man sie vom Standpunkt der Nahrungsversorgung überhaupt in Betracht ziehen kann, oder ob das Spelzmehl im wesentlichen als eine Abart des Strohmehl zu betrachten ist. Nach der äußeren Beschaffenheit ist das Spelzmehl ein gelblich-weißes Pulver, das bei der einen Sorte die kleinen Teilchen mit bloßem Auge schwer unterscheiden ließ. Durch Absieben wird in der Technik auch noch ein etwas gröberes Material hergestellt, das etwa wie feinst zermahlene Kleie aussieht. Die Spelzmehle haben einen bitteren Geschmack und legen sich in unbequemer Weise beim Kauen zwischen die Zähne, sie werden durch die Einspeichelung nicht weicher.

Außer zu dem üblichen Streumehl, von dem schon oben beim Holzmehl die Rede war, soll es auch direkt als Zusatz zu Brot Verwendung finden.

a) Feines Spelzmehl.

Zum Versuch diente derselbe Hund wie in den früheren Versuchen, zu 1000 g Pferdefleisch pro Tag erhielt er 70 g lufttrockene Substanz. Der bittere Geschmack wird durch das Fleisch verdeckt.