

Hammel (Schluß).

Datum	Körpergewicht kg		Kot		Kot, gepulvert, z. Analyse	Bezeichnung	Wasser %	Asche %	Organ. Trocken- substanz %	N %	Pen- tosan %	Verteilung					
			frisch g	trocken g								g	g	g	g	g	g
9. VI.	39.20	600 g	130	40													
10.	39.30	600	140	55													
11.	40.00	600	167	70													
12.	39.50	600	170	67													
13.	39.50	600	220	100													
14.	39.50	600	130	55													
15.	38.40	600	120	55													
16.	38.00	600	110	50													
17.	38.00	600	210	130													
18.	38.00	600	160	70	1230	H 41	7.60	21.60	883.1	6.49	4.25			100		883.1	
19.	38.00	600	120	60													1122.8
20.	38.50	600	110	60													
21.	39.00	600 g K.-Flock., 15% Wasser	110	57													
22.	39.50	600	75	35													
23.	39.00	600	95	50													
24.	39.50	600	80	40													
25.	39.70	600	70	33													
26.	39.50	600	120	55													
27.	39.50	600	100	45													
28.	39.50	600 (+ Häcksel)	110	40													

Die Verdaulichkeit der Vegetabilien.

Von

Geheimrat Prof. Max Rubner.

übersteht.

Allgemeines über die Verdaulichkeit der Vegetabilien. — Die Mengen der Zellmembran. — Bestandteile der Zellmembran. — Die Resorption der Zellmembran und ihrer Bestandteile beim Hund. — Rückwirkung der Zellmembran auf die Bildung von Stoffwechsellprodukten. — Die Zellmembran und Zellulose bei der menschlichen Ernährung. — Die Pentosane in der menschlichen Kost. — Die Restsubstanz. — Die Resorption der Stärke. — Die Stoffwechsellprodukte bei verschiedener Ernährung. — Die Resorption des Eiweißes. — Die Nahrung und der Kot. — Physiologischer Nutzeffekt und Resorption der Zellmembran. — Grenzen der Aufnahmefähigkeit wichtiger Vegetabilien.

Allgemeines über die Verdaulichkeit der Vegetabilien.

Die physiologische Bedeutung einzelner Nahrungsmittel stellt für die Ernährung des Menschen ein sehr wichtiges, im einzelnen aber sehr schwer zu lösendes Problem dar, das nicht nur Bedeutung für den Stoffumsatz oder die diätetischen Wirkungen umfaßt, sondern auch in gesundheitlicher Hinsicht besitzt. Am besten sind wir noch über ganze Beköstigungsgewohnheiten einzelner Völker unterrichtet, aus deren Wohlergehen man auf die physiologische günstige Wirkung schließen kann.

Das führt allerdings nicht zur Lösung der Frage, wie sich einzelne Nahrungsmittel an sich verhalten, welche Gesundheitswerte sie beanspruchen oder welche Schädigungen sie bei dauerndem Genuß nach sich ziehen. Eine Dauernahrung mit einem Nahrungsmittel wird außerhalb der Säuglingszeit bei den meisten Kulturvölkern nicht angetroffen. Auch da, wo in freier Wahl eine rein vegetarische Kost gewählt wird, besteht die Kost aus mannigfaltig zusammengesetzten Speisen. Es gibt aber doch Beispiele für das Überwiegen eines Nahrungsmittels, besonders in den Ländern mit Reiskost; hier tritt besonders bei der niederen Bevölkerung dieses eine Nahrungsmittel alles beherrschend in den Vordergrund und wird für die gesamte gesunde Lebenshaltung von beherrschender Bedeutung.

Zu solchen Beobachtungen bietet unsere Kost keinen Anhalt, obschon man geglaubt hat, dem Brot in unserer Nahrung eine ähnliche Rolle zuschreiben zu müssen wie etwa dem Reis oder auch dem Mais bei anderen Völkern. Die Frage der Vitamine oder Ergänzungsstoffe ist auch für europäische Ernährung in Diskussion gestellt worden.

In die Gruppe dieser allgemeinen Eigenschaften gehört auch die Frage der biologischen Wertigkeit der Eiweißstoffe, auf die ich zuerst aufmerksam gemacht habe. Die Untersuchungen von Thomas haben diese bemerkenswerten Ungleichheiten einzelner Eiweißgruppen für eine Reihe von Nahrungsmitteln näher dargelegt; von Mendel und Osborne sind später die experimentellen Prüfungen der Eiweißstoffe auch hinsichtlich der Wachstumsförderung weiter ausgeführt worden. Die biologische Wertigkeit gibt also die Grundlage für die gesundheitliche Beurteilung mancher Nahrungskombinationen und erläutert sie; dadurch tritt diese Seite der Nahrungsmittellehre in näheren Zusammenhang mit der verschiedenen Konstitution des Eiweißes, welche durch die Forschungen Emil Fischers auf eine rationale Grundlage gestellt worden ist.

Eine zunächst empirische und praktisch medizinische Frage betrifft die Zulässigkeit der Speisekombination mit Rücksicht auf die Verdaulichkeit im Magen, welche sich als eine Folge der Reize auf die Verdauung auffassen und wohl näher erklären lassen wird. Hiermit hängt auch die Wirkung der Gennmittel in den Nahrungsmitteln zusammen, die Schmackhaftigkeit, appetitreizende und appetitähmende, deren Gesetze und innere Zusammenhänge mit der Konstitution der wirksamen Verbindungen wir noch nicht kennen. Auch die Grenzwerte für die Höchstmenge der aufzunehmenden Nahrungsmittel sind solche allgemeinen Eigenschaften; hierfür liegen eine Reihe von Beobachtungen vor, die ich schon früher gemacht, in den nachfolgenden Versuchen aber erweitert habe. Außer dieser allgemeinen Lehre von der spezifischen Eigentümlichkeit der Nahrungsmittel haben wir der Nahrungsversorgung vom Standpunkt des Stoff- und Kraftwechsels näherzutreten. Damit gelangen wir zu den Begriffen des physiologischen Nutzeffektes, den ich zuerst aufgestellt und in einzelnen wichtigen Beispielen erörtert habe.¹ Er stellt dar, welche Summe von Spannkraften ein bestimmtes Nahrungsmittel zu liefern imstande ist, wobei sowohl die Verluste an Energie im Harn wie im Kot zusammengefaßt werden. Für den Menschen zeigt sich im allgemeinen die Beschaffung hochwertig verwertbarer Nahrungsmittel als die Regel und Grundlage der Ernährung.

¹ *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XLII. S. 261.

Die Feststellung des physiologischen Nutzeffektes hat zur Voraussetzung die Kenntnis des Verlustes, welcher eintritt, wenn ein Nahrungsmittel durch den Darmkanal hindurchtritt. Als Maßgabe besteht hier der Vergleich der Nahrungsaufnahme und der Verlust durch die festen Ausscheidungen. Man hat das kurzweg die Ausnutzung genannt, nachdem sich dieses Wort völlig eingebürgert hat, empfindet es sich, auch daran nicht weiter zu rütteln. Die Bedeutung der Ausnutzung ist aber auch heute noch nicht über die medizinisch-physiologischen Kreise hinaus bekannt geworden, wie das in der Kriegszeit sich wieder gezeigt hat, indem man immer wieder, selbst in einigen Kreisen der Nahrungsmittelchemiker, bei der Beurteilung der Nahrungsmittel und namentlich von Surrogaten auf das direkte Resultat, der Analysen Wert legte und so die umfangreiche populäre Literatur über Nahrungsmittel, welche sich so unendlich breitgemacht hatte und in amtlichen Kreisen vielfach als maßgebend angesehen wurde, gestützt hat.

Die Ausnutzung ist aber als ein wichtiger Faktor zur Beurteilung des Wertes eines Nahrungsmittels seit Ende der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts in die physiologischen Betrachtungen erst hineingetragen worden. (gelegentliche Beobachtungen über die ungleichen Kohnmengen beim Pflanzenfresser und Fleischfresser und bei letzterem bei wechselndem Ernährungsvermögen haben den Gedanken reifen lassen, die Menge der Ausscheidungen bei verschiedener Ernährung festzustellen. Den eigentlichen Anstoß aber gab die Erweiterung der Ernährungsphysiologie zur praktischen Ernährungslehre. Außer den einer beschränkten Fragestellung dienenden Versuchen von G. Meyer waren meine Untersuchungen die ersten, welche die Ausnutzungsfrage allgemeiner behandelt haben und aus verschiedenen Gruppen von Nahrungsmitteln einige Beispiele zur Prüfung heranzogen.

In der Tat gibt kaum eine physiologische Funktion so außerordentlich große Varianten wie diese Ausnutzung. Es hat auch für praktische Fragen Eindruck gemacht, als man zeigen konnte, wie ganz ungleich der Effekt zwischen anscheinend gleichwertigen Ernährungsformen werden kann, wenn sie aus ungleich gut resorbierbaren Nahrungsmitteln bestehen, wofür sich aus dem Gefängnisleben interessante Fälle ergeben hatten. Hier trat das praktische Bilanzproblem in den Vordergrund, mit wenig Nahrung den tunlichst besten Effekt der Ernährung zu erzielen, aber auch ein rein diätetisches Problem, solche Nahrungsmittel, welche eine sehr reichliche Kotbildung schaffen, in der Nahrung zurücktreten zu lassen.

Auch nationalökonomische Gesichtspunkte verlangen die Kenntnis der Ausnutzung, weil auf diesem Wege sehr erhebliche Ersparungen von Auf-

wendungen errungen werden können, wie ich zuerst eingehend an einem Beispiel der Klieverwertung beim Menschen dargestellt habe.

Zum erstemal wurde durch meine Untersuchungen der erhebliche Unterschied zwischen der Resorption pflanzlicher und tierischer Nahrungsmittel im allgemeinen, besonders aber für die N-haltigen Bestandteile klargestellt. Die Ausnützung, wie sie die Versuchsergebnisse direkt ergeben, lassen sich als Unterlage für die verschiedenen Ernährungsbedürfnisse bei wechselnder Ernährung ansehen. Darüber hinaus aber drängen sich die tiefer liegenden Probleme der Resorption und ihrer biologischen Gründe auf. Auf diese habe ich zum Teil schon in meinen ersten Publikationen hingewiesen, ohne daß diese Gesichtspunkte irgendwie in der Literatur berücksichtigt worden waren. Vor einiger Zeit hat sogar Hindbede gewagt, unter Verschweigung der tatsächlichen Verhältnisse mir die Unterlassung der für die Eiweißresorption maßgebenden Gesichtspunkte vorzuwerfen. Mit Bezug auf die N-Ausnützung bei pflanzlichen Nahrungsmitteln habe ich darauf hingewiesen, daß dabei zwei Faktoren zusammenwirken, ein wirklicher Verlust von Unverdaulichem und dann der von Stoffwechselprodukten, habe dargestellt, wie die pflanzlichen Eiweißstoffe nicht in dem Maße ungünstig resorbierbar sind, wie der N-Verlust der Einnahme und Ausfuhr anscheinend vermuten läßt.

Ich habe an dem Beispiel von Brotversuchen dargestellt, welche große Bedeutung die pflanzlichen Zellen als Träger für Nährstoffe durch ihre schwere Löslichkeit im Darm haben können. Auch manches über den Eiweißbedarf bei verschiedener Kost liegt in diesen Experimenten begründet, nur war damals die Ernährungslehre nicht so weit entwickelt, um solchen Einzelbefunden eine größere Tragweite zu geben.

Es waren damit einige Richtlinien gegeben, welche zur Deutung der unmittelbar gewonnenen Resultate nach den wirkenden Ursachen verwendet werden konnten, und jedenfalls für die Bewertung der pflanzlichen Eiweißstoffe im speziellen eine Grundlage für das Verständnis ihrer manchmal außergewöhnlich ungünstigen Resorption bieten konnte. Man ist aber in der Folgezeit mehr bei den praktischen Bedürfnissen stehen geblieben und hat um ihrerwillen die Ausnützung für viele Nahrungsmittel untersucht, besonders häufig die Zeremonien, d. h. das Brot, mit dessen technischer Verbesserung man sich viel beschäftigte. Freilich nicht alles experimentelle Material ist einwandfrei nach Methode und Ergebnis; namentlich unter dem in der Sammelliteratur Angeführten wäre manches auszuschneiden.

Wenn man das Gesamtergebnat zusammenfaßt, so kann man sagen, die tierischen Nahrungsmittel haben eine sehr gute Ausnützung gezeigt; auch einige Vegetabilien sind nach dem Zahlenergebnis allein beurteilt,

ebenso resorbierbar wie einige Animalien — feine Mehle, Kartoffel (schalefrei), Reis, feiner Mais gehören hierher —, während alle größeren Mehle große Verdauungsverluste geben.

Jedenfalls war jetzt mit einer älteren Methode der Verdaulichkeitsbestimmung, die viel Urfug in der Literatur hervorgerufen hat, gebrochen worden — mit der Verdaulichkeitsbestimmung im Reagensglas mittels Pepsin-Salzsäure — als Maß der Gesamtverdaulichkeit der Eiweißstoffe.

Aus den Ergebnissen über die Verdaulichkeit nach Ausnützungsversuchen beurteilt, haben sich viele auch für die ärztliche Praxis verwertbare Ergebnisse gewinnen lassen, merkwürdigerweise ist aber nur sehr beschränkt davon Anwendung gemacht worden.

In der ärztlichen Stufenleiter schwer und leicht verdaulichere Nahrungsmittel ist die Ausnützung überhaupt meist nicht als wesentlicher Faktor mit enthalten, sondern überwiegend nur die von der Verdaulichkeit trennbaren Eigenschaften der Ertragsbarkeit, ein Ausdruck, der sich allerdings in die ärztliche Nomenklatur nicht eingebürgert hat, die fühlbaren Vorgänge der Verdauung umfaßt, meist nur die Erscheinungen, die vom Magen ausgelöst wurden, und die weiteren wie Gefühle aus dem Darm (Blähungen, Kollern im Leibe usw.), während die Art des Kotes, wässrige oder trockenere Beschaffenheit, starke Säuerung usw., weniger beachtet sind. Und doch wäre es gut, wenn man sich entschließen könnte, wirklich diese einzelnen verschiedenen Vorgänge schon in der Ausdrucksweise auseinander zu halten, da sie doch einmal nicht ursächlich zusammenhängen, denn es gibt viele Dinge, die unter dem Gesichtspunkte der Ertragsbarkeit sehr unbedeuten sind, aber trotzdem ihre Ernährungsfunktionen sehr gut erfüllen, wenn sie die Schwellle des Pylorus überschritten haben.

Den Untersuchungen über die Ausnützung hat man später vielleicht auch deshalb weniger Interesse zugewandt, weil durch König die Ergebnisse der Ausnützungsversuche für die Berechnung der „verdaulichen“ Nährstoffe benutzt wurden und jetzt sich als allgemeine Konstante eingebürgert haben, ein Verfahren, das ich persönlich stets vermieden habe, weil in der Form, wie es angewandt worden ist, die Ergebnisse nicht ohne Bedenken verwendbar sind.

Mit der einfachen Konstatierung des Bilanzproblems, daß nämlich für die Aufnahme einer bestimmten Menge von Kalorien eine gewisse Zahl von Kalorien durch den Darm verloren geht, ist sicherlich die Bedeutung dieses ganzen Resorptionsvorganges für die Ernährung nicht abgeschlossen, weil man sich bei einseitiger Ernährung doch fragen müßte, ob das, was der Körper durch die Verdauung stofflich gewinnt, völlig gleichwertig zur dauernden Gesunderhaltung ist, für das, was er

durch die Verdauungsprodukte verliert. Diese wichtige Frage, welche sich sowohl auf organische wie anorganische Nährstoffe beziehen kann, soll hier nur angedeutet sein, denn sie ist wichtig und bedarf anderweitiger Nachprüfung, da wir bisher einseitige Ernährungsformen als praktische Vorkommnisse kaum ins Auge zu fassen brauchten. Es wäre immerhin denkbar, und einige Erfahrungen aus der Kriegszeit mit der Kohlrübenkost könnten Anlaß geben, auch diese Seite des Problems, so schwierig es ist, in Zukunft etwas nachzuprüfen, zumal diese Ernährungsperiode sich außerordentlich verhängnisvoll erwiesen hat.

Die zahlreichen Versuche, welche ich in den letzten drei Jahren aus praktischen Gründen der Volksernährung über so verschiedenartige Nahrungsmittel angestellt und mitgeteilt habe, sind nicht nur von praktischem Interesse, sondern sie gestatten auch, durch das umfangreiche Material eine Reihe von Prinzipienfragen der Verdauung zu lösen. Da es aber einem Fernerstehenden nicht leicht sein wird, aus den Einzelergebnissen sich ein solches Gesamturteil zu bilden, so halte ich es für zweckmäßiger und nötig, selbst die wesentlichen allgemeinen Ergebnisse mitzuteilen, die weit über das hinausreichen, was wir bisher von der Gruppe pflanzlicher Nahrungsmittel gewußt haben. Wenn ich dabei nicht alle Fragen, die noch naheliegen, behandeln kann, so geschieht das zum Teil in der Absicht, später vielleicht noch ergänzende Versuche zu liefern, welche jetzt aus Mangel an freier Beweglichkeit nicht ausführen sind; die Wahl des Materials liegt ja nicht in meiner Hand, sondern fußt auf den Bedürfnissen des Tages.

Nimmt man mit den älteren von mir ausgeführten Versuchen die neuen Versuche zusammen, so sind wir in der Lage, über die ganze Gruppe der Zerealien ein Urteil zu fällen; besondere Fragen sind bereits bei den einzelnen Abschnitten behandelt, da auch der Mais und der Reis untersucht worden ist; die Versuche an Erbsen sind durch eine Reihe weiterer Experimente über verwandte Erbsen ausgebreitet worden. Außer der Kartoffel sind Repräsentanten der Wurzel- und Blattgemüse und die wesentlichen Typen des Obstes genauer experimentell untersucht worden. Diese Untersuchungen haben sich nicht nur auf die bisher üblichen Feststellungen, sondern darüber hinaus auf Bestandteile erstreckt, welche bisher ganz unvollkommen oder gar nicht erforscht worden waren. Eine große Zahl von Nahrungsmitteln habe ich nach gleichen Gesichtspunkten wenigstens der Analyse unterzogen und so es ermöglicht, sich ein annäherndes Bild ihres Nährwertes zu machen. Meine Feststellungen der Ausnützung scheiden zum erstemal genauer zwischen Verlust an Unverdaulichem und Stoffwechselprodukten.

Der Verlust bei der Ausnützung wird für die praktische Ernährung gewöhnlich unmittelbar nach den analytischen Ergebnissen der Ein- und Ausfuhr dargestellt. Diese Form der Darstellung ist berechtigt, weil sie für die Nahrungsversorgung die Hinweise gibt, in welchem Maße das einzelne Nahrungsmittel den Aufgaben der Ernährung gerecht wird. Die abgekürzte Form der Darstellung nimmt meist nur Rücksicht auf den Verlust an N und den an Kalorien. Die übrigen Autoren rechnen meist noch statt den Kalorien den Verlust an Trockensubstanz oder organischer Substanz, was bei dem großen Unterschied der Verbrennungswärme des Kotes natürlich recht ungenau ist. Für die unmittelbare Berechnung des Verlustes bei der Ausrechnung der Ausnützungsverluste hat Hindbode den ganz irreführenden Ausdruck „scheinbarer Verlust“ eingeführt wollen. Dagegen habe ich schon Stellung genommen.¹ Es gibt keine scheinbaren Verluste, der N-Verlust, der Kalorienverlust, der Zellmembranverlust, der Pentosanverlust, der Stärkerverlust — sie alle sind sehr realer Art.

Bei dem N-Verlust kann man natürlich fragen, ob er sich auf Eiweiß oder Stoffwechsel-N bezieht, das habe ich schon im Jahre 1879², also vor fast 40 Jahren auseinandergesetzt. Nur war man experimentell nicht in der Lage, in jedem Einzelfall der Untersuchung eines Nahrungsmittels anzugeben, wieviel Unverdauliches und wieviel Stoffwechsel-N seien, was jetzt aber mit einiger Sicherheit sich trennen läßt. Die gleichen Gesichtspunkte gelten für die Fettersorption³; das Kottrott ist fast durchaus aus Stoffwechselprodukten und vor allem aus dem Gärungsprozeß entstanden. Die Berechnung der Verluste an Kohlehydraten hatte ich in meinen ersten Veröffentlichungen so angegeben, wie damals die Aufrechnung der Nahrungsmittel ausgeführt wurde und wie man auch sonst die Auscheidungen zu berechnen pflegt. Methoden zu einer besseren Scheidung gab es nicht. In einer der nächsten Abhandlungen komme ich auf diese Fragen besonders zurück. Die alte Kohlehydratberechnung muß man fallen lassen, seitdem ich für die Koralanalysen neue Wege zur Feststellung einzelner Kohlehydratgruppen angegeben habe.

Für die meisten einfachen Stoffwechselbilanzen kommt man in der Beurteilung der Nahrungsmittel vorläufig mit den Angaben des N-Verlustes und der Kalorien aus. Die Ascheverluste geben im allgemeinen wenig sichere Anhaltspunkte; sie sind nur kurz nebenbei erwähnt. Näheres ist in der vorhergehenden Publikation gesagt. Um einen allgemeinen Über-

¹ Dies *Archiv.* 1917, Physiol. Abtlg., S. 312.

² *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XV, 1879, S. 115.

³ *Ebenfalls.* Bd. XV, S. 190.

blick über das untersuchte Material an Vegetabilien zu geben, sei nachstehend die Generaltabelle aufgeführt.¹

Nahrung	Verlust in Prozenten			Zusammensetzung für 100 Teile Trochensubstanz		
	Kal.	N	Asche	Kal.	N	Asche
1. *Reines Weizenmehl	4.39	18.7	77.8	428.2	1.63	0.51
2. Desgleichen	4.51	12.3	152.8	435.2	2.09	0.50
3. *Weizen 30prozentiger Ausmahlung	4.59	20.7	100	428.2	1.67	0.37
4. *Geschälter Reis	5.57	20.4	85	428.2	1.54	0.77
5. *Kartoffeln	5.60	15.3	10.0	401.8	1.41	4.60
6. *Reines Weizenmehl	6.11	25.7	179.8	428.2	1.63	0.51
7. *Weizen 70prozentiger Ausmahlung	7.69	24.6	136.8	428.2	2.18	0.48
8. *Mais	8.28	15.5	228.1	428.2	1.73	0.55
9. Gerste	9.53	31.5	22.3	446.1	1.67	0.85
10. Roggen 65prozentiger Ausmahlung	9.80	37.8	51.6	414.4	1.03	0.85
11. Desgleichen mit 20 Proz. Kartoffel	9.80	42.5	53.1	418.1	1.03	1.31
12. Weizen 80prozentiger Ausmahlung	11.12	21.14	105.9	426.6	2.25	1.36
13. Äpfel	11.6	131.6	80.7	408.8	0.46	1.10
14. Roggen 72prozentiger Ausmahlung	11.7	39.7	55.3	412.1	1.28	2.39
15. Mohrrüben	12.7	38.9	35.4	360.9	1.51	4.92
16. Roggen 82prozentiger Ausmahlung	13.5	40.3	48.6	432.8	1.61	2.08
17. *Weizen 95prozentiger Ausmahlung	13.96	30.47	97.7	428.2	2.04	1.40
18. Roggen 95prozentiger Ausmahlung	14.8	35.1	42.9	413.3	1.56	2.06
19. Roggen 82prozentiger Ausmahlung mit Kartoffel	17.5	47.6	35.2	402.0	1.47	2.24
20. Roggen ²	17.66	32.0	478.9	428.2	1.74	2.58
21. Kohlrüben	21.8	65.1	50.1	409.5	1.36	5.16
22. Wirsing	29.7	25.3	36.2	352.9	5.76	11.25
23. Erdbeeren	32.8	91.3	47.7	379.5	1.29	4.94

Meine älteren Versuche habe ich, weil sie sich zum Teil einwandfrei in die kalorimetrische Angabe umrechnen lassen, mit in der vorstehenden Tabelle verwendet, sie decken sich sehr gut mit den neueren Publikationen. Günstige Ausnutzungswerte ergeben sich für alle Zerealien nur dann, wenn die Schalen bei der Vermahlung beseitigt werden. Das steht absolut sicher. Bei Betrachtung der Tabelle halte man sich für eine allgemeine Gruppierung an das Weizenmehl, das ja nach dem Ausmahlungsgrad an verschiedenen Stellen der Tabelle erscheint. Heute kennt auch ein großer Teil der Bevölkerung bereits den Ausmahlungsgrad in seinen Wirkungen am eigenen Leibe.

Die Äpfel stehen in der Ausnutzung nach dem Brot von 80 Prozent

¹ Die mit einem Stern bezeichneten Versuche sind früher publiziert. Für obige Tabelle sind für die älteren Versuche die kalorimetrischen Zahlen berechnet. 1 g Organisch bei Zerealien = 428.2 Kal. nach zahlreichen Bestimmungen, 1 g Kot = 547.8. Bei der Asche ist die Kochsalzführung außer Betracht gelassen.

² Stark saures Schwarzbrot.

Ausmahlung; treten Kerne auf, wie in den Erdbeeren und anderen Beerenfrüchten, so verschlechtert dies die Ausnutzung und ebenso müssen sich die Steinzellen in den Birnen verhalten. Die Schalen sind stets Materialien, welche die Ausnutzung ungünstig beeinflussen.

Die allgemeine Beurteilung der Resultate ist einfach, wenn man sich vergegenwärtigt, daß man bei freier Wahl im Durchschnitt leicht eine Kost beschaffen kann, welche — dies bildet auch die Regel — nur etwa 8 Prozent Kalorienverlust bedingt. Daraus folgt, daß andere Kombinationen unzuweckmäßig sind, weil sie unnötige Verluste mit dem Kote erzeugen, Nahrungsmittel verschwenden und Dünger produzieren, der bei den Städten auf dem Wege der Kanalisation durchweg verloren geht. Die Zerealien in der Kost überwiegend würden diese rationelle Grenze der Kottbildung überschreiten und erlauben uns nur im Zusammenhang mit anderen Nahrungsmitteln die Grenze mittlerer Verdauung innezuhalten.

Die Verluste mancher Nahrungsmittel sind enorm, schon bei Vollkornweizen 14 Prozent, bei Vollkornroggen 14.8 Prozent, oft verschlechtert durch Kartoffelzusatz auf 17.5 Prozent, durch saure Beschaffenheit des Brotes auf 17.7 Prozent. Noch größer sind die Verluste, auch unter günstigsten Umständen, bei Kohlrüben, dem Wirsing, den Erdbeeren; die Analogien für andere Nahrungsmittel kann man sich leicht denken; dabei sind hier immer noch die zweckmäßigen Verwendungen der Nahrung gewählt worden. Besondere bemerkenswerte Folgerungen ergeben sich für die Bedeutung der Gemüse, was mit Rücksicht auf die Kohlrübenperiode des vergangenen Jahres besonders bemerkenswert ist. Wenn man bei Kohlrüben aus 100 Teilen im Einkauf nur 71.2 eßbare Teile gewinnt und von diesen wieder nur 78.2 Prozent verdaulich sind, so hinterbleiben von der Handelsware überhaupt nur 55.7 Prozent Verdauliches und für den Wirsing bei 69.2 Prozent genießbaren Teilen nur 48.6 Teile Verdauliches. Man sieht, mit welchen immensen Verlusten auf dem Gebiete der Wurzel- und Blattgemüse gearbeitet wird, um Nahrungsmittel zu schaffen. Man sollte in der rationalen Volkswirtschaft auch diese Seite der Produktionsfrage nicht aus dem Auge lassen. Demgegenüber sind die Verluste bei der Ausmahlung des Getreides noch sehr gering zu nennen. Der natürliche Verderb der Waren ist dabei noch nicht in Rechnung gezogen.

Außerordentlich groß sind die Schwankungen in der N-Ausscheidung im Kot. Wenn man bedenkt, daß das Optimum bei der Fleischresorption mit nur 2.5 Prozent N-Verlust erreicht werden kann, steigt die N-Ausscheidung zum Teil so hoch, daß noch nicht einmal die Zufuhr gedeckt wird, wie z. B. bei den Äpfeln; bei der Erdbeere erscheinen 91.3 Prozent

der Zufuhr an N allein im Kot; bei den Kohlrüben mit 65 Prozent Verlust wird der höchste Wert unter den Gemüsen erreicht.

Interessant ist die Rückwirkung der Kartoffelzugabe zur N-Ausnutzung aus dem Roggenmehl. Während man a priori meinen könnte, die Kartoffelzugabe vermindere den N-Verlust, weil Kartoffeln, für sich verzehrt, weniger Verlust an N haben als Roggenmehl mittlerer und höherer Ausmahlung, ergibt sich im Experiment das Gegenteil: der N-Verlust steigt im „Kartoffelbrot“ bei 82 Prozent Ausmahlung des Roggens von 40.3 auf 47.6 Prozent der Zufuhr. Auch die vielfach behauptete Annahme, mit abnehmender Ausmahlung steige die Ascheresorption und deshalb sei überhaupt die höhere Ausmahlung vorteilhaft zu nennen, bestätigt sich nicht. Das sehen wir aus den Zahlen über die Ausnutzung des Weizens.¹

Die vorliegenden Zahlen geben, was beachtet werden muß, nicht Durchschnittszahlen für eine Bevölkerng, sondern optimale Werte für gesunde und kräftige Männer, anfangs der 20er Jahre oder etwa bis Mitte der 30er Jahre, mit tadellosen Zähnen. Es ist daher nicht anzunehmen, daß alte Personen mit diesen Durchschnittswerten rechnen dürfen. Bis jetzt sind Versuche dieser Art an Frauen überhaupt nicht angestellt, aus naheliegenden technischen Schwierigkeiten, ebensowenig an alten Personen. Bei Kindern von 6 bis 6 $\frac{1}{2}$ Monaten habe ich für ein zweifellos sonst leicht aufnehmbares Gemüse, den Spinat, nachweisen können, daß in diesem Alter die Resorption noch ganz unvollkommen ist. Außer den Gesunden kämen natürlich, wenn man von einer Ernährung der Bevölkerung reden will, noch die Urzahl von Personen in Betracht, die erfahrungsgemäß eine „größere“ Kost nicht vertragen, wenn man von den eigentlichen Kranken auch ganz absehen will.

Alle diese Bedenken gelten natürlich nicht für alle angeführten Nahrungsmittel, sondern nur für einige unter ihnen, und wahrscheinlich werden die durchschnittlichen Ergebnisse um so mehr bei denen eine Verschlechterung erfahren, welche schon in der Saftleiter, wie wir sie in der Verdaulichkeit bei gesunden Männern sehen, keine günstige Stellung einnehmen. Von alten Leuten wissen wir aus der praktischen Nahrungswahl, daß hier leicht resorbierbare Nahrungsmittel bevorzugt werden und bevorzugt werden müssen. Eine zwangsweise Beköstigung mit schlecht verdanlichem Material wird entweder zur Folge haben, daß solche Nahrung überhaupt nicht oder nur beschränkt aufgenommen wird oder mit weit größeren Verlusten gerechnet werden muß wie im kräftigen

Mannesalter. Vor allem versagt im Alter leicht die quantitative Seite der Ernährung.

Im besonderen muß ich weiter betonen, daß auch alle unzweckmäßigen Zubereitungsformen vermieden worden sind und Nahrungsmittel mit außergewöhnlich schwer verdaulichen Beimengungen überhaupt beiseite gelassen werden. Ich denke da an den Genuß der Beerentrüchte oder an die Gewohnheit, die Leguminosen mit der Schale zu verzehren u. dgl. Über letztere habe ich orientierende Versuche am Hunde ausgeführt, um an Material zu sparen. Die Verluste können selbst bei sonst gut verdaulichem Material bis 40 Prozent und mehr erreichen und dann auch die leicht resorbierbaren Stoffe in den Verlust hineinreißen.

Mit diesen allgemeinen Ergebnissen ist nur eine Seite der uns interessierenden Probleme erfaßt; es ist unsere Aufgabe jetzt, im einzelnen nachzuprüfen, wie die Ausnutzung verläuft, auf welche besonderen Gründe die Verschiedenheiten zurückzuführen sind; dadurch gelangen wir dann zur Möglichkeit, das Wesen dieser Vorgänge zu verstehen und die prinzipiellen Fragen zu erfassen. Diese zunächst rein physiologischen Prozesse können, wie ich zeigen werde, aufgeklärt und dadurch für eine generelle Beurteilung ein festes Fundament geschaffen werden, das bislang fehlte.

Bei dem gleichen Grade der Unverdaulichkeit können die Gründe für diese sehr wechselnde sein.

Die Menge der Zellmembran.

I.

Vor nicht allzu langer Zeit waren die Vorgänge, die sich bei der Verdauung der pflanzlichen Nahrungsmittel abspielen, nur zu einem kleinen Teil bekannt. Noch am meisten hatte man sich früher für die Brofrage interessiert; die übrigen pflanzlichen Nahrungsmittel blieben, wenn man von einigen Experimenten, die ich an Gemüsen angestellt hatte, absieht, ziemlich unbeachtet. Alles das änderte sich mit einem Schlage; auf der Suche nach Nahrungsmitteln in der Kriegszeit kamen Gemüse und auch Obst mehr in den Vordergrund. Dabei stellt es sich heraus, daß man ihnen im allgemeinen ein sehr unbedeutendes Interesse in analytischer Hinsicht entgegengebracht hatte.

Nirgendwo ist der Schematismus der Analyse ausgeprägter entgegengetreten wie bei dieser Gruppe von Nahrungsmitteln; daß die übliche Aufrechnung auf N-haltige Stoffe der Tatsache nicht entspricht, wußte man schon lange, ohne daß man die nötigen Konsequenzen daraus gezogen hat. Besonders einseitige Ernährung kam in Friedenszeiten nur

¹ Vgl. *dieses Archiv*. Physiol. Abtlg. 1917. S. 354.

bei Sonderlingen in Betracht, deshalb ging man auch Untersuchungen auf diesem Gebiete etwas aus dem Wege; aber sie trat jetzt häufiger in die Erscheinung und forderte zur Nachprüfung und zum Studium auf. Wer in Friedenszeiten sich mit der Kombination der Ernährung mit den Nahrungsmitteln der Kriegszeit beschäftigt hätte, wäre gewiß als ein Forscher auf recht ausgefallenen Gebiete betrachtet worden. Dinge, die schon aus diätetischen oder Geschmacksgründen nicht in einer Speiseordnung untergebracht zu werden pflegen, mußten jetzt bisweilen über Schwierigkeiten hinweghelfen. Noch weiter empfand man die Notwendigkeit von Untersuchungen durch die unzähligen Empfehlungen von Surrogaten. Was ist nicht alles von pflanzlichem Unkraut und von Pflanzen überhaupt empfohlen worden, oft Dinge, deren Zusammensetzung noch nie untersucht worden war, und solche, von denen nicht einmal irgend eine Erfahrung über die gesundheitliche Bedeutung vorlag. Der größte Teil dieser Dinge hat auch nie in der Kriegszeit irgend eine quantitative Bedeutung erlangt, dagegen wurden die Behörden mit Empfehlungen überschüttet und damit auch die Sachverständigen vor immer neue Aufgaben und Untersuchungen gestellt.

Von den Bestandteilen der Pflanze war es die Rohfaser, welche namentlich in der Tierernährung eine erhebliche Rolle gespielt hat; Materialien, welche viel Rohfaser einschlossen, zeigten sich auch bei den Tieren nur bedingt als Nährstoffe, jedenfalls als solche, deren Löslichkeit beim Durchtritt durch den Darm der Wiederkäuer nur einen gewissen Prozentsatz erreichte, nie aber vollkommen war. Die Rohfaser schied sich in ihrer Verdaulichkeit wesentlich von den anderen Stoffen der Kohlehydratgruppe, vor allem der Stärke. Bei den Organismen mit einfach gebautem Darm wie auch bei den Menschen lehrt die natürliche Erfahrung der Nahrungswahl, daß sie die stark rohfaserhaltige Nahrung überhaupt vermeiden. Beim Menschen tritt die Nahrungswahl besonders in den Vordergrund; der Kulturmensch hat der Kochkunst und den tausendjährigen Erfahrungen und Traditionen gemäß gewisse Gewohnheiten nicht nur in der Wahl, sondern auch in der Zubereitung seiner Nahrung errungen, die in dem Bestreben bestehen, härtere Teile in der Nahrung zu vermeiden und von dem Verzehr abzuseiden. Man heißt solche verhärteten Teile auch verholztes Gewebe, weil sie in ihrer Festigkeit und Härte holzartigen Charakter annehmen und der Zerkleinerung mit den Zähnen widerstehen. Wenn das holzartige Gefüge vorwiegt, tritt der Nährstoffwert also entsprechend zurück.

Das Nahrungsmittel wird auch bei der fabrikmäßigen Zubereitung von der Rohfaser zum Teil befreit. Um die Rohfaserabscheidung dreht

sich im wesentlichen die moderne Mühle; beim Mehl und Brot hat man auch quantitativ gesehen, daß die Menge der Rohfaser oder, wie man nach den Fabrikationsprodukten sich ausdrückt, die Kleie, einen Faktor für den Verdaulichkeitsgrad darstellt.

11.

Die Rohfaserbestimmung geht bis in die ersten methodischen Untersuchungen der Tierernährung zurück, sie basiert auf dem in dem Weender Laboratorium zuerst ausgearbeiteten Verfahren. Man faßt die Rohfaser als den Bestandteil der pflanzlichen Zellmembran auf, der der Pflanze ihre Festigkeit und Widerstandskraft und Härte geben kann, und benannte sie zuerst auch kurzweg „Zellulose“, Zellulose sollte die Grundsubstanz der Zellmembran darstellen. Viele Jahrzehnte blieb man bei dieser Anschauung, bis man allmählich in Erfahrung brachte, daß die Rohfaser keine reine Zellulose ist, sondern ein Gemenge verschiedener Stoffe darstellt. Man ist aber doch immer wieder dabei geblieben, die Rohfaserbestimmung zu den unentbehrlichen Verfahren der Analysen pflanzlicher Gewebe zu rechnen. Mit der Zeit hat man noch eine Reihe anderer Stoffe als Teile der pflanzlichen Zellmembran angenommen, wie Hexosane verschiedener Art, auch Pentosane, Lignin, Suberin usw. Verschiedenheiten der Zellmembran werden namentlich von botanischer Seite immer mehr in den Vordergrund geschoben und aus der Entwicklung der Pflanzen und ihren mikroskopischen und mikrochemischen Verhältnissen erschlossen. Es wäre naheliegend, zu fragen, inwieweit die Rohfaser in zahlenmäßigen Beziehungen zu dem Zellmembranbau überhaupt steht. Erst in dem durch die Kriegslage hervorgerufenen Bedürfnisse, die pflanzlichen Nahrungsmittel genauer zu verfolgen, trat die Notwendigkeit hervor, den Zellmembranen als solchen näheres Interesse zuzuwenden. Lassen sich die Zellmembranen von den übrigen Pflanzenteilen trennen? Diese Aufgabe schien mir die nächstliegende zu sein, ich habe daher dieselbe mit den Mitteln zu lösen versucht, welche unter den gegebenen Umständen überhaupt anwendbar waren und die Analysen der Materialien durchzuführen erlaubten.

Über die Gesamtmenge der Zellmembran im Verhältnis zu den anderen Bestandteilen der Pflanze kann ich eine Reihe von Angaben machen, welche sich freilich nicht allgemein botanisch verwerten lassen, sondern mit Rücksicht auf die praktische Ernährung auf die zugerichteten, d. h. ausgeschuhtenen, eßbaren Teile beziehen. Ich war bei dem großen Umfange der Ernährungsmöglichkeiten auch nicht in der Lage, für jedes

Nahrungsmittel durch zahlreiche Untersuchungen Mittelwerte zu gewinnen, was über meine Kräfte und Zeit weit hinausgegangen wäre, doch drücken sich die wichtigsten Typen deutlich in den Zahlen aus.

A. Wurzelgewächse.

	In der Trocken-		In 100 Teilen Zellmembran		
	substanz	Prozent	Zellulose	Pentosan	Rest
1. Kartoffel (ohne Schale)	5.59	46.41	11.89	41.70	
2. Schwarzwurzel	12.52	47.03	24.15	28.82	
3. Kohlrüben	22.19	55.07	50.67	24.25	
4. Meerrettich	26.37	44.74	24.57	30.69	
5. Mohrrüben	26.51	44.04	23.88	32.08	
Mittel	—	47.72	23.32	28.96	

Der Gehalt steigt bei den untersuchten Wurzelgemüsen nicht höher als 26.51 Prozent der Trockensubstanz; die Kartoffel nimmt eine Ausnahmestellung ein. Ihre Zellen sind so reich mit Nährstoffen gefüllt, daß schon dadurch die Zellmembran relativ zurücktritt, doch handelt es sich dabei auch um einen anderen Bau der Zellmembran; wie man sieht, wenn man ihre prozentige Zusammensetzung betrachtet. Die Schwarzwurzel, von der äußeren verholzten Masse befreit, enthält relativ wenig Zellmembran, sie stände wohl den nachfolgenden Wurzelgewächsen nahe, wenn man auch die Außenhaut noch mitverzehren würde; bei der Kohlrübe war auch noch die derbere Außenschicht zu besichtigen; bei Meerrettich und gelben Rüben blieben die Wurzeln, wie sie waren. Sie geben also den Gehalt der natürlichen Substanz an Zellmembran an.

B. Anderweitige Gemüse.

	In der Trocken-		In 100 Teilen Zellmembran		
	substanz	Prozent	Zellulose	Pentosan	Rest
1. Brunnenkresse	13.53	41.95	15.49	42.56	
2. Spargel	21.32	45.73	16.54	37.73	
3. Gurke	22.79	(55.90)	(17.26)	(26.83)	
4. Spinat	23.07	43.27	21.66	34.87	
5. Wirtenkohl	25.86	40.22	26.71	33.07	
6. Rhabarberstengel	27.27	(55.44)	(14.50)	(30.05)	
7. Wirsing	29.01	42.94	21.92	35.14	
8. Kopfsalat	29.73	47.70	20.65	31.65	
9. Blumenkohl	32.61	43.79	22.11	34.10	
Mittel ²	—	43.58	20.71	35.71	

¹ Analyse 1917.

² Davon ausgenommen Nr. 3 und 6.

Die Blattgemüse enthalten im allgemeinen nicht weniger Zellmembran als die Wurzelgewächse, sondern zum Teil sogar noch mehr; das kann zunächst auffallend sein, weil doch zwischen Spinat und einer Kohlrübe, wie man meinen sollte, Unterschiede der Festigkeit und Zähigkeit bestehen. Der Kopfsalat enthält mehr Zellmembran als die Mohrrübe. Am ärmsten an Zellmembran war die Brunnenkresse, fast halb soviel wie enthaltend, als dem Mittel der übrigen Blattgemüse entspricht. Bei Spinat habe ich den Wurzelteil und die reinen Blätter getrennt untersucht und, auf organische Trockensubstanz umgerechnet, im Blatt 43.07, im Wurzelteil 40.01 Prozent Zellmembran gefunden. Vom Blumenkohl werden die fleischigen Stengel und die verwachsenen Blüten gegessen, der hohe Zellmembrangehalt wird wahrscheinlich auf Kosten der ersten zu setzen sein.

Die Zellmembran stellt also bei Wurzelgewächsen wie bei den anderen Gemüsen einen wesentlichen Zellbestandteil dar, der auch vom Ernährungspunkt aus außerordentlich in Betracht kommt; wie erwähnt, beträgt beim Spinat die Zellmembran bis 43.1 Prozent der organischen Bestandteile, bei Salat etwa 37.8 Prozent, bei Blumenkohl 35.5 Prozent; das sind etwa die höchsten Werte, welche von den Wurzelgewächsen nicht ganz erreicht werden, denn die zellmembranreichsten Mohrrüben haben nur 27.8 Prozent Zellmembran der organischen Substanz. Also ein sehr großer Teil mancher geschätzten Gemüse besteht zum großen Teil aus diesem besonderen Stoffgemenge. Die Zellmembran muß in Zukunft bei der Betrachtung dieser Nahrungsmittel als besondere Nahrungsstoffgruppe behandelt werden.

In der frischen Pflanze ist der Gehalt bei dem sehr wechselnden Wassergehalt natürlich recht verschieden. Ich will hier nur ein paar Beispiele geben. Er beträgt

bei Meerrettich	6.96 Prozent Zellmembran
Mohrrüben	2.83
„ Blumenkohl	3.39
„ Spinat	2.81
„ Brunnenkresse	1.50

Der Gehalt wird bedingt sein durch die Zellmembran der Zellen, in denen der Stoffwechsel abläuft, sie kann aber natürlich auch mehr als Stützgewebe und unter Umständen auch fast nur dieser Aufgabe allein dienen, wie das bei Stroh, Holz u. dgl. der Fall ist. Die zähe Beschaffenheit des Meerrettichs ist nach dem hohen Zellmembrangehalt verständlich, in anderen Fällen wird die Festigkeit der Frucht nur durch die äußere Hülle gegeben, wie bei der Gurke, während der mittlere Teil der

frischen Frucht an Zellmembran nur 0-84 Prozent enthält. Der stark wässrige Inhalt drückt den Zellmembrangehalt stark herab. Bei der im Wasser lebenden Kresse hält vielleicht der Umstand, daß sie weniger als eine frei auf dem Boden wachsenden Pflanze der Stütze und Festigkeit bedarf, den Zellmembrangehalt auf einem so niedrigen Wert, wie ihn die Analyse aufweist.

Obst.

Von Obst habe ich nur wenige Arten untersuchen können, da das, was von wissenschaftlichen Interesse war, nicht immer in ansehnlichen Mengen zu erhalten war, aber die volkstümlichsten Obstsorten finden sich darunter. Auch wird man für alle wesentlichen Typen ein Beispiel finden. Beseitigt wurde, was auch sonst beim Essen wegzufallen pflegt. Der Zellmembrangehalt ist hier nicht so gleichartig wie bei den bisher aufgeführten Vegetabilien.

Nachstehend finden sich die Resultate zusammengestellt.

	Zellmembran		In 100 Teilen Zellmembran	
	Prozent	Zellulose	Pentosan	Rest
Haselnußkern	6.38	31.55	27.88	40.57
Äpfel, feinste Sorte	7.91	54.36	7.68	37.96
„ mittlere Sorte	11.75	56.68	21.70	21.62
Kochäpfel	15.48	40.35	20.66	38.99
Äpfel, Mittel	—	50.46	16.68	32.86
„ Schalen	—	65.02	18.43	16.55
Kirschen	10.31	25.70	23.08	51.28
Erdbeeren	18.80	37.53	18.24	44.21
Birnen, feinste Sorte	19.22	35.33	32.68	31.99
„ billige Sorte	24.35	29.61	34.86	35.53
Mittel	—	32.47	33.77	33.76

Die geringste Menge von Zellmembran enthalten die Haselnüsse, sie war etwa so gering wie die der schalenfreien Kartoffel; sie können wohl als Typ für die übrigen Nüsse und nußartigen Nahrungsmittel gelten. Im weiteren fällt die große Verschiedenheit der Zellmembran je nach der Qualität einer Ware auf. So bei den Äpfeln; billige Kochäpfel enthalten fast doppelt so viel Zellmembran wie eine feinere Sorte. In manchen Fällen ist das Fruchtfleisch von besonderen typischen Elementen durchsetzt, wie dies die Steinzellen bei den Birnen sind. Diese oft steinharten Konkremente machen sich beim Essen recht fühlbar. Sie mehrten den Gehalt an Zellmembran und bedingen wesentliche Schwankungen, die übrigens auch für die eigentlichen Zellmembranen wie bei den Äpfeln

voraussetzen sind. Bei den Beerenfrüchten sind wir meist gezwungen, die oft zahlreichen Kerne mitzugemeßen; sie bedingen bei der Erdbeere eine starke Vermehrung der Zellmembran. Das Fruchtfleisch der Erdbeere würde ohne Kerne wohl dem Fruchtfleisch der Kirsche ähnlich sein; die Analyse bringt aber diese reine Fruchtfleischzusammensetzung nicht zum Ausdruck, weil bei den Kirschen auch die Haut noch mituntersucht wurde. Der Gehalt an Zellmembran ist je nach der Reife der Frucht oder je nach dem Nachreifen Schwankungen ausgesetzt, auf welche hier nur kurz hingewiesen werden kann. Die vorliegende Zusammenstellung gibt also nur ein ungefähres Bild, das natürlich bei ausgedehnten Untersuchungen sehr verschieden sich gestalten wird.

Bei dem vorliegenden Material fallen auch die Höchstwerte der Zellmembran noch unter die entsprechenden Werte für Wurzel- und Blattgemüse. Im frischen Zustande wird sich die Zellmembran der Früchte um 1 bis 2 Prozent herum bewegen, die Nüsse ausgenommen, die bei ihrer hohen Konzentration an Nährstoffen an 5 bis 6 Prozent Zellmembran enthalten dürften.

Die Körnerfrüchte.

Der Masse nach betrachtet, haben die Körnerfrüchte die größte Bedeutung unter den Vegetabilien, gemeinhin hat also der Zellmembrangehalt derselben das größte Interesse. Man spricht gewöhnlich kurzweg von dem verschiedenen „Kleiegehalt“ und versteht darunter die mehr oder minder fein zermahlene Bestandteile der Frucht und Samenschale. Feines Mehl enthält wenig, Vollkornmehl mehr Kleie. Kleie ist ein mehrdeutiges Wort, als Handelsware bedeutet es ein Gemenge von Mehl und Schalenresten, im wahren Sinne begriff man aber nur die letzteren darunter. Im folgenden wird die Kleie als das von sonstigen Stoffen beherrschte Material betrachtet, also als eine Zellmembran. Doch liegen die Verhältnisse nicht so einfach und schematisch, wie man bisher angenommen hat.

Bei der ersten Entwicklung der jungen Triebe der Körnerfrüchte werden Blattmassen erzeugt, die jedenfalls nur einen mäßigen Gehalt an Zellmembran (auf frische Substanz bezogen) enthalten dürfte. Ist aber die Frucht ausgebildet, so wird der Trieger, der Halm, ziemlich frei von Nährstoffen und besteht, wie die Analysen von Spelzen und Stroh erkennen lassen, zum größten Teil aus Zellmembran.

Getreide und seine Bestandteile.

In 100 Teilen Trockensubstanz	in 100 Teilen Zellmembran			
	Zellmembran Prozent	Zellulose	Pentosan	Rest
Weizen und Roggen im ganzen	8.11	27.77	38.70	33.53
Kleie allein	67.14	29.47	40.48	30.05
Reinstes Mehl	2.66	42.10	7.50	50.40
Roggenkeimling	7.98	32.22	32.02	28.76
Sterch.	77.32	46.81	28.90	24.29
Speizen.	65.64	48.39	36.70	15.90

Die Ernte ihrerseits läßt sich teilen in Keimling, Mehlkern und die deckende Membran. Die letztere enthält, wie aus der Beschaffenheit des feinsten Mehles sich ergibt, sehr wenig Zellmembran, die aber immer noch etwas durch Reste der Samen- und Fruchtant verunreinigt sein dürfte. Die Kleie, von Mehlbestandteilen befreit, besteht zu fast sieben Zehnteln aus Zellmembran; der Keimling enthält wenig Zellmembran, offenbar noch weniger, als meine Untersuchungen ergaben, weil ich kein Material, das ganz kleifrei war, erhalten konnte. Das Korn im ganzen wird je nach den verschiedenen Sorten der Ernte und je nach der Größe der Körner verschiedene Zellmembranamengen zeigen. Nach meinen Beobachtungen werden Werte zwischen 8 und 11 Prozent erhalten, wahrscheinlich kommen noch größere Extreme vor. Die Körnerfrüchte enthalten weit weniger Zellmembran als Wurzel- und Blattgemüse und meist weniger als die Obstsorten, aber mehr wie Kartoffeln.

Praktisch betrachtet, haben aber diese relativ geringeren Mengen Zellmembran eine weit größere Bedeutung als jene bei Obst und Gemüsen. 6 bis 7 Prozent Zellmembran kommen im frischen Brot etwa bei sogenanntem Vollkornbrot vor, das Minimum stellen feine Gebäcke dar bis etwa 1.5 Prozent Zellmembran und manchmal etwas weniger. Reis, Mais, Gerste, Hafer und Hülsenfrüchte verhalten sich je nach dem Verzehrungsgrad ähnlich wie Roggen und Weizen, wie sie hier als Beispiele zur Erläuterung gewählt sind.

Die Verholzung, wie sie bei unseren Waldbäumen erfolgt, führt teils zur Bildung von Kernholz neben Splintholz; manche Bäume enthalten nur Splint. Dieser letztere kann zeitweilig auch noch Nährstoffe führen. Als Analyse eines Splintholzes sei noch die Zusammensetzung des Birkenholzes angeführt:

	Zellmembran	Zellulose	Pentosan	Rest
Birkenholz	91.07	45.40	26.50	28.10

Bestandteile der Zellmembran.

III.

Die Zellmembranen, für sich isoliert, sind meist farblose, manchmal gelärbte (wie bei der Kleie, Hülsenfrüchte, Mais), lockere oder mehr bröckelige Substanzen. Letzteres nur bei künstlicher Zerkleinerung, wie es beim Vermahlen der Schalen der Fall ist. Sie sind niemals eine chemische Einheit, sondern stets Gemenge von oft vielleicht sehr vielen Substanzen. Vorläufig fehlen uns Methoden, sie in alle ihre Bestandteile zu zerlegen, wir müssen uns also bei ihrer Aufteilung nur mit Näherungswerten der Analysen genügen lassen, welche wenigstens einzelne Gruppen dieser Bestandteile erlassen. Ihre Trennung habe ich nach drei Gruppen von Substanzen durchgeführt, in Zellulose, Pentosane und in den Rest, der nach Abzug der beiden ersten Stoffe bleibt. Aus manchen biologischen Tatsachen kann man schließen, daß in der Gruppe der Zellulose möglicherweise feinere Unterschiede vorliegen, die chemisch nicht färbbar sind. Solche Unterschiede in biologischer Hinsicht werden wir zwischen den Gemüsezellulosen und Schalenzellulosen kennen lernen. Es gibt aber auch chemische Unterschiede, die sich biologisch nicht bemerkbar machen; Papierzellulose mit Oxyzellulose, mercerisierte Zellulose und reine Zellulose scheinen biologisch keine Unterschiede für die Auflösung zu bedeuten. Unsere Methoden erlauben also noch nicht, jene Scheidungen vorzunehmen, welche von vornherein ein Urteil über die biologische Bedeutung einer „Zellulose“ erlauben. Der Kolloidcharakter der Zellulose könnte wohl hierbei in Frage kommen.

Auch die Bestimmung der Pentosane ist vorläufig die Erfassung einer Substanzgruppe für die in Wasser unlöslichen färfärbenden Bestandteile der Zellmembran, die einzelnen Pentosane sind möglicherweise nicht alle biologisch gleichwertig. Ähnlich liegt es auch mit der biologischen Bedeutung der Restsubstanzen der Zellmembran; in diese Gruppe fallen Hexosane verschiedener Art, ferner die Ligningruppe. Selten werden wir es mit Korkeinstoffen in größeren Mengen zu tun haben, wo sie vorkommen, werden sie als Verunreinigungen der Zellulose erscheinen.

Die Zahlen über die Zusammensetzung der verschiedenen Zellmembranen sind schon angeführt. Im allgemeinen haben sich folgende Resultate ergeben:

Reine Zellmembran besteht nie aus einem der angeführten Bestandteile oder aus zweien, sondern stets aus den drei Komponenten. Die pflanzlichen Nahrungsmittel enthalten alle Pentosen oder Pentosane. Von diesen findet sich der manchmal stark überwiegende Teil in dem Pentosan

der Zellmembran. Der Pentosangehalt der Brotrüchte ist daher ein guter Maßstab für den Grad der Ausmahlung der betreffenden Produkte.

Wenn auch in den hier aufgeführten Nahrungsmitteln die Pentosane nie fehlen, so ist doch ihr Prozentgehalt in der Zellmembran den größten Schwankungen unterworfen. In einigen Fällen, die aber nicht eßbare Teile, wie Dattelkerne, Kaffeebohnen, betrafen, waren nur 3 Prozent Pentosane vorhanden, sie scheiden aber hier von der Betrachtung aus, denn sie repräsentieren nicht „eigentliche Zellmembran“, sondern verhärtete Reservestoffe, welche unter geeigneten Umständen in Lösung gehen. Unter dem Obst hatten namentlich feine Äpfel einen besonders niedrigen Pentosangehalt (7.68 Prozent). Auch bei der Kartoffel fand ich einmal nur 5.5 Prozent, allerdings in der an Membran reichen Pflanze, die mir aus der Großindustrie zugegangen war, erheblich mehr, so daß hier mit Schwankungen wohl gerechnet werden muß. Den höchsten Pentosangehalt ergeben die Zellmembranen des Getreides (40.5 Prozent), Zellulose und Restsubstanz zusammengenommen machen also stets die Hauptmasse der Zellmembran aus.

Ein bestimmtes Verhältnis zwischen Zellulose und Restsubstanz scheint nicht zu bestehen; berechnet man nach Abzug der Pentosane die Relation zwischen Zellulose und Restsubstanz, so erhält man nach den Werten für Zellulose geordnet folgende Reihen:

	Zellulose	Restsubstanz
Kirschen	32.9	67.1
Niisse	41.9	58.1
Feines Mehl	45.5	54.5
Kleie	49.5	50.5
Äpfel	50.8	49.2
Blattgenüße	55.0	45.0
Wurzelgenüße	62.2	37.8
Sterch	65.8	34.2
Speitze	76.5	23.4

Ein konstantes Verhältnis zwischen Zellulose und den Restsubstanzen besteht nicht. Die Grenzwerte sind für 1 Teil Zellulose = 2.04 Teile Restsubstanz bis 1 Teil Zellulose = 0.31 Teile Restsubstanz. Auch ein Zusammenhang dieser Relationen mit dem physiologischen Verhalten läßt sich nach dieser Reihenfolge nicht nachweisen, wie sich später zeigen wird.

Manche zu einer biologischen Gruppe gehörigen Nahrungsmittel zeigen oft eine weitgehende Übereinstimmung im prozentigen Bau ihrer Zellmembran. Für die Wurzelgenüße ist die Zusammensetzung so ähnlich, daß die Bildung eines Mittelwertes erlaubt sein wird. Sie enthalten im Mittel 47.72 Prozent Zellulose, 23.32 Prozent Pentosan und 28.96 Prozent Restsubstanz. Wesentlich verschieden zeigt sich die Kartoffel, indem sie

sehr pentosanarm ist. Auch die Blattgenüße schwanken, die Gurke und Rhabarber ausgenommen, nur wenig; das Mittel beträgt 43.58 Prozent Zellulose, 20.71 Prozent Pentosan und 35.71 Prozent Restsubstanz.

Bei den Früchten liegt die Sache völlig anders. Zunächst ist schon bekannt, daß die Früchte in den verschiedenen Stadien ihrer Reife Änderungen in der Rohfaser durchmachen. Die letztere nimmt beim Reifen ab. Auch die Qualität und Veredlung muß einen Einfluß ausüben; jedermann kennt den großen Unterschied in der Dürtheit zwischen einem Holzapfel und einer veredelten Sorte. Außerdem ist es bei manchen Obstsorten üblich, die äußeren Schalen mit zu verzehren, bei anderen nicht; bei Beerenerobst läßt sich meist die Kernmasse nicht gut beim Genuß abtrennen. Zu den besonders eigenartigen Bestandteilen der Birnen, die ihre Unterscheidung von den Äpfeln charakterisieren, gehören Konkremente, die man Steinzellen nennt. Wenn man, von praktischen Zielen geleitet, die Früchte so analysiert, wie sie im allgemeinen gegessen werden, und das war meine Aufgabe, so erhält man unter der Gruppe Zellmembran nicht diese allein, sondern auch noch in einzelnen Fällen die Oberhaut, wie bei den Kirschen, die Steinzellen bei den Birnen, die Kerne bei den Erdbeeren. Die Steinzellen sind sehr pentosanreich, die Kerne der Erdbeeren dagegen ärmer an Pentosan wie die übrigen Zellmembranen der Frucht. Die Kerne haben möglicherweise bei verschiedenen Früchten sehr verschiedene Zusammensetzung der „Zellmembran“, was selbstverständlich sein dürfte, da man bei den kleinen Kernen auch ihre harte Hülle mit zu analysieren gezwungen ist. Bei Kirschen, Pfirsichen, Aprikosen usw. liegt die wachstumsfähige Masse wie bei den Nüssen von den harten Schalen eingeschlossen, die nicht mit verzehrt werden. Die Beziehung zwischen der Zellmembran des Kernparenchyms und der harten Schale habe ich bei Haselnüssen festgestellt:

	Zellulose	Pentosan	Rest
Eßbarer Kern	31.55	34.72	33.72
Schale	36.52	29.88	33.60

Die Unterschiede sind nicht sehr erheblich und betreffen nur ein Überwiegen der Zellulose in der harten Schale. Ähnliches liegt bei der Kartoffel- und Apfelhaut im Verhältnis zur Parenchymzellmembran vor. Erdbeerkerne haben 14.6 Prozent Pentosan gegenüber 18.24 Prozent der ganzen Fruchtzellmembran, was gleichfalls auf ein Überwiegen der Zellulose hinweist.

Kerne können aber da, wo sie an Stelle von Fett besondere Reservestoffe enthalten, die mangels einer Schale durch Verhärtung vor der

Auflösung geschätzt sind, eine wesentlich andere, namentlich pentosan-ärmere Beschaffenheit annehmen. So enthalten in 100 Teilen Zellmembran:

	Zellulose	Pentosan	Restsubstanz
Dattkerne	71.73	2.85	25.42
Kaffeebohnen	45.15	6.59	48.26

Läßt man Bienen und Erdbeeren, weil hier Steinzellen und Kerne mit der Zellmembran vereinigt waren, beiseite, so zeigen sich immer noch bei dem spärlichen Material, welches untersucht werden konnte, erhebliche Unterschiede, die, wie die Äpfel dazwischen, von der Spezies und dem Reifungsgrad abhängen dürften. Aus den Haselnuß-, Äpfel- und Kirschenzahlen wäre das Mittel für 100 Teile Zellmembran:

Zellulose	Pentosan	Restsubstanz
35.88	22.55	41.57

von denen die Abweichungen erheblich sein können, im allgemeinen aber jedenfalls hohe Pentosanwerte nicht erreichen.

Weit typischere Verhältnisse liegen beim Getreide vor. Bei den Getreidearten Weizen und Roggen zeigt sich, daß die Pflanze in ihren verschiedenen Teilen, Halm, Spelzen, Korn und in diesen selbst, auch ziemlich verschieden gebaute Substanzen liegen. Die Art der Verrahung, Siebung, Mischung der einzelnen Mehle miteinander, so wie sie im Handel vorkommt, stellt nicht nur Mehl mit verschiedenen Mengen von Kleie vor, wie man sich bisher ausdrückte, die Mehle können selbst bei gleichem Zellmembrangehalt sehr verschiedene Zusammensetzung der letzteren zeigen.

Die im Mehl enthaltene Zellmembran ist ungemein pentosanarm, sie erinnert in der Zusammensetzung ganz an die pentosanarme Kartoffel. Die Frucht- und Samenschale dagegen, die in der Kleie überwiegt, gehört umgekehrt zu den pentosanreichsten Zellmembranen. Der Keimling scheint Zellmembranen zu besitzen, die jenen des Mehlkernes ähnlich zusammengesetzt sind; das immer noch mit Kleie etwas verunreinigte Material zeigt eine Zusammensetzung, die nach der Richtung der Mehlkernzellmembran sich nähert. Das mehr holzartige Material des Strohes und der Spelzen hat im Verhältnis zur Kleie ein Übergewicht der Zellulose. Das Getreide zeigt uns, wie in verschiedenen Teilen einer Pflanze die Art der Zellmembranen ganz verschieden sein kann. Würde man die morphologischen Elemente der Pflanzen besser mechanisch trennen können, so wäre der Parallelismus zwischen Zusammensetzung und der Eigenart der einzelnen Zellgruppen wohl eine mehr gesetzmäßige als bei Untersuchungen ganzer Nahrungsmittel.

Die Schalen der Kartoffeln und die Obstschalen haben mit der Zusammensetzung der Frucht- und Samenschale der Körnerfrüchte nichts gemeinsam, sie scheinen nur etwas zellulosereicher als das Parenchym der betreffenden Nahrungsmittel zu sein.

Die Zellmembran, wie sie aus den pflanzlichen Nahrungsmitteln sich darstellen läßt, enthält stets nur minimale Mengen von Aschebestandteilen; letztere hatten also nicht fest an der Zellmembran, sie sind nicht N-frei zu gewinnen; ein Teil des N ist offenbar fest mit der Zellmembran verbunden, auch da, wo an und für sich sehr wenig Eiweiß überhaupt vorhanden ist und die Weichheit der Membran ihre feinste Zerkleinerung bestens ermöglicht. Von der Kleie ist bekannt, daß die Auflösung des Kleieweißes und seine Extraktion die größten Schwierigkeiten bereitet, die sich auch bei der Verdauung geltend machen. Ihre Bedeutung erstreckt sich, abgesehen von den mehr zufälligen Bestandteilen, wie N und Asche, auf ihre Komponenten, die Zellulose, die Pentosane und die Restsubstanzen; unter denen das Lignin vertreten ist. Die verzehrten Mengen werden in einem späteren Abschnitt näher angegeben. Als Extreme habe ich pro Tag von Menschen 94 g Zellmembran und rund 40 g Zellulose verzehren gesehen. Der Verbrennungswert der Zellmembran ist wechselnd, je nach der Zusammensetzung, den geringsten Brennwert haben die Pentosane, einen höheren die Zellulose und den höchsten nach einigen näher untersuchten Fällen die Restsubstanzen, doch sind die Unterschiede überhaupt bei den drei Substanzgruppen nicht groß. Im Durchschnitt kann man etwa 4.42 Kalorien für die Zellmembran annehmen, mit den eben angeführten Schwankungen.

Ein bestimmtes Verhältnis zwischen Zellulose und Zellmembran besteht nicht, weshalb die bisher geübte Feststellung der Rohfaser, deren Hauptbestandteil die Zellulose ausmacht, ein Maß für die Menge der Zellmembran nicht zu geben in der Lage ist. Ein paar Beispiele mögen diese Verhältnisse erläutern:

	I	II	III	IV	V	VI
Gehalt an Rohfaser	11.8	11.6	10.1	8.3	10.9	9.1
„ Zellmembran	18.0	17.3	15.3	11.8	15.4	13.6
„ Zellulose	9.3	9.1	7.9	6.5	8.5	7.5

Da die Ausscheidungen meist anders zusammengesetzt sind wie die Einnahmen, so verändern sich auch die Verhältnisse zwischen Rohfaser und Zellmembran. Bisher pflegte man die „Rohfaser“ als unnötigen Ballast bei der menschlichen Ernährung anzusehen, um so mehr als sie ja zu den schwerverdaulichen Substanzen gerechnet werden muß. Die

Zellmembran macht uns nun mit mehreren neuen Bestandteilen der Nahrung bekannt, deren eingeführte Menge doch recht bedeutend sein kann. Von ihnen wird sich erst später reden lassen, wenn die Verdauungsverhältnisse näher erörtert sind. Jedenfalls erhalten wir mittels der Zellmembran nicht unerhebliche Mengen verschiedener Körper zugeführt, die man bisher wenig oder gar nicht beachtet hat. Die Zellmembran ist ein integrierender Bestandteil der pflanzlichen Kost.

IV.

Der chemische Aufbau der Zellmembran läßt bis zu einem gewissen Grade Gruppierungen zu; Gemüscarten und Getreidefrüchte scheiden sich sehr deutlich voneinander. Das Obst zeigt dagegen wandelbare Zusammensetzungen, allerdings im Einklang mit der Kultur der Pflanzen und durch die Beimengung von den Nebenbestandteilen unlöslicher Natur, wie Kerne, Steinzellen und Epidermis.

Ein auffallendes Ergebnis liegt aber darin, daß manche äußerlich und diätetisch sehr verschiedenen Substanzen in ihrer Zusammensetzung nur wenig voneinander abweichen. So sind die Unterschiede zwischen Parenchymzellmembran der Kartoffel und der Kartoffelhaut und zwischen der Apfelparenchymzellmembran und der Apfelhaut nicht wesentlich, das Auffallendste ist der geringe Unterschied zwischen Haselnußschale und dem Parenchym des Kernes.

Zwischen Birkenholz und Wurzelgemüsen ist kaum ein Unterschied der Zellmembran nach dem prozentigen Aufbau gegeben. Zellulose, Pektose, Restsubstanzen sind Grundmaterial, aus welchem von der Pflanze sehr verschiedene Zellen gebaut werden, die durch ihre Dicke, ihren morphologischen Aufbau, vielleicht auch durch die Art der Mischung Produkte von ganz verschiedenen Aussehen und Gebrauchswert auch in diätetischer Hinsicht liefern. Aus derselben Stoffgruppe kann die Pflanze zarte feine Zellsysteme, aber auch harte, derbe Massen bilden, die selbst kräftig einwirkenden Mitteln gegenüber standzuhalten vermögen.

Wenn durch den natürlichen Aufbau aus gleichem Baumaterial verschiedene Substanzen von ganz verschiedener physikalischer Beschaffenheit entstehen, so sollte man denken, daß harte, derbe Gebilde durch mechanische Zertrümmerung und Zerkleinerung mit der feinen natürlichen Parenchymzellmembran wieder auf gleiche Eigenschaften gebracht werden können. Dies ist aber erfahrungsgemäß nicht der Fall. Am besten mag dies folgendes Beispiel erläutern: Bei Spinat macht die Zellmembran 43 Prozent der Trockensubstanz aus, trotzdem bietet er beim Kauen kaum einen Widerstand, ja die großen Mengen der Zellmembran werden

beim Genuß kaum sich bemerkbar machen. Nehmen wir aber ein Produkt aus der Reihe der Brotrüchte mit höherem Zellmembran Gehalt, so wäre das etwa Kleie, die etwa 40 Prozent Zellmembran der Trockensubstanz enthält; die Letztere behält auch bei feinsten Zermahlung immer noch unangenehme Eigenschaften. Zu Gebäck verarbeitet, ist derartiges Material ungenießbar. Auch zu Kochzwecken wäre es nicht zu gebrauchen. In beiden Fällen drängt sich die zerkleinerte Zellmembran der Frucht- und Samenschale vor und stört beim Genuß (wie bei der Verdauung). Bei hohem Kleiegehalt oder bei Beimengungen von Sturrgaten aus zerkleinerten Zellmembranen entstehen selbst bei Mengen von 10 Prozent oder allenfalls 20 Prozent Zusatz, ganz abgesehen von dem niederen Qualitätswert, der Schwierigkeit des Kauens und des kratzigen Gefühls im Munde, bei vielen Personen sogar Magenbeschwerden, Übelkeit, auch Erbrechen, so daß das Nahrungsmittel unbrauchbar wird. Somit bekommen die eigenartigen Zellen brauen der Zerealien also eine ganz andere Bedeutung vom diätetischen Standpunkt aus als weit größere Mengen Zellmembran in Gemüsen und Obst. Allerdings ist hier der Vorbehalt zu machen, daß bei einem solchen Vergleich bei Gemüsen und Obst angenommen wird, daß die verholzten Teile in der Küchenzubereitung beseitigt werden; bei den Konserven der Kriegszeit ist aber auf eine solche Beseitigung von verholzten Außenschichten, z. B. bei Kohlrüben u. dgl., gar nicht Bedacht genommen worden.

Werden kleierreiche Zerealien auch nicht in der Form von Brot gegossen, so stört die Kleie schon beim Genuß, weil auch bei feinsten Vermahlung sie sich von den mehligsten Bestandteilen ablöst und so einen sandigen Eindruck beim Essen der Speisen hervorruft. Dies ist beim Verkochen zu Suppen ganz ausgeprägt gegeben. Kleie macht besonders die Kruste hart und schwer zerkbauar, Stückerhen bleiben gern an der hinteren Rachenwand kleben und lösen sich durch das Ptyalin nur schwer. Auch diese Verhältnisse stellen also kleierreiches Material in einen Gegensatz zu anderweitigen zellmembranreichen Nahrungsmitteln. Erfahrungsgemäß wird unter solchen Umständen die Kruste meist vom Brot geschnitten und geht der Ernährung verloren.

Für die Art der Festigkeit und Härte gibt nicht der Zellulosegehalt den Ausschlag. Man kann aus dem Verbands Zellulose-Pektosan-Restsubstanz (Lignin) die Restsubstanzen und Pektose entfernen, wodurch die ursprüngliche Härte der Zellmembran ganz verschwindet. So läßt sich z. B. aus Holz, das nicht zu pulvern ist, durch Salzsäuredämpfe und verdünnte Säuren, durch 25- bis 30prozentige Lauge ein Produkt liefern, das der Zerkleinerung keinen Widerstand leistet; dabei werden die Rest-

substanzen und die Pentosane entfernt, ohne daß die Zellulose selbst eine Veränderung erfährt.

Man darf nicht übersehen, daß die Feststellung der Zellulose, Pantosane, Restsubstanzen nicht überall, ja vielleicht nirgendwo die volle Natur der Zellmembran erkennen läßt, daß vielmehr die genannten Stoffe in mancher Hinsicht nur ein Gerüst darstellen für andere Körper, welche die Grundlage für biologische Funktionen bilden. Die Zellmembran hat sehr verschiedene Aufgaben, sie kann Nährstoffe verschiedener Art durchlassen oder sie hemmt den Eintritt solcher und selbst den Eintritt und Austritt von Wasser. Nur zum Teil sind diese Eigenschaften direkt auf den chemischen Aufbau der Zellmembran insofern zurückzuführen, als auch die Bildung von Kontraktsubstanz neben den anderen Komponenten der Zellmembran zukommt und wasserdringend wirken kann. Viel wichtiger sind die Einlagerungen anderer Stoffe in die Membranen für ihre Permeabilitätseigenschaften, wie die bekannten wachsartigen Überzüge an den Epidermiszellen, harzartige Stoffe u. dgl. Bei den Zellen für den inneren Betrieb, den aufsteigenden Zellen in den Wurzeln u. dgl., ist das Gerüst der Zellmembran, das ich im vorstehenden beschrieben habe, durchtränkt mit Pektinstoffen, Lipoiden, möglicherweise auch durchgezogen von Eiweißstoffen, wodurch dann das besondere elektive Verhalten dieser Membranen ebenso bedingt wird, wie wir dies von den tierischen Zellen wissen. Manche dieser Bestandteile können je nach den äußeren Umständen in ihrer Menge variieren.

Nach den Untersuchungen von Hanstsen¹ können Magnesia- und Kaliumsalze das Wurzelwachstum stören; in dem Magnesiumsalz können sich z. B. Pektinstoffe, Fettsäuren, Pyrosterin herauslösen; Kalksalze verhalten sich anders. Es ist sehr wahrscheinlich, daß gerade dieser biologische Aufbau auch entscheidend für die Verdaulichkeit der Zellmembranen sein wird, zumal die Adsorption von Fermenten und die Durchtränkung der Zellwand mit solchen und Kof fermenten u. dgl. entscheidend für den Vorgang der Löslichkeit der Zellmembran sein dürfte.

Ein Beispiel für die Bedeutung dieser Einlagerungen habe ich bei der Kartoffel gegeben. Die unverletzte Kartoffeloberhaut läßt Kochsalz nur schwer durchtreten, aber leicht, wenn man sie vorher mit Alkohol oder Äther gewaschen, d. h. einen Teil solcher charakteristischen Lipide entfernt hat.

¹ Pringsheims *Jahrbuch f. wissenschaftl. Botanik*. Bd. XLVII. 1910. H. 3 und Bd. LIII. 1914. H. 4.

Die Resorption der Zellmembran und ihre Bestandteile beim Hund.

V.

Die Verdauung der pflanzlichen Nahrungsmittel verläuft komplizierter wie jene der Animalien. Von letzteren kann man sagen, daß sie an sich völlig verdaulich sind und daß nur Stoffwechselprodukte überhaupt übrig bleiben. Im Gegensatz dazu kann man sagen, daß kein Pflanzengewebe, welches als Nahrungsmittel dient, völlig verdaulich ist. Zum Begriff Gewebe gehört Zellmembran, und keine Zellmembran ist beim Menschen und den Versuchstieren jemals ganz verdaut worden. Dieser Satz gilt nur in dem hier gemeinten Sinne der nicht völligen Verdaulichkeit der Pflanzengewebe, so wie sie in den Nahrungsmittelpflanzen vorkommen, und im chemischen quantitativen Sinne; für den Mikroskopiker gibt es aber ganz verdauliche und unverdauliche Formelemente. Ich habe den mikroskopischen Befund gelegentlich erwähnt, bemerkte aber ausdrücklich, daß ich auf denselben im Rahmen meiner Betrachtungen nicht eingehen und es den Botanikern überlasse, diese Fragen der Auflösung der verschiedenen Formelemente und die Art des Angriffes der Lösung zu behandeln. Zellmembran heiße ich das Gesamtgefüge, bestehend wie erwähnt aus den verschiedenen Stoffgruppen.

Die Verdaulichkeit der Zellmembran will ich nachfolgend vergleichend behandeln. Sie läßt sich nach meinen Methoden in den Nahrungsmitteln und im Kote zur Darstellung bringen. Die große Rolle, welche die Verdaulichkeit der Zellmembran besitzt, ist erst durch meine Untersuchungen am Hund und am Menschen genauer erkannt worden. Die zahlreichen Versuchsreihen sind jetzt in diesem Archiv. Bd. 1914—1917 niedergelegt. Früher sind wohl Angaben über die Rohfaserverdauung gemacht worden, Rohfaser ist aber weder Zellulose noch Zellmembran, noch auch hat letztere irgend einen bestimmten gleichartigen Rohfasergehalt. Es ist erstannlich, welche großen Mengen von Zellmembran mitunter in der Nahrung aufgenommen werden.

Wenn von dem Grade der Verdaulichkeit der Zellmembranen gesprochen wird, so bezieht sich das nur auf die Gewichtsverhältnisse der Ein- und Ausfuhr, nicht aber auf die chemische oder morphologische Identität. Ich habe ja schon in den Einzelabhandlungen auf die Unterschiede in der Zusammensetzung der Zellmembranen der Einfuhr hingewiesen sowie auf die ungleiche Herauslösung einzelner Komponenten aus dem Dreiverband der Hauptbestandteile, und ebenso wurde schon bei den Gemüsen das ungleiche morphologische Bild erwähnt, welches die komplette Auflösung bestimmter Formelemente und die Unverdaulichkeit anderer zeigt.

Die Versuche meines Laboratoriums erstrecken sich auf Untersuchungen am Hunde, am Menschen und an Pflanzenfressern. Soweit die letzteren in Betracht kommen, ist das Nähere aus der in diesem Bande befindlichen Arbeit von C. Thomas zu ersehen; ich selbst will mich in folgendem nur auf die Ergebnisse beim Hunde und Menschen beschränken. Dabei ist die Befähigung des Fleischfressers hinsichtlich der Verarbeitung der Zellmembran in seinem kurzen Darm jedenfalls sehr überraschend. Meine Versuche am Hunde, die ich in folgendem zunächst behandeln will, sind fast ausnahmslos so angestellt, daß dasselbe Tier stets dieselbe Kost (1000 g Fleisch) erhielt, wozu dann das zu untersuchende Material an Zellmembran gegeben wurde. Im Laufe des Jahres habe ich einen zweiten Hunde verwenden müssen, der etwas kleiner wie der erste, mit etwa 900 g Fleisch als Nahrung auszukommen pflegt. Auch an diesen Tiere habe ich keine Beobachtung gemacht, welche irgendwie im Gegensatz zu dem erst verwendeten stand. Der Fleischfresser galt bisher als ein Organismus, der zur Aufnahme vegetabilischer Kost, insoweit diese Rohfaser in nennenswerten Mengen enthält, als wenig geeignet schien. Allerdings hat man über ein einigermaßen bedeutendes Material zur Beurteilung dieser Frage nie verfügt, da man ja aus anatomischen Gründen annehmen durfte, daß derartige Kost für den Fleischfresser nicht wohl geeignet sei und im freien Leben diese Tiere derartige Nahrung nicht aufsuchen. Meine Untersuchungen zeigen für den Hunde wider Erwarten die Möglichkeit der Resorption auch der Zellmembran und Zelllose in nicht unbedeutlichem Umfange.

Was den Experimentator unangenehm bei den Versuchen mit Nahrungsmitteln reichlichen Zellmembrangehaltes betrifft, ist das gelegentliche Versagen der Resorption, ohne daß man in den äußeren Bedingungen des Versuches irgend einen Anhaltspunkt zu einer Erklärung finden könnte. Ich habe aber schon an anderer Stelle berichtet, daß die Lösungsbedingungen für die Zellmembran der Hauptsache nach in einem bakteriellen Angriff gesucht werden müssen. Hier scheinen unter Umständen nicht alle Bedingungen zur Entwicklung der Mikroben immer die gleichen zu sein, manchmal mehr oder minder weitgehende Entwicklungsstimmungen für das Mikrobenwachstum vorzuliegen oder die Aussaat nicht immer die gleich ausreichende zu sein. Eine solche Störung ist nicht gleichbedeutend mit einer sichtbaren Veränderung des Kotes, sie prägt sich nur in der außergewöhnlichen Mehrung desselben aus. Ein Moment, welches in einer späteren Abhandlung noch experimentell belegt werden wird, scheint auch die Aufenthaltstauer des Kotes im Darin zu sein, indem ich bei einer außergewöhnlich langen Zurückhaltung des Kotes auch eine sehr weit-

gehende Auflösung bei einer allerdings auch sonst nicht sehr schwierig aufzulösenden Substanz gesehen habe.

Die Leistung der Aufnahme und der Resorption von Zellmembranen findet man in nachfolgender Generaltabelle zusammengestellt, geordnet nach der Menge der täglich verzehrten Zellmembranen.

	Resorbiert im Tag Zell- membran g	Zelllose g	Zufuhr im Tag Zell- membran g	Zelllose g
Vogelweizen	1.98	0.60	3.92	1.98
Haselnußkerne	3.26	0.88	5.15	1.62
Roggenkeimlinge	8.50	1.06	5.15	2.02
Kartoffel ¹	10.42	4.76	14.02	6.49
Kriegsbrot ¹	4.62	0.78	15.76	5.54
Haselnuß enth.	16.29	4.88	18.73	5.91
Birke	6.27	3.58	19.00	8.81
Kartoffelpulpe	14.11	3.68	27.89	12.62
Spinat	14.09	3.86	32.78	13.01
Kartoffelpilpe	22.20	7.22	39.83	18.06
Birke	12.24	3.58	38.00	16.63
Feines Speizmehl	16.31	5.48	42.79	20.71
Größeres Speizmehl	7.03	4.728	47.28	22.09
Kleie	26.46	3.64	48.05	13.90
Strohmehl	19.94	6.55	51.20	23.30
Strohmehl, aufgeschlossen mit Druck. Strohmehl, aufgeschlossen ohne Druck	14.19 15.53	11.25 11.65	52.15 53.11	37.96 35.26
Gelbe Rüben	22.20	3.78	53.20	24.19
Strohmehl, aufgeschlossen ohne Druck	16.28	11.81	53.65	36.02
Haselnußschalen	23.85	9.47	59.69	22.56
Birke	27.44	10.82	57.00	26.04
Birke	29.10	7.58	76.00	33.26

In einer längeren Versuchsreihe, die zur einleitenden Betrachtung von Bedeutung ist, habe ich zuerst bei Birkenmehl die Grenzen der Leistung des Darmes meines Versuchstieres und die allgemeine Art der Resorption bestimmt und gesehen, daß das Tier bis zu 75 g derartigen Materials aufnehmen kann, daß aber 100 g die Grenzen günstiger Resorption überschreiten. Die Resorption wechselnder Mengen erfolgt so, daß bei derselben Substanz von kleinen wie größeren Mengen ein aliquoter Teil verdaut wird. Die Generaltabelle zeigt die Ergebnisse der Fütterung, Mengen, die zwischen 3.9 g und 76.0 g pro Tag schwanken; auch letzterer Wert liegt noch innerhalb der durchaus günstigen Resorptionsgrenzen. Bei durchschnittlich 4.42 Kalorien Verbrennungswert vermochte mein Tier mit einem Nahrungsbedarf von rund 1000 bis 1100 Kalorien pro Tag 336 Kalorien in Zellmembran zu verzehren. Die Nebenwirkungen werden

¹ Ist in der Mittelzahl nicht enthalten.

getrennt von der Resorptionfrage der Zellmembran später behandelt. Die Menge der resorbierten Zellmembran folgt, wie man aus der Tabelle sieht, nur im allgemeinen der Zufuhr an Membranen, weil ja spezifische Verdaulichkeitsverhältnisse vorliegen. Die größte Menge resorbierten Materials pro Tag betrug 29.1 g, also etwa 128 Kalorien, 11 bis 13 Prozent des Gesamtumsatzes der Tiere. Zufuhr und Resorption im allgemeinen betrachtet, ergibt sich, daß die Zellmembran — abgesehen von der eigenen Verwertung im Stoffwechsel, die ein noch weniger günstiges Resultat liefert — ein minderwertiges Produkt darstellt. Die Generaltabelle ergibt, daß auch kleine Mengen von Zellmembranen niemals völlig resorbiert, sondern stets nur teilweise angegriffen werden. Addiert man alle Zellmembranen der Einnahme und alle Größen der Resorption, so verdaut der Hund in den zahlreichen Versuchen, die über 60 Fütterungstage umfassen, 38.9 Prozent. Ein Vergleich mit Wiederkäuern läßt sich nicht anstellen, da bei diesen noch keine Experimente über das Resorptionsvermögen der Zellmembranen vorliegen. Immerhin darf man sagen, daß das Resultat doch wider Erwarten ein nicht ungünstiges ist, wenn man den einfach gebauten Darm des Hundes und außerdem die relativ kurze Zeit des Aufenthaltes des Kotes im Darm in Betracht zieht.

Gruppiert man die Versuche nach den steigenden Mengen unter Berechnung des Grades der Ausnützung, wie nachstehend, so hat man, in Gruppen zusammengefaßt:

Tägliche Zufuhr an Zellmembran	Verdaut g	Mittel d. tägl. Zufuhr g	Verdaut Prozent
0 bis 10	2.91	4.74	61.3
10 „ 20	9.40	16.88	55.6
20 „ 30	14.11	27.89	50.5
30 „ 40	18.14	36.30	49.9
40 „ 50	15.51	44.90	34.5
50 „ 60	19.92	59.29	36.7
60 „ 70	—	—	—
70 „ 80	29.10	76.00	38.3

So könnte es den Anschein haben, als seien kleinere Mengen von Zellmembranen besser als etwas größere resorbiert worden; es wäre das aber ein irreführender Schluß, weil auf das Experiment mit kleinen Zellmembranmengen auch solche Membranen entfallen, die sich auch z. B. beim Menschen als besonders gut resorbierbare Substanzen erwiesen haben. Von den Einzelbestandteilen der Zellmembran interessiert vorläufig noch im besonderen die Zellulose, da man mehrfach die Meinung ausgesprochen hat, der Hund verdaue Zellulose überhaupt nicht.

Nach verzehrter Zellulose geordnet:

	Resorbiert im Tag		Zufuhr im Tag	
	Zellmembran g	Zellulose g	Zellmembran g	Zellulose g
Vogelweizen	1.98	0.60	3.92	1.98
Haselnußkerne	3.26	0.88	5.15	1.62
Roggenkeimling	3.50	1.06	5.15	2.02
Kriegsbrot	4.62	0.78	15.76	5.54
Haselnuß entfettet	16.29	4.83	18.73	5.91
Kartoffel	10.42	4.76	14.02	6.49
Birke	6.27	3.58	19.00	8.81
Kartoffelpüpe	14.11	3.68	27.89	12.62
Spinat	14.09	3.86	32.78	13.01
Kartoffelpüpe	22.20	7.22	39.83	18.06
Birke	12.24	3.58	38.00	16.63
Reines Speizeinmehl	16.31	5.48	42.79	20.71
Gröberes Speizeinmehl	7.03	3.64	47.28	22.09
Kleie	26.46	3.47	48.05	13.90
Strohmehl	19.94	6.55	51.20	23.30
Strohmehl, aufgeschlossen mit Druck	14.19	11.25	52.15	37.96
Strohmehl, aufgeschlossen ohne Druck	15.53	11.65	53.11	35.26
Gelbe Rüben	22.20	3.78	53.20	24.19
Strohmehl, aufgeschlossen ohne Druck	16.28	11.81	53.65	36.02
Haselnußschalen	23.85	9.47	59.69	22.56
Birke	27.44	10.82	57.00	26.04
Birke	29.60	7.58	76.00	33.26

Die verdauten Zellulosemengen bewegen sich zwischen 0.6 und 20.7 g pro Tag, sie erreichen höchstensfalls etwa 86.9 Kalorien, das heißt etwa 8 Prozent des ganzen Nahrungsbedarfes, wobei zu bedenken ist, daß die Produkte der Verdauung der Zellulose nicht vollwertige Nährstoffe darstellen. Die Verdauung der Zellulose steht aber damit sicher, wenngleich gelegentlich Einzelfälle vorkommen, bei denen die Lösung der Zellulose nur eine minimale ist. Nimmt man als prozentige Verdauung nur die Gesamtsumme der in allen Versuchen eingeführten Zellulose bis zu 50 g, so ist das Mittel 30.5 Prozent. Die Zellulose ist also der weniger gut verdauliche Teil der Zellmembran.

Gruppiert man ohne Rücksicht auf die Art der Substanz die aufgenommenen und verdauten Zellulosemengen, so hat man folgendes Bild:

In Gruppen zusammengefaßt:

Tägliche Zufuhr an Zellulose	Verdaut g	Mittel d. tägl. Zufuhr g	Verdaut Prozent
0 bis 10	2.35	4.62	50.8
10 „ 20	4.36	14.84	29.4
20 „ 30	6.62	23.15	28.6
30 „ 40	10.57	35.80	29.8
40 „ 50	11.80	47.50	24.8
50 „ 60	—	—	—
60 „ 70	20.70	71.00	29.8

In den einzelnen Gruppen ist, von der ersten, die wesentlich durch die ausnahmsweise günstige Resorption der Haselnüsse beeinflusst wird, abgesehen, ein ungleiches Resorptionsvermögen nicht ersichtlich. Bleibt man unter der Grenze der Überfütterung, so verläuft die Verdauung also etwa so, wie ich sie in den orientierenden Versuchen bei Birkenholz sah: ein allguter Teil wird aufgelöst.

Die ungleiche Verdauung der Zellmembran und der Zellulose verweist auf die Notwendigkeit, die Auflösung der einzelnen Bestandteile noch etwas näher zu betrachten; dabei zeigt sich, daß in den Einzelfällen die Art der Auflösung spezifisch verschieden sich verhält. Will man die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials mit in Erwägung ziehen, so sei auf die früher gegebenen Zusammenstellungen auf S. 66 verwiesen.

	Resorbiert in Prozent			
	Zellmembran	Zellulose	Pentosan	Restsubstanzen
Haselnüsse	86.97	81.74	96.44	82.35
Roggenkeimling	67.77	52.48	65.59	91.82
Kleie	55.28	24.96	61.27	74.82
Vogelweizen	51.60	30.40	66.50	81.10
Spinat	42.98	29.67	68.37	43.96
Gelbe Rüben	41.89	15.62	63.20	63.50
Haselnußschalen	40.91	41.78	37.91	40.46
Birkenholz	39.34	39.22	44.60	—
Stroh	38.95	26.54	13.36	89.63
Spezmehl fein	38.12	26.46	37.48	37.97
Stroh, mit Natron aufgeschlossen	29.24	33.04	31.86	—
Stroh, mit Natron unter Druck aufgeschlossen	24.07	29.70	28.00	—
Spelze grob	14.47	16.47	14.54	9.77
Filtrierpapier	—	27.00	—	—

Das Gesamtmittel aller Bestimmungen ergibt als verdaulich:

Zellmembran	Zellulose	Pentosan	Restsubstanzen
44.32	33.99	48.11	54.69

Die einzelnen Bestandteile werden ungleich leicht resorbiert, am wenigsten die Zellulose, wesentlich besser die Pentosane und noch etwas besser die Restsubstanzen. Die Mittel, durch welche der Körper die Zellmembran angreift, sind für die drei Komponenten verschieden. Die Auflösung erfolgt nicht immer durch gleichmäßige Zertrümmerung des Materials, wobei dann alle drei Gruppen von Stoffen zur Lösung kommen würden.

Im einzelnen ist noch folgendes von Interesse:

Die leichtest resorbierbaren Membranen sind jene der Haselnüsse und der Roggenkeimlinge, sie sind ziemlich unverändert zur Verwitterung ge-

kommen. Kleie und Vogelweizenmembran bestehen aus Zellen, die größtenteils zum Schutze des Endosperms dienen; diese Fruchtschalen haben das Gemeinsame, daß ihre Zellulose recht schwer gelöst wird, dagegen gut die Pentosane und Restsubstanzen.

Spinat und gelbe Rüben entsprechen nicht den ursprünglichen Gemüsen, die Zellmembran war rein dargestellt, d. h. aller sonstigen Beimengungen entkleidet; dies dürfte auch der Grund ihrer schweren Aufnahmbarkeit sein, die selben Membranen gehören beim Menschen zu den leichtesten, fast vollkommen resorbierbaren. Indem die Zellen ihrer Einlagerungen entkleidet werden, wird auch der Angriff der lösenden Fermente erschwert.

Haselnußendosperm und -schalen unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung nur unwesentlich, wohl aber wesentlich in morphologischen Bau und in der funktionellen Bewertung. Durch die Zellen des Endosperms wandern leicht die Nährstoffe, die Schale andererseits ist ein Schutz gegen jede Einwirkung von außen. In dieser biologischen Eigenschaft muß offenbar auch der Grund zum verschiedenen Verhalten der Löslichkeit liegen.

Ein typisches Verhalten weisen Stroh und Spelze auf; die Zellulose ist mäßig gut gelöst, die Pentosane bei Stroh noch weniger gut als die Zellulose, dagegen weitgehend löslich die dritte Gruppe, die Restsubstanzen. Bei den Spelzen werden die Pentosane wenigstens so gut wie die Zellulose gelöst. Nimmt man aus dem Stroh durch Natronbehandlung die Restsubstanzen bis auf Spuren auf, so schreitet die Verdauung der Zellulose und Pentosane gleichmäßig weiter.

Bei den grob zerkleinerten Spelzen war die Resorption offenbar im ganzen erschwert, elektive Auflösungen sind nicht erkennbar. Für letztere kommen auch morphologische Unterschiede im Material, wenigstens in beschränktem Maße, in Betracht, da nach Haberlandt die Lösung in manchen Fällen ganz bestimmte Formelemente ergreift oder auch an bestimmten Poren und Kanälen die ersten Angriffsflächen findet.

Die vorstehenden Ergebnisse erlauben noch eine andere Gruppierung, welche mit Rücksicht auf die praktische Verwendung der Nahrungsmittel und auf die später miteufzulegenden Versuche am Menschen von Bedeutung ist.

Folgende Tabelle zeigt in Kürze einige bemerkenswerte Eigenschaften der Zellmembran und ihrer Resorption. Die erste Gruppe „Obst und Gemüße“ läßt erkennen, daß hier Membranen vorliegen, deren bessere Resorption nicht im wesentlichen dem Verhalten der Zellulose, sondern den beiden anderen Komponenten zuzuschreiben ist. Für das Brotgetreide kann die Kleie als Typus gelten, auch bei ihr liegt der Schwerpunkt der Resorbier-

Gemüse und Obst:

Nahrung	Resorbiert		Aufgenommen	
	Zellmembran	Zellulose	Zellmembran	Zellulose
Haselnüsse	3.26	0.88	5.15	1.62
Kartoffel	10.42	4.76	14.02	6.49
Haselnüsse	16.29	4.88	18.73	5.91
Spinat	14.09	3.86	32.78	13.01
Gelbe Rüben	22.20	3.78	53.20	24.19
	Verdaut: Zellulose		Zellulose	
			Zellmembran	
				53.5

Brot:

Kleie	26.46	3.47	48.05	13.90
Brot	4.62	0.78	15.76	5.54
	Verdaut: Zellulose			21.9
			Zellmembran	48.7

Brotsurrogate:

Feines Speisemehl	16.31	5.48	42.79	20.71
Grobes Speisemehl	7.03	3.64	47.28	22.09
Strohmehl	19.94	6.55	51.20	23.30
Stroh, aufgeschlossen mit Druck	14.19	11.25	52.15	37.96
Stroh, aufgeschlossen ohne Druck	15.53	11.65	53.11	35.26
Stroh, aufgeschlossen ohne Druck	16.28	11.81	53.65	36.02
	Verdaut: Zellulose			28.7
			Zellmembran	29.7

Holz und holzartiges Material:

Haselnusschale	23.85	9.47	59.69	22.56
Birke	12.24	3.58	38.00	16.63
	27.44	10.82	57.00	26.04
	Verdaut: Zellulose			36.6
			Zellmembran	41.1
Filtrierpapier		Verdaut: Zellulose		25.8

Zusammenstellung der Gesamtmittel:

	Resorbiert in Prozenten	
	Zellmembran	Zellulose
Gemüse und Obst	53.5	37.4
Brot (Kleie)	48.7	21.9
Surrogate zur Brotsurrogatung	29.7	28.7
Holz und holzartiges Material	41.1	36.6

barkheit nicht bei der Zellulose, also so wie in der vorstehenden Gruppe. Die bisher empfohlenen Brotsurrogate zeigen eine gleichmäßig ungünstige Resorption aller Komponenten. Spinnholz und Schalen stellen sich etwas besser als die Brotsurrogate, haben aber mit letzteren das gemein, daß die Zellulose wie die anderen Bestandteile annähernd gleich schwer resorbierbar sind. Das mit Säurebehandlung hergestellte Holzmehl ist wegen seiner sonstigen Eigenschaften außer Betracht geblieben. Für die Verdaulichkeit der Zellulose bei Wiederkäuern hatte ich keine Gelegenheit, Versuche anzustellen. Für die Rohfaser liegen sehr viele

Angaben in den Zusammenstellungen für die landwirtschaftliche Fütterungslehre vor. Aber diese Ergebnisse lassen sich nicht gut verwerten, da die Zusammensetzung der Produkte sehr schwankend ist. Ich berechne nach solchen Werten etwa folgende Verwertung der Rohfaser. Verdäulich ist:

Bei Roggenkleie	52.7 Prozent der Rohfaser
" Kartoffelpülpe	23.8 " "
" Mohrrüben	53.8 " "
" Winterhalmstroh	50.0 " "

Die Rohfaserwerte stehen zwischen den Werten der Zellmembran und der Zellulose; wenn die letztere beim Hund mit etwa 30.5 Prozent und die Zellmembran mit 38.9 Prozent verdaut wird, so stellt fest, daß die Aufnahme im allgemeinen beim Hund etwas schlechter sein dürfte wie bei den Wiederkäuern. Die Unterschiede sind aber anscheinend nicht so erheblich, als man bisher angenommen hat, vorausgesetzt daß das Futter gut zerkleinert dem Hunde verabreicht wird. Der Wiederkäuer besorgt die Zerkleinerung selbst und vermag quantitativ einen erheblichen Teil der ganzen Nahrung durch Zellmembran zu decken. Wenn vorzügliches Wisenheu 23 Prozent der Trockensubstanz an Rohfaser enthält, wird die Menge der Zellmembran an 40 Prozent betragen können. Eine Beimengung fein gepulverter Zellmembran bis zu einem Viertel der Masse der Trockensubstanz der Gesamtnahrung (Fleisch und Zellmembran) war etwa die Grenze des Ertragbaren für den Hund, ob auf längere Dauer, ist freilich nicht festgestellt worden. Der Hauptunterschied mit Bezug auf die Tätigkeit der Verdauungsapparate zwischen Fleischfresser und Pflanzenfresser liegt in der quantitativen Leistung und der Möglichkeit der Ernährung für letztere durch rauhes Futter, das erst der Verarbeitung bedarf, um offenbar die empfindlichen resorbierenden Teile des Dünndarms nicht zu schädigen. Wenig zerkleinertes Material schädigt den Darm des Hundes leicht so weitgehend, daß jede Resorption zellmembranhaltiger Teile unterbleibt.

Bei der Auflösung der Zellmembranen kommen noch zwei von mir festgestellte Tatsachen in Betracht. Bei mehreren Versuchen habe ich nachweisen können, daß die durch Lösung der Zellmembranen freierwerdenden Teile unresorbierbar im Darm liegen bleiben können. Dies ist z. B. bei den Pentosanen zu erweisen. In Fällen, bei denen die Pentosane sozusagen völlig in der Zellmembran enthalten sind, kann man im Kot manchmal mehr freie Pentosane oder Pentosen auffinden, als vorher vorhanden waren. Dies läßt sich nur so erklären, daß die Zellmembran noch an Stellen verdaut wird, an welchen die Resorption sehr vermindert ist.

Das kann nur in den unteren Partien des Dickdarmes der Fall sein. Analog habe ich auch beobachtet, daß durch Auflösung der Zellmembran zwar der N-haltige Inhalt freigegeben sein kann, ohne daß deswegen die Resorption mit der Verdauung gleichen Schritt hält.

Rückwirkung der Zellmembran auf die Bildung von Stoffwechselprodukten.

VI.

Der Nährwert einer Zellmembran wird nicht durch ihre Auflösung und Resorption allein bedingt, sondern neben anderen ist sie von der Wirkung abhängig, welche die Zellmembran auf die Bildung von Verdauungssäften ausübt, und von der schädlichen Behinderung der Resorption anderer gleichzeitig genossener Nahrungsmittel. Geleitet von dem Gedanken, diese Nebenwirkung der Zellmembran festzustellen, habe ich in meinen Versuchen stets dasselbe Nahrungsmittel in stets gleichbleibender Menge als Träger der gefitterten Zellmembran verwendet. Nicht immer war das, was als Zellmembran verfittert wurde, auch nur diese allein, vielmach — das hat sich erst im Laufe der Versuche herausgestellt — werden die Zellmembranen noch von anderen Stoffen begleitet. So ist z. B. Kleie nie ganz frei von kleinen Mengen Stärke gewesen, Stroh enthält immer noch neben der Zellmembran kleine Mengen löslicher Stoffe, Spelze führen etwas Stärke, aufgeschlossenes Stroh Körper, die durch Natron gelöst wurden, sich aber schwer auswaschen lassen. Wahrscheinlich gehören auch noch besondere Körper, die in kleinen Mengen vorkommen, wie Lipide u. dgl., gewiß vielfach zum Bestande der Zellmembran, ohne daß man deren Wirkung zurzeit zu überschätzen vermöchte. Es ist nicht auszuschließen, daß diese analytisch teils festgestellten, teils nicht faßbaren Begleitstoffe und Verunreinigungen auch einen Einfluß auf den Ablauf der Resorption gehabt haben können, aber wohl mehr dahingehend, daß sie auf die Mehrung der Stoffwechselprodukte als auf die Resorption der Zellmembran selbst wirkten.

Die Verdaulichkeit des Fleisches war bekannt; es finden sich im normalen Fleischkot nur Stoffwechselprodukte, d. h. Reste der Verdauungssäfte, welche in ihrer Menge kalorimetrisch und nach ihrem N-Gehalt bestimmt wurden. Unresorbiertes Fleisch würde sich nach meinem Untersuchungsverfahren haben feststellen lassen. Ich habe eine solche Beeinflussung in den hierzu betrachteten Experimenten nicht nachweisen können. Eine Störung der Verdauung bis zur Behinderung der Resorption des verfitterten Fleisches habe ich nicht beobachtet; die vorhandene Mehr-

ausscheidung hielt sich innerhalb solcher Grenzen, daß sie noch immer als Mehrung von Stoffwechselprodukten aufgefaßt werden kann. Ich habe mich bei meinen Publikationen zunächst an einen Fleischnormalversuch gehalten, bei dem sich pro Tag 67.74 Kalorien als Gesamtausscheidung und 1.01 g als N-Ausscheidung ergeben hatten. Diese Werte sind etwas zu hoch; durch Wiederholung der Fleischexperimente und Ausdehnung über lange Zeit habe ich an dem benutzten Tier gefunden, daß die mittleren Verluste an Kalorien 56.34 und der des N 0.95 g pro Tag betragen. Die Werte ändern an den früher mitgeteilten Gesamtergebnissen nichts Wesentliches, ich werde sie aber als sicherer im nachfolgenden verwenden. In nachstehender Tabelle wird in Reihe 2 die Menge der Kalorien aufgeführt, welche sich errechnet, wenn man von dem Kote die sämtlichen näher bestimmten unresorbierten Teile nach ihren Verdauungswerten abzieht. Ich nenne diesen Rest kurzweg Stoffwechselprodukte.

Bei der N-Ausscheidung verfähre ich ähnlich: von dem Gesamt-N ist der mit den Zellmembranen unlöslich abgesehene N abgezogen und der Rest als Stoffwechsel-N angesehen. Diese Stoffwechselwerte werden verglichen mit der durchschnittlichen Ausscheidung von N und Kalorien bei ausschließlicher Fleischkost, dann ergeben sich die in der Tabelle aufgeführten Differenzen als Wirkungen der Fütterung von Zellmembranen.

Stoffwechselprodukte im Kot pro Tag.

	Kot- kalorien aus Stoff- wechsel	Differenz zum Fleisch- kot	Stoff- wechsel- N	Differenz zum Fleisch- kot
Vogelweizen	40.2	-16.1	—	—
Weizenkeimling	53.0	-3.3	—	—
Birkenholz	58.7	+2.4	1.05	+0.10
Spinat	61.7	+5.4	1.09	+0.14
Kartoffelpulpe	64.6	+8.3	1.13	+0.18
Roggenkeimling	66.2	+10.9	—	—
Stroh	69.7	+13.4	1.27	+0.30
Kleie	76.4	+20.1	1.09	+0.14
Stroh, aufgeschlossen ohne Druck	78.3	+22.0	0.90	-0.05
Papier	78.4	+22.1	1.20	+0.25
Stroh, aufgeschlossen mit Druck	79.5	+23.2	1.05	+0.10
(gelbe) Rüben	81.7	+25.4	1.06	+0.11
Spelzmehl, gröbers	91.3	+35.0	1.37	+0.42
Papier	95.8	+39.4	1.65	+0.75
Haseleuschalen	103.2	+46.9	1.16	+0.21
Spelzmehl, fein	146.5	+90.2	0.78	-0.17

Für den Vorgang der Resorption haben wir uns, was von allgemeiner Bedeutung ist, folgende Vorstellung zu machen

Zur Verdauung des Fleisches und in Abhängigkeit vom Fleischumsatz überhaupt werden in den Darmkanal die Verdauungssäfte ergossen. Wird eine Zellmembran hinzugefügt, so finden die im allgemeinen in den Darm sich ergebenden Verdauungssäfte nur insoweit ein Angriffsobjekt, als eben anhaftendes Eiweiß (z. B. bei Kleie) oder Stärke vorhanden sind. In den hier vorgelegten Versuchen kommen solche Beimischungen eigentlicher Nährstoffe nur ausnahmsweise in Betracht, etwa nur bei Vogelwicken, den Keimlingen, der Kartoffelpflanze und den Spelzen. Da die Zellmembranen selbst bakteriell angegriffen werden müssen, kommen die Stoffwechselprodukte und der Inhalt des Magens und Darms gewissermaßen auch als Nährboden in Betracht. Daher wird man damit rechnen müssen, daß Zellmembranen entweder spezifische Wirkungen auf den Darm ausüben oder die mechanischen Momente des Durchganges durch den Darm oder die Gasbildung und Spannung der Darmschlingen eine Rückwirkung unter Vernehmung der Sekretionen und Bildung von Stoffwechselprodukten äussern können.

Würde man die Zellmembran allein verfüttern, so würde das Unverdauende zweifellos zusammen mit einer bestimmten Menge von Stoffwechselprodukten den Darm verlassen; hier würde man unmittelbar die Rückwirkung auf den Darm erkennen. Leider ist diese Versuchsanordnung nicht anwendbar, sie würde aber insofern gleichfalls mit einem Fehler behaftet sein können, als ja unter allen Umständen der sogenannte Hungerkot — der übrigens auch vom Eiweißumsatz abhängig ist — mit entleert werden würde, was allerdings nur Geltung haben könnte für den Fall, daß die Zellmembranen als sehr untergeordnete Reize für den Darmkanal angesehen werden können. Dagegen läßt die von mir gewählte Versuchsanordnung wohl für alle Fälle, in denen die Bildung von Stoffwechselprodukten über das Maß der Bildung des Fleischkotes hinaus angeregt wird, sich anwenden.

Der Fleischkot selbst liefert nur eine sehr geringe Menge von Stoffwechselprodukten, daher war es wahrscheinlich, daß eine Sekretionssteigerung durch die Zellmembranen wohl sichtbar werden würde, zumal man sich ja auch vorstellen darf, die Einflüsse auf eine Mehrsekretion seien etwas von den Stoffwechsellausecheidungen des Fleischkotes Verschiedenes, so daß sie vielleicht sogar unbehindert zur Wirkung gelangen.

Betrachtet man sich die oben angegebene Tabelle, so sieht man, daß nur in zwei Fällen die Bildung von Stoffwechselprodukten im ganzen (als Kalorien ausgedrückt) kleiner ist als die Menge des Fleischkotes: bei Vogelwicken und den Keimlingen des Weizens.

Das ist leicht zu erklären. Ich habe mit Absicht in den Vogelwicken einen Versuch mit aufgenommen, bei welchem auch erheblich nährrende Bestandteile, d. h. reichlich Stärke, vorhanden waren. Nicht in demselben Maße bei den Weizenkeimlingen. In beiden Fällen wird ein Herabdrücken des Eiweißumsatzes vorhanden gewesen und dadurch eine geringe Minderung der Stoffwechselprodukte überhaupt zustande gekommen sein. In allen anderen Fällen liegt eine Mehrung der Stoffwechselprodukte vor, die im allgemeinen bei den N-haltigen Stoffen nicht sehr beträchtlich ist, ausgenommen bei Papier (72 g Zufuhr), wo die ungeheuren Kotmassen die Resorption der ergossenen Verdauungsprodukte erschweren, indem die Papierfasern vielleicht durch Adsorption oder Aufsaugung etwas N binden. Jedenfalls geht Mehrausscheidung an N und Kalorien nicht Hand in Hand. Die größten Kalorendifferenzen liegen bei Spelzen, Papier (75 g Zufuhr) und Haselnusschalen vor, obschon die absoluten Mengen verzehrter Zellmembran und die Ausscheidungen bei Spelzmehl und Haselnusschalen nicht erheblich verschieden waren. Überhaupt ist die Menge der aufgenommenen Zellmembran nicht das Entscheidende für die Stoffwechselproduktsteigerung, wenn sie auch bei derselben Substanz unter Fütterung verschiedener Mengen zur Wirkung kommt. Bei Papierfütterung war der Zuwachs bei 48 g Zellulose Zufuhr pro Tag 22.1 Kalorien, bei 72 g Zellulose 39.4 Kalorien, was etwa ungefähr der Masse des aufgenommenen Papiers parallel geht.

Man kann den Schluß ziehen, daß im Durchschnitt die Zellmembranen eine Steigerung der Stoffwechselprodukte herbeiführen.

Die maximale Steigerung um 90.2 Kalorien der Stoffwechselprodukte macht im gegebenen Falle 36.5 Prozent der ganzen Zufuhr an Kalorien (246.4) in dem Präparate aus. Der Nährwert einer an sich schwer verständlichen Zellmembran kann also durch die Steigerung der Stoffwechselprodukte eingeschränkt oder auch ganz abgeglichen werden.

Die weitere Frage, ob die Rückwirkung der Zellmembran auf den Darm, wenn sie allein gefüttert würde, ihrer Größe nach nur dem Überschuß entspricht, der sich in obiger Tabelle über die Stoffwechselprodukte des normalen Fleischkotes ausdrückt, wird in einer späteren Abhandlung diskutiert werden.

Von dem Einfluß der Störung durch zu grob zerkleinertes Material habe ich hier absehen können, um aber einigermaßen als Richtlinie der Quantitätsverhältnisse ein Bild von einer solchen Wirkung zu geben, will ich erwähnen, daß Wicken mit Schalen, welche nicht fein zermahlen, sondern nur zerquetscht waren, einen Gesamtverlust von 40.6 Prozent aufgewiesen haben.

Man darf sagen: keine einzige Zellmembran kommt beim Hinde voll als ein Nahrungsmittel zur Wirksamkeit, weil die Ansprüche an die Stoffwechseleinwirkungen erhebliche sind. Daneben ist nicht zur Erörterung gekommen, daß die Lösung der Membranen auf einem Gärvorgang unter starker Gasbildung und Wärmeentwicklung beruht. Die Aufschließung der Zellmembran geht über die Bildung von Buttersäure und Essigsäure vor sich, was ich zuerst eingehend für das Brot näher untersucht habe.¹

Ein Faktor, der sich kaum allgemein schätzen läßt, aber auf die Beeinträchtigung des Nährwertes nicht unerheblich wirken kann, ist die Störung des Rohzustandes eines Tieres durch die Flatulenz, die manchmal sehr ausgeprägt sein muß, da der Kot stark von Gasen durchsetzt ist.

Die Zellmembran und Zellulose bei der menschlichen Ernährung.

VII.

Die Bedeutung der Zellmembranen für die menschliche Ernährung kann nur durch besondere Versuche am Menschen selbst festgestellt werden. Diese habe ich in so umfangreicher Weise ausgeführt, daß sich die allgemeinen Züge des Wertes der Zellmembranen darlegen lassen. Diese Untersuchungen hatten aber nicht die letzteren, losgelöst aus dem Verbande des Nahrungsmittels, zum Ziele wie in den Versuchen am Hinde, sondern es sind die wichtigsten zellmembranführenden Nahrungsmittel selbst der Untersuchung auf ihre Resorptionfähigkeit unterzogen worden. In einigen Fällen wurden auch aus praktischen Gründen einige als Zusatz zu Brotgetreide vorgeschlagene Zellmembranen untersucht.

In der menschlichen Kost werden die Zellmembranen natürlich eine sehr verschiedene Bedeutung annehmen. Im Gesamtdurchschnitt werden die Zerealien einen großen Einfluß ausüben, denn Brot und Mehl deckten in der Friedenszeit 42.4 Prozent aller Nahrung, dazu kommen 12 Prozent aus Kartoffeln und ein kleiner Rest von Gemüse und Obst. In der Kriegsernährung liegen die Verhältnisse, für die Stadtbevölkerung wenigstens, aber anders, sie mußte sich mit dem abfinden, was zu kaufen war, infolgedessen überwogen auch einmal die Kartoffeln, einmal die Kohlrüben, wohl auch Gemüse, wenn solches ausreichend zu kaufen war. Also kann man sagen, es werden alle möglichen, nach Friedensvorstellungen niemals frei gewählten Kombinationen vorgekommen sein.

¹ Zeitschr. f. Biol. Bd. XIX. S. 80.

Ich beginne die Betrachtung mit der Menge von Zellmembranen, welche bei verschiedener einseitiger Ernährung mit einem bestimmten Nahrungsmittel bei meinen Versuchen von gesunden kräftigen Personen verzehrt worden ist. Die nachstehende Tabelle gibt eine solche Übersicht, geordnet nach der Menge der täglich verzehrten Zellmembranen. Mensch.

(geordnet nach der Menge der verzehrten Zellmembranen.)

Nahrung	Resorbiert		Aufgenommen	
	Zellmembran	Zellulose	Zellmembran	Zellulose
Spezialschmelz	0.70	0.30	17.30	9.10
Spezialschmelz	2.60	3.55	18.00	9.30
Roggen 65prozentiger Ausmahlung	11.97	6.29	20.40	8.85
Roggen mit 20 Prozent Kartoffel	10.50	8.46	21.20	11.93
Roggen mit 20 Prozent Kartoffel	5.15	1.79	21.70	12.50
Weizenmehl	11.41	0.17	24.31	7.03
Roggen 65prozentiger Ausmahlung	11.15	3.46	24.72	10.73
Äpfel	22.74	13.89	29.40	10.73
Äpfel	24.11	12.15	30.69	16.69
Roggen 75prozentiger Ausmahlung	11.23	2.02	34.04	12.30
Kohlrüben	30.71	17.00	36.60	20.14
Roggen, Vollkorn	16.42	5.23	36.60	12.40
Roggen 75prozentiger Ausmahlung	11.91	3.91	37.06	13.38
Kartoffel	37.52	16.68	40.74	18.88
Kohlrüben	33.26	18.28	41.17	22.66
Roggen 82prozentiger Ausmahlung mit 20 Prozent Kartoffel	12.75	7.54	42.36	22.70
Roggen 82prozentiger Ausmahlung mit 20 Prozent Kartoffel	15.10	8.98	42.90	23.01
Roggen 82prozentiger Ausmahlung	23.80	5.34	43.30	12.20
Roggen, Vollkorn	17.48	4.32	43.50	15.03
Roggen 94prozentiger Ausmahlung	10.23	2.54	43.69	15.23
Roggen 94prozentiger Ausmahlung (B.)	13.45	2.45	44.91	15.16
Klopfenbrot	22.97	6.24	45.28	14.61
Roggen 94prozentiger Ausmahlung (B.)	22.49	2.51	45.40	10.87
Weizen mit aufgeschlossenem Stroh	3.59	0.86	45.56	28.34
Roggen 82prozentiger Ausmahlung	15.37	2.25	45.77	13.01
Spezialschmelz	14.30	7.60	46.20	22.60
Spezialschmelz	40.96	18.32	46.38	14.91
Wirsing	15.29	3.89	46.47	11.47
Klopfenbrot	17.38	1.75	47.94	11.47
Roggen 94prozentiger Ausmahlung (B.)	16.60	10.80	48.40	24.30
Spezialschmelz	24.26	7.35	49.00	16.56
Roggen, Vollkorn	18.60	10.10	55.40	27.80
Spezialschmelz	24.26	8.96	56.00	16.67
Spezialschmelz	33.97	8.96	56.00	16.67
Erdbeeren	5.70	3.90	56.80	27.30
Spezialschmelz	5.70	4.51	58.66	36.47
Weizen mit aufgeschlossenem Stroh	8.95	8.37	58.89	18.23
Rindfleisch	32.12	8.57	59.49	17.79
Rindfleisch	31.51	8.66	59.49	17.40
Grüdwitzbrot	34.20	9.10	61.80	20.97
Grüdwitzbrot	41.83	11.47	67.65	21.95
Kriegsbrot	37.51	10.28	70.82	21.95
Kriegsbrot	38.90	9.50	75.10	20.60
Mohrrüben	88.46	35.65	94.03	39.44

Die geringste Menge der Zellmembranen in einer ausschließlich vegetabilischen Kost betrug 17.3 g pro Tag, die höchste 94.03 g. Da der Nahrungsverbrauch bei den Versuchspersonen sich etwa auf 2900 Kalorien stellte und der maximalste Wert der Zellmembranen etwa 415 Kalorien betrug, so machten die Zellmembranen rund 14.8 Prozent aller Kalorien aus. Nach diesen Werten beurteilt, blieb die Aufnahme sehr wesentlich hinter dem zurück, was der Hund bei stärkster Inanspruchnahme seines Darmes übertragen konnte.

Es ist aber möglich, daß auch meine Versuchspersonen bei schwerer Arbeit noch mehr Nahrung hätten aufnehmen können, ob aber dabei die Verwertung der Nahrung noch gleichen Schritt mit der Verdauung bei Verzehr kleinerer Mengen von Nahrung gehalten hätte, kann dahingestellt bleiben, ist aber nach manchen anderweitigen Erfahrungen sehr fraglich.

Sehr häufig kehren Zahlen für die Zellmembran wieder, die sich zwischen 30 und 50 g im Tag bewegen. Die resorbierten Mengen von Zellmembran liegen zwischen 0.7 und 88.5 g pro Tag; günstigstenfalls deckten die resorbierten Zellmembranwerte, wenn man sie als vollwertigen Nahrungsstoff betrachtete dülfte, was nicht der Fall ist, 12.9 Prozent der täglichen Kalorienzufuhr. Die Zellmembran bleibt also stets nur ein untergeordneter Nahrungsstoff, zumal Fälle von so reichlichem Genuß selten sind. Das Mittel der in über 240 Versuchstagen resorbierten Zellmembranen betrug etwa 24.5 g, also 3.7 Prozent der Gesamtkalorien der Nahrungszufuhr. Dieser Wert wird in der Kriegszeit durch die Aufnahme des minderwertigen Brotes überschritten worden sein. Die resorbierte Zellmembran geht mit dem Verzehrten nicht parallel, im Gegenteil, es zeigen sich außerordentlich viele und ganz erhebliche Abweichungen, auf die wir noch einzugehen haben.

Die nachfolgende Tabelle gibt die Resultate geordnet nach den Mengen der täglich verzehrten Zellulose. Die Zellulosemengen bewegen sich zwischen 7.0 und 39.44 g für den Tag, häufig kehren Zahlen zwischen 20 und 30 g wieder; demgegenüber ist die Resorption im Durchschnitt ziemlich gering, ein einziges Maximum mit 35.6 g pro Tag, während sonst nicht einmal 20 g bei den anderen Nahrungsmitteln erreicht werden. Daraus ersieht man, wie wenig Bedeutung für uns im allgemeinen die Zellulose als Nährstoff besitzt. Im allerhöchsten Falle kämen 5.3 Prozent der Gesamtnahrung auf Zellulose, selbst wenn diese ein vollwertiger Nahrungsstoff wäre. In der Mehrzahl der Fälle wird kaum die Hälfte dieses Maximalwertes bei der durchschnittlichen Ernährung in Frage kommen.

Mensch.
Geordnet nach der Menge der verzehrten Zellulose.

Nahrung	Resorbiert		Aufgenommen	
	Zellmembran	Zellulose	Zellmembran	Zellulose
Weizenmehl	11.41	0.17	24.31	7.03
Roggen 65 prozentiger Ausmahlung	11.96	6.29	20.40	8.85
Speismehl, Mischmehl	0.70	0.30	17.20	9.10
Speismehl, Mischmehl	2.60	3.55	18.00	9.30
Roggen 65 prozentiger Ausmahlung	11.15	3.46	24.72	10.73
Äpfel	22.74	13.89	29.40	10.73
Roggen 94 prozentiger Ausmahlung (B)	22.49	2.51	45.40	10.87
Roggen 94 prozentiger Ausmahlung (B)	17.38	1.75	47.94	11.47
Roggen 65 prozentiger Ausmahlung mit 20 Prozent Kartoffel	10.50	8.46	21.20	11.93
Roggen 82 prozentiger Ausmahlung	23.80	5.34	43.30	12.20
Roggen 75 prozentiger Ausmahlung	11.23	2.02	34.04	12.30
Roggen, Vollkorn	16.42	5.23	36.60	12.40
Roggen 65 prozentiger Ausmahlung mit 20 Prozent Kartoffel	5.15	1.79	21.70	12.60
Roggen 82 prozentiger Ausmahlung	15.37	2.25	45.77	13.01
Roggen 75 prozentiger Ausmahlung	11.91	3.91	37.06	13.38
Klopfenbrot	22.97	6.24	45.28	14.61
Klopfenbrot	15.29	3.89	46.47	14.91
Roggen, Vollkorn	17.48	4.32	43.50	15.03
Roggen 94 prozentiger Ausmahlung (B)	13.45	2.45	44.91	15.16
Roggen 94 prozentiger Ausmahlung (B)	10.23	2.54	43.69	15.23
Äpfel	22.74	13.89	29.40	16.03
Roggen Vollkorn	24.26	7.35	49.00	16.56
Erdbeeren	33.97	8.96	56.00	16.67
Äpfel	23.11	12.15	30.69	16.69
Großtrottbrot	34.20	9.10	61.80	17.40
Frinkelbrot	31.51	8.66	59.49	17.79
Kartoffel	37.52	16.68	40.74	18.88
Kohlribben	30.71	17.00	36.60	20.14
Großtrottbrot	38.90	9.50	75.10	20.60
Kriegsbrot	41.83	11.47	67.65	20.97
Wirsing	40.96	18.32	46.38	21.03
Kriegsbrot	37.51	10.28	70.82	21.98
Kohlribben	33.26	18.28	41.17	22.66
Speismehl grob	14.30	7.60	46.20	22.60
Roggen 82 prozentiger Ausmahlung mit 20 Prozent Kartoffel	12.75	7.54	42.30	22.70
Roggen 82 prozentiger Ausmahlung mit 20 Prozent Kartoffel	15.10	8.98	42.92	23.01
Speismehl fein	16.60	10.80	48.80	24.30
Speismehl grob	5.70	3.90	56.80	27.30
Speismehl fein	18.60	10.10	55.40	27.80
Weizen mit aufgeschlossenem Stroh	3.55	0.86	45.56	28.34
Weizen mit aufgeschlossenem Stroh	8.95	4.51	58.66	36.47
Mohrrüben	88.46	35.65	94.03	39.44

In allen Versuchen war eine vernünftige Erweise insofern gewahrt worden, als die Zubereitung der Nahrungsmittel und die Wahl derselben den sinnlosen Genuß von Schalen, Kernen, harten und verholzten Teilen

natürlich ausschloß. Wenn man die oft ungeheuer massigen Entleerungen des Italieners namentlich zur Reifezeit des Obstes sieht, so begreift man, daß bei den eigentümlichen Volksitten, wie sie da und dort herrschen, auch gelegentlich noch größere Zellmembranmengen durch den Körper gejagt werden mögen, jedenfalls aber dann mit Verhusten, welche die Grenzwerte bei vernünftiger Lebensweise erheblich überschreiten und auch sonst nicht ohne Rückwirkung bleiben.

Man darf sich nicht vorstellen, daß eine Überlastung des Darmes die gesamte Resorption aufhöbe. Wie ich in einigen Versuchen gesehen habe, wird bei Überschreitung der gesunden Grenzen der Resorption gewissermaßen ein Teil unresorbiert gelassen, ein Anteil, der mit zunehmender weiterer Überlastung größer wird. Selbst bei Katarrhen des Darmes und dünnen Stühlen ist die Resorption nicht aufgehoben.

Würden wir in der Lage sein, die Verdauung großer Volksgruppen genau zu studieren, so würde man neben dem Zweckmäßigen natürlich viel Unzweckmäßigen in der Ernährung und der Wahl der Nahrungsmittel begegnen.

Die Tabellen zeigen anscheinend eine sehr wechselnde Reihe der verschiedensten Resorptionsmöglichkeiten und des Zellmembrangehaltes unserer Nahrung, der uns als einfache Erfrischungstasche bisher nicht deutlich ins Bewußtsein getreten war. Der Genuß dieser faserigen Holzigen Massen prägt sich keineswegs für das Gefühl bei dem Verzehr der Speisen aus. Über die Auscheidung haben wir zumeist bei wechselndem Wassergehalt und Volumen des Entleerten ohne eines sicheren Anhalt für den wirklichen Verlust.

Die Zahlen scheinen ziemlich wandelbare Verhältnisse zum Ausdruck zu bringen, doch findet man bei genauer Durchsicht bald die Lösung. Betrachtet man in beiden vorstehenden Tabellen die Fälle mit günstiger Resorption der Zellmembran und Zellulose, so wird man ohne weiteres darauf geführt, die Versuche in der Weise zu ordnen, daß die gleichen Nahrungsmittelgruppen zugehörigen Zahlen zusammengefaßt werden. Die Generaltabelle zeigt, daß in der Abteilung für Gemüse und Obst die größte Menge der Zellmembran verzehrt und auch verdaut worden ist. Ebenso ist hier die verzehrte Zellulosemenge die höchste, aber auch wiederum die verdauten Zellulose am bedeutendsten.

Bei den Brotsorten sind nur solche mit 65 Prozent Ausmahlung und darüber in der Tabelle aufgeführt, bei ausschließlicher Ernährung mit voll ausgemahltem Brot erreicht man hier 75 g Zellmembran in maximo. Man sieht mit einem Blick, daß die Gruppe Brot offenbar andere Verdaulichkeitswerte besitzt wie jene von Obst und Gemüse und zwar geringere in jeder Hinsicht.

(Gemüse und Obst:

Nahrung	Verdaut im Tag g		Verzehrt im Tag g	
	Zellmembran	Zellulose	Zellmembran	Zellulose
Äpfel	22.74	13.89	29.40	16.03
Apfel	24.11	12.15	30.69	16.69
Kohlribben	30.71	17.00	36.60	20.14
Kartoffeln	37.52	16.68	40.74	18.88
Kohlribben	33.26	18.28	41.17	22.66
Wirsing	40.96	18.32	46.38	21.03
Erdbeeren	33.97	8.96	56.00	16.67
Möhrrüben	88.46	35.65	94.03	39.44
Verschiedene Brotsorten und solche mit Kartoffelzusatz:				
Roggen 65prozentiger Ausmahlung	11.96	6.29	20.40	8.85
Roggen 65prozentiger Ausmahlung mit 20 Prozent Kartoffel	10.50	8.46	21.20	11.93
Roggen 65prozentiger Ausmahlung mit 20 Prozent Kartoffel	5.15	1.79	21.70	12.60
Weizenbrot 80prozentiger Ausmahlung	11.41	0.17	24.31	7.03
Roggen 65prozentiger Ausmahlung	11.15	3.46	24.72	10.73
Roggen 75prozentiger Ausmahlung	11.23	2.02	34.04	12.30
Roggen, Vollkorn	16.82	5.23	36.60	12.40
Roggen 75prozentiger Ausmahlung	11.91	3.91	37.06	13.38
Roggen 82prozentiger Ausmahlung mit 20 Prozent Kartoffel	12.75	7.54	42.30	22.70
Roggen 83prozentiger Ausmahlung mit 20 Prozent Kartoffel	15.10	8.98	42.90	23.01
Roggen 82prozentiger Ausmahlung	23.80	5.34	43.30	12.20
Roggen, Vollkorn	17.48	4.32	43.50	15.03
Roggen 94prozentiger Ausmahlung	10.23	2.54	43.69	15.23
Roggen 94prozentiger Ausmahlung (B.)	13.45	2.45	44.91	15.16
Klopfertbrot	22.97	6.24	45.28	14.61
Roggen 94prozentiger Ausmahlung (B.)	22.49	2.51	45.40	10.87
Roggen 82prozentiger Ausmahlung	15.37	2.25	45.77	13.01
Klopfertbrot	15.29	3.89	46.47	14.91
Roggen 94prozentiger Ausmahlung (B.)	17.38	1.75	47.94	11.47
Roggen, Vollkorn	24.26	7.35	49.00	16.56
Roggen 94prozentiger Ausmahlung (B.)	32.12	8.37	58.89	18.23
Finklerbrot	31.51	8.66	59.49	17.79
Finklerbrot	34.20	9.50	61.80	17.40
Kriegsbrot	41.83	11.47	67.65	20.97
Kriegsbrot	37.51	10.28	70.82	21.95
Kriegsbrot	38.90	9.50	75.10	20.60
Brot mit Surrogatzusätzen:				
Weizen mit aufgeschlossenen Stroh	3.59	0.86	45.56	28.34
Roggen mit grobem Speizehl	14.30	7.60	46.20	22.60
Roggen mit feinem Speizehl	16.60	10.80	48.20	24.30
Roggen mit feinem Speizehl	18.60	10.10	55.40	27.80
Roggen mit gröberem Speizehl	5.70	3.90	56.80	27.30
Weizen mit aufgeschlossenen Stroh	8.95	4.51	58.66	36.47

Bei den Broten mit Surrogatzusätzen sind große Mengen der Zellmembranen nicht verzehrt worden, nur etwa in der Höhe von Vollkorn-

brof, weil die ungünstige Eigenschaft solcher Zusätze eine stärkere Beimischung nicht gestattet. Es lagen also etwa Verhältnisse vor, die man vom diätetischen Standpunkt noch als erträglich bezeichnen könnte. Die Verhältnisse der Resorbierbarkeit sind jedenfalls recht ungünstig.

Die drei Gruppen verschiedener Nahrungsmittel zeigen als Gesamtresultat folgendes Ergebnis der Resorption für Zellmembran und Zelllose:

	Zellmembran Prozent	Zelllose Prozent
Gemüse und Obst	83.12	82.15
Brotarten verschiedener Ausmahlung	44.77	38.91
Brot mit Surrogatbeimengung	21.64	22.60

Gemüse und Obst zeigen also eine außerordentlich gute Resorption der Zellmembran wie der Zelllose. Beide erreichen ja nicht das Stärkenmaß, das zu 99 Prozent resorbiert werden kann; aber man kann sagen, die Zellmembran trägt bei ihnen zu einer starken Belastung des Darms überhaupt nicht bei, soweit ungelöste Substanzen in Frage kommen. Bei diesen Versuchsreihen ist sogar noch ein Versuch mit Erdbeeren mit einbezogen, bei denen es sich genau genommen gar nicht einmal um die Verdaulichkeit der Zellmembran, sondern darüber um Kerne handelt, die allen Anschein nach überhaupt nicht angegriffen werden. Auch für die anderen in Zellen eingeschlossenen Nährstoffe hat diese leichte Löslichkeit ihre Bedeutung. Das sieht man auch z. B. bei der Auswertung des Proteins, welche viel geringer sein dürfte, wenn die Zellmembran nicht so erstaunlich weit verdaulich wäre. Die Lösung der Zelllose ist hier ebenso vollkommen wie die der Zellmembran, d. h. ein eigentliches elektives Verhalten der ersteren ist nicht zu konstatieren.

Wesentlich anders liegt die Resorption bei den verschiedenen Brotarten, wenn man von den feinen Mehlen unter 65 Prozent Ausmahlung oder von den Keimlingen absieht, d. h. wenn man Mehlsorten betrachtet, bei denen die Kleie, Frucht- und Samenschale und die Kleiezellschicht als Zellmembran überwiegen. Das sind Zellmembran und Zelllose, deren Resorption etwa halb so gut ist wie jene der Gruppe für Obst und Gemüse. Die Widerstände liegen also in der Natur der Zellmembran; die Zelllose zeigt sich weniger leicht aufnehmbar, als der Zellmembrandurchschnitt ergibt. Man wird sich erinnern, daß die Brotzellmembran der Frucht- und Samenschale ungenießbar viel Pentose enthält, viel mehr als die Pflanzen der Obst- und Gemüsegruppe. Man könnte daher versucht sein, hier die Aufklärung über die Verschiedenheit in dieser Inkarnation mit Pentose zu suchen. Aber an sich sind die Pentose viel leichter aufzulösen als die Zelllose, und dann haben wir in der nächsten Gruppe bei den Surrogatstoffen den Beweis, daß weder Pentose

noch etwa Liguine besonderer Art Ursache des verminderten Verdauungsvermögens sind. Was man aber an Surrogatzusätzen — die ungünstigsten sind außer Betracht gelassen — dem Brote beimengt oder beimengen versucht hat, sind für diesen Zweck sehr minderwertige Substanzen, deren Resorbierbarkeit fast auf ein Viertel derjenigen der Obst- und Gemüsegruppe sinkt.

Trotzdem wurde von vielen dieser hier angeführten Substanzen eine Zeitlang behauptet, das Brot habe durch sie an Verdaulichkeit nichts eingebüßt. Man hat also gerade Zusätze empfohlen, die sich am allerwenigsten für den menschlichen Darm eignen. Unter diesen Substanzen befindet sich auch aufgeschlossenes Stroh, das sich als „Kohlhydratersatz“ beim Kinde sehr gut bewährt hat. Die Liguine fehlen darin fast ganz, und die Pentose sind ganz erheblich vermindert. Wohlte man die Pentose zur Erklärung der geringen Verdaulichkeit der Zellmembranen der Frucht- und Samenschale heranziehen, so müßte man die Voraussetzung machen, daß ein Teil des Pentosans besonders fest gebunden ist und erschwerend auf die Verdauung wirkt. Ich habe auch in Versuchen am Hund mit Birkenholz, denn ich einen großen Teil der Liguine und Pentose entzogen hatte, nicht beobachten können, daß durch diese Behandlung die Verdaulichkeit der Zelllose zunimmt.

So wird man mehr zu dem Gedanken geführt, die Zelllose möchte selbst in ihrer verschiedenen Konstitution die Ursache für die leichte und schwere Verdaulichkeit sein. Solche Möglichkeiten sind ja nicht von der Hand zu weisen; der Zustand der Molekulargröße, die verschiedenen Verbindungen der Moleküle zur Kollidstruktur könnten sehr wohl als entscheidend für die Auflösbarkeit angesehen werden, und die Fermente der Bakterien können recht wohl auf solche Unterschiede abgestimmt sein. Die oft gehörte Scheidung in „junge Zelllose“ und „alte Zelllose“ gewänne einen Sinn.

Die Zellmembranen des Getreidekornes, welche nicht der Frucht- und Samenschale und der Kleberzellschicht angehören, sind nach meinen Untersuchungen in der Zusammensetzung und Verdaulichkeit von den ersteren verschieden.

Reine Weizenmehle und reine Keimlingsmehle hat man bei einer Gruppierung zwischen Obst und Gemüse und die Brotarten höherer Ausmahlung zu stellen.

Ob Unterschiede zwischen dem Hund und dem Menschen in der Resorption bestehen, läßt sich für alle drei Gruppen, die oben angeführt sind, nicht sicher sagen, weil ich beim Hund nicht ganz die nämlichen Nahrungsmittel verflutert habe. Bei Gemüse und Obst sind die Versuche am Hund spärlich, für Brot ist nur die Kleie und ein Versuch als Vergleich vorhanden, dagegen sind dieselben Surrogate verflutert worden.

Es hatten sich S. 83 gefunden:

	Zellmembran, resorbl.	Zellhülle, resorbl.
Für Obst und Gemüße	53.5	37.4
„ „ Kleie und Brot	48.7	21.9
„ „ Surrogate	29.7	28.7

Der Hauptunterschied zwischen Mensch (s. S. 98) und Hund scheint in der Zellhülleresorption zu liegen, sie bewegt sich bei letzterem zwischen 21.9 und 37.4 Prozent, während der Mensch bis zu 81.4 Prozent in der Obst- und Gemüsegrenne resorbiert; hier ist auch der größte Unterschied vorhanden, bei Kleie (Hund) und Brot (Mensch) sind die Unterschiede nicht so wesentlich und in der dritten Gruppe besteht ein geringes Mehr in der Resorption auf der Seite des Hundes, wobei man zu bedenken hat, daß in dem einen Fall die Surrogate mit Fleisch, im anderen mit Brot zusammen verfertigt wurden, was vielleicht von Bedeutung sein kann.

Prozentige Verdaulichkeit der Bestandteile der Zellmembran.

	Obst und Gemüse:		
	Zellhülle Prozent	Pentosan Prozent	Restsubstantz Prozent
Äpfel	77.74	65.99	79.37
Kohlrüben	82.60	90.60	68.80
Wirsing	87.07	88.19	89.91
Beeren	53.76	57.94	65.20
Kartoffeln	82.95	90.41	96.72
Mohrrüben	90.36	95.81	97.21
Mittel	79.06	81.81	82.86

Brote und solche mit Kartoffelbeimischung:

Weizenbrot	2.42	61.27	55.82
Roggenbrot (Mischmehl)	20.90	4.40	—
Roggenbrot (Mischmehl)	38.60	46.90	48.00
Roggenbrot (Mischmehl)	49.20	62.20	47.60
(Hovithbrot)	51.70	37.00	60.20
Roggenbrot 65prozentiger Ausmahlung	42.60	12.10	38.50
Roggenbrot mit Kartoffel	30.50	58.30	42.20
Roggenbrot 82prozentiger Ausmahlung	35.40	52.90	8.30
Roggenbrot mit Kartoffel	20.18	39.58	36.88
Roggenbrot 94prozentiger Ausmahlung (B.)	33.11	60.59	19.41
Klopfbrot 94prozentiger Ausmahlung	47.29	68.25	28.17
Finkelnbrot	21.93	42.04	34.13
Roggenbrot 75prozentiger Ausmahlung	32.81	45.46	33.26
Mittel	32.81	45.46	33.26

Brot mit Surrogatzusatz:

Reines Speisemehl	40.50	33.90	40.50
Gröberes Speisemehl	24.00	11.90	25.30
Aufgeschlossenes Stroh	7.73	9.15	31.20
Mittel	24.80	18.32	32.30

Betrachtet man aber in der Gemüsegruppe den erheblichen Unterschied der Resorption, z. B. bei den Mohrrüben, als reine Zellmembran, wie sie beim Hund gefittet werden, und die hohen Resorptionszahlen beim Menschen mit frischen Mohrrüben, so weist das weniger auf Speziesunterschiede als auf andere Ursachen hin, nämlich auf den Umstand, daß die unversehrten Zellmembranen der Gemüse als Teile des Parenchyms für die Einwirkung der Fermente viel günstiger gestellt zu sein scheinen als die rein dargestellten Membranen der gleichen Herkunft. Materialien, welche außerdem in der Pflanze nicht zum Austausch von Nährmaterial dienen, leisten der Verdauung erheblichen Widerstand; bei Hund und Mensch sind daher auch die Spelze nicht leicht verdaulich und noch weniger die sogenannte aufgeschlossene Zellhülle.

Die einzelnen Komponenten der Zellmembran sollen noch einer Betrachtung hinsichtlich der Verschiedenheit der Resorption unterzogen werden (Tabelle S. 100). Bei Gemüse und Obst finden sich keine wesentlichen Abweichungen, und wenn bei den Erdbeeren nicht die Kerne schwer resorbierbar wären, würden auch die prozentigen Werte im allgemeinen gut übereinstimmen. Eine elektive Bevorzugung in der Resorption findet in dieser Gruppe kein Bestandteil der Zellmembran. Anders liegt es bei den Brotsorten. Wenn man freilich das Gesamtmittel der Resorption betrachtet, liegt nur ein schwaches Übergewicht auf Seiten der Pentosan- und Restsubstanzeresorption, im einzelnen aber finden sich viele Abweichungen.

Die Restsubstantz wird nicht immer gut resorbiert; so scheint die Kartoffel ihre Resorption zu mindern, auch Roggenbrot (Zeile 2) hat Kartoffelzusatz bestimmter Höhe enthalten. Diese Brotart zeigte überhaupt ein abweichendes Verhalten. Ziemlich unverdaut blieb die Zellhülle bei Weizenbrot (etwa 80 Prozent Ausmahlung). Bei den Surrogaten wird das Resultat durch die verminderte Resorption der Pentosane gekennzeichnet. Hier liegen überhaupt größere Abweichungen der Ergebnisse vor, so bei dem Speisemehl, dessen fein vermahlene Teile viel besser aufgenommen werden wie die etwas weniger fein vermahlenen; bei dem aufgeschlossenen Stroh ist der größte Teil des natürlichen Pentosangehaltes durch die Natronbehandlung beseitigt. Der Rest ist schwer aufnehmbar, während die nur in unbedeutenden Mengen vorhandene Restsubstantz besser resorbiert wird.

Die Pentosen in der menschlichen Kost.

VIII.

Wie die Zellmembran als neuer Bestandteil in den Kreis der Betrachtung bei den pflanzlichen Nahrungsmitteln getreten ist, so tritt das gleiche noch für einen anderen Bestandteil zu, der durchaus keine untergeordnete Bedeutung besitzt, für die Gruppe von Stoffen, welche Erythrol bilden und im wesentlichen aus Pentosan und Pentosen bestehen. Nicht daß man sie bisher ganz unbeachtet gelassen hätte. Ihr Vorkommen in allen unseren vegetabilischen Nahrungsmitteln, ihre systematische Feststellung in den Nahrungsmitteln, ihre Verteilung in denselben, ihre Beziehung zu den Zellmembranen und die Resorptionsmöglichkeiten habe ich durch die anderenorts veröffentlichten Untersuchungen zuerst systematisch zu einem gewissen Abschluß gebracht. Von den zahlreichen Einzelheiten sollen die wesentlichsten im nachfolgenden betrachtet werden.

Auf die Berücksichtigung der Pentosane bin ich gleich bei meiner ersten Untersuchung gelegentlich der Verdaulichkeit des Birkenholzes¹ gelenkt worden. Ihre Bedeutung für den Tierkörper nach dem Stande des heutigen Wissens zu behandeln, kann ich unterlassen. Eine sehr eingehende Darstellung hierüber findet sich bei Bach.² Ich beschränke mich auf die Ergebnisse meiner Versuche.

Die Pentosen und Pentosane sind in den pflanzlichen Nahrungsmitteln in sehr verschiedener Menge enthalten, bleiben aber innerhalb gewisser Grenzwerte. Ich habe die analytischen Ergebnisse als „Pentosan“ berechnet, um einen einheitlichen Ausdruck zu haben, und will damit nicht sagen, daß im Einzelfall nur Pentosane vorgelegen haben. Ich will nicht hier nicht weiter in die Frage einlassen, ob nicht neben Pentosen und Pentosanen noch andere Erythrol liefernde Substanzen vorhanden sind.

Ein Pentosan führender Bestandteil ist in den früheren Abschnitten schon betrachtet worden, das ist die Zellmembran selbst, welche bei den verschiedenen Gruppen der Nahrungsmittel sehr verschiedene Mengen von Pentosan zu führen pflegt. Doch ist in jedem Nahrungsmittel Pentosan vorhanden, und zwar fest gebunden, erst löslich nach mehr oder minder weitgehender Eingriffen der Verdauung. Darauf muß besonders hingewiesen werden, weil andere hierher gehörige Körper, soweit sie in den Pflanzen vorkommen, im Gegensatz zur Zellmembran zu den leicht ver-

daulichen Pentosanen gehören. Solche Körper, wasserlöslich, werden ohne weiteres der Resorption zugeführt werden. Jedenfalls sind diese beiden Gruppen wohl auseinander zu halten, wie das auch in den betreffenden Untersuchungen in dieser Zeitschrift gesehen ist.

Manche Pentosen sind ohne weiteres beim Auspressen des Saftes zu erhalten. Ich habe in vielen Fällen den Preßsaft auf Pentosen untersucht, und nachstehend mögen einige Beispiele für diese leicht erhältlichen und sicher auch leicht verdaulichen Pentosen angeführt sein.

Von den Gesamtpentosen gehen in den Preßsaft über:

Salat	3.20 Prozent
Spinat	4.30
Kartoffel	5.00
Meerrettich	6.00
Blaumenkohl	9.60
Äpfel	10.76
Gelbe Rüben	11.60
Wirsing	13.00

Im ganzen ist diese im Preßsaft zu erhaltende Menge der Pentosen nicht groß, immerhin mag bedacht werden, daß sie von den nicht in der Zellmembran befindlichen Pentosen einen höheren Prozentsatz ausmachen, als es obige Zahlen erscheinen lassen. Ob es auch in Wasser lösliche Körper gibt, welche zwischen den Pentosanen und den Pentosen stehen, wird als eine offene Frage behandelt. Ich möchte mich in positivem Sinne aussprechen. Speziell bei der Natriumbehandlung mancher Zellmembranen erhält man Produkte, welche nicht direkt die Pentosereaktion geben, wohl aber die Reaktion mit Phlorogluzinsalzsäure in der Kälte, und sich dann durch Kochen mit Säuren umwandeln lassen.

In der nachstehenden Tabelle habe ich den „Pentosan“gehalt der wichtigsten von mir untersuchten pflanzlichen Nahrungsmittel aufgeführt, berechnet pro 100 Teilen Trockensubstanz; außerdem den Gehalt der Zellmembran an Pentosan; aus beiden Werten läßt sich berechnen, wieviel dann Pentosan auf die zellmembranfreie berechnete Substanz geht.

In der Gruppe Obst findet man Grenzwerte von 2.31 bis 10.94 Prozent Gesamtpentosen, dieses stellt also einen bemerkenswerten Nahrungsstoff dar. Die Verschiedenheiten im morphologischen Bau, d. h. dem Zellmembrangehalt, dem Gehalt an Kernen bei den Erdbeeren und an Steinzellen bei den Birnen, sind zu beachten. Das Pentosan dieser Elemente abgezogen, vermindert den Gesamtpentosangehalt erheblich und macht

¹ *Dies. Archiv.* 1915. Physiol. Abt. S. 104.

² *Münchener med. Wochenschr.* 1917. H. 4.

hin zwischen den einzelnen Obstarten ziemlich nahe übereinstimmend. Die Haselnußkerne, die hauptsächlich Fette und Eiweiß einschließen, haben nach Abzug der Zellmembran den geringsten Gehalt an Pentosen.

	Gesamter Pentosan- gehalt der Trocken- substanz	Pentosan aus- schließlich der Zellmembran	Pentosan in der Zellmembran in Prozenten	Zellmembran-Pen- tosan in Prozenten der ganzen Masse
--	---	---	--	--

Leguminosen:

Linsemehl	4.34	—	—	—
Erbsenmehl	4.61	—	—	—
Zitfenchsemehl	5.00	—	—	—
Vogelweizenmehl	5.09	—	—	—
Vicia sat., ganze Körner	5.49	—	—	—

Brotgetreide:

Reines Roggenmehl	2.65	—	—	—
Polirtes Reismehl	2.52	—	—	—
Reines Weizenmehl	2.72	—	—	—
Reines Weizenmehl	2.65	—	—	—
Reines Weizenmehl	3.36	—	—	—
Reines Weizenmehl	4.52	3.17	0.19	5.7
Reines Weizenmehl	4.13	4.02	0.50	11.1
Weizen 80prozentiger Ausmahlung	6.90	4.21	2.69	39.0
Roggen 65prozentiger Ausmahlung	4.16	3.75	0.61	14.7
Roggen mit 20 Prozent Kartoffel	4.06	3.51	0.51	12.8
Roggen 82prozentiger Ausmahlung	8.25	5.89	2.36	28.6
Roggen mit 20 Prozent Kartoffel	7.54	5.87	1.67	22.1
Vollkorn Gerovitt	8.80	5.33	3.47	39.5
Vollkorn Roggen	9.77	6.79	2.98	30.5
Schälabfall	38.18	—	—	—
Keine Kleie	36.57	—	—	—
Speisemehl	40.08	—	—	—
Speisemehl	31.74	—	—	75.9
Roggenkeimlinge	29.25	4.78	2.55	92.5
Keimlinge	7.33	4.88	1.63	34.8
Keimlinge	6.51	—	—	25.0

Pflanze:

Steinpflanze	2.21	1.85	0.36	16.3
------------------------	------	------	------	------

Verschiedenes:

Haselnußschalen	29.02	—	—	—
Dattelnkerne	5.22	—	—	—
Kaffeebohnen	4.41	—	—	—
Kartoffelschalen	7.88	—	—	—

Obst:

	Gesamt-pentosan- gehalt der Trockensubstanz	Pentosan in der Zellmembran in Gramm	Pentosan aus- schließlich der Zellmembran	Vom Gesamt- pentosan ist in der Zellmembran in Prozenten
Haselnußkerne	2.31	1.58	0.73	68.3
Kirschen	4.91	2.38	2.53	48.4
Äpfel	4.82	0.61	4.21	12.7
Äpfel	6.92	3.20	3.72	46.2
Äpfel	7.09	2.25	4.84	31.7
Äpfel	6.99	3.32	3.67	47.4
Äpfel	7.71	3.84	3.87	49.8
Äpfel	10.85	8.49	2.06	78.1
Äpfel	10.94	6.79	4.15	62.1

Gemüse:

Brennereis	4.44	2.82	1.62	63.5
Chirke	7.21	3.89	3.32	53.9
Rhabarber	7.56	3.95	3.61	52.2
Spargel	7.72	2.31	5.41	29.9
Salat	7.73	6.02	1.11	85.6
Spinat	7.82	6.43	1.39	82.2
Wirsing	8.50	6.54	1.94	76.9
Wirsing	8.59	6.67	1.92	77.6
Wirsing	9.58	5.65	3.93	58.9
Blankraut	8.60	—	—	—
Rosenkohl	9.12	—	—	—
Grünkohl	9.39	—	—	—
Binnenkohl	10.00	7.21	2.79	72.1

Wurzelgewächse u. dgl.:

Schwanzwurz	4.87	3.91	0.96	80.3
Kartoffel	5.50	5.00	0.50	90.9
Rote Rüben	6.04	—	—	—
Telower Rüben	7.18	—	—	—
Kohlrüben	7.30	4.59	2.71	62.9
Gelbe Rüben	7.63	5.85	1.78	76.6
Meerrettich	8.33	6.28	2.05	75.4
Meerrettich	9.26	6.58	2.68	71.1

Bei den Äpfeln drückt sich die Qualität in der Menge der Gesamt-pentose aus. Die besten Sorten enthalten wenig Zellmembranen und wenig Pentosan. Nach Abzug des Zellmembranpentosan verschwinden die Differenzen zwischen den verschiedenen Arten, wie es scheint. Die Binnen-, sonst sehr pentosanreich, enthalten im Mittel für die zellmembranfrei berechnete Masse kaum wesentlich andere Pentosanzahlen wie die Äpfel. Bei den Gemüsen bewegt sich der Pentosangehalt in ähnlichen Grenzen wie bei dem Obst, dessen Minimum von 4.4 Prozent bei der Kresse steht

ein Maximum von 10.0 Prozent bei Blumenkohl gegenüber. In der Mehrzahl der Fälle, d. h. nur den Spargel ausgenommen, ist mehr als die Hälfte, in manchen Fällen über acht Zehntel der Gesamtpentosane in der Zellmembran abgelagert. Bei den Wurzelgemüsen finden sich 63 bis 91 Prozent aller Pentosane in der Zellmembran. Die Menge der Zellmembran ist also bei ihnen sehr ausschlaggebend für den Gesamtgehalt an Pentosan.

Die zellmembranfrei berechneten Nahrungsstoffe dieser Gruppe sind für Kresse, Salat, Spinat sehr gering, da diese überhaupt außer Eiweiß und Zellmembran wenig andere Nährstoffe, vor allem kaum nennenswert Kohlehydrate enthalten. Beim Wirsing wurden bei zwei Proben sehr geringe, in einer weiteren Probe aber doch nicht unerhebliche Mengen von Pentosan festgestellt. Gurken und Rhabarber führen auch in der zellmembranfreien Substanz etwa so viel Pentosane wie Obst; der Blumenkohl steht zwischen den niedersten Werten und jenen von Gurken und Rhabarber; recht hoch bemißt sich der Pentosangehalt des Spargels. Die Wurzelgewächse schwanken im Pentosangehalt etwa innerhalb der Grenzen der bisher betrachteten Gruppe. Die Hauptmasse der Pentosane steckt in der Zellmembran, nach Abzug dieser enthalten Kartoffeln und Schwarzwurzel nur minimale Mengen von Pentosan, und auch die Werte der übrigen erreichen noch nicht einmal 3 Prozent. Wollte man die Brotfrüchte mit den anderen Nahrungsmitteln vergleichen, so müßte man vom Gehalt des ganzen Kornes ausgehen, dann würde man einen Gesamtpentosangehalt von 10 Prozent finden, der bisher die oberen Grenzen des Pentosangehaltes überhaupt darstellt.

Solche Brote werden nur ausnahmsweise, wie z. B. jetzt in der Kriegszeit, genossen. Es hat daher mehr Interesse, den Zusammenhang zwischen dem Ausnahmsgrad und dem Pentosangehalt zu berücksichtigen; da die Kleie so außerordentlich große Mengen von Pentosan führt, versteht sich die Bedeutung der Ausnahme für den Pentosangehalt von selbst. Alle feinen Mehle der Zerealien führen wenig Pentosan, wie sie wenig Zellmembran führen; mit zunehmendem Ausnahmsgrad steigt dann der Pentosangehalt. Im höchsten Falle trafen 39.5 Prozent des Pentosangehaltes auf Zellmembran, verglichen mit Gemüsen und Wurzelgewächsen also immerhin noch niedrige Werte.

Nach dem Abzug des Pentosangehaltes der Zellmembran enthalten alle Mehle noch Pentosane, und zweifellos wächst mit zunehmender Ausmahlung auch der Gehalt des Mehles an Pentosan, auch wenn das Zellmembranpentosan in Abzug gebracht wird. Näheres müßte erst durch systematisches Vornahmen festgestellt werden, interessiert aber hier zunächst nicht weiter.

Ich habe beobachtet, daß die Menge der Methylpentosen relativ in Mehl größer ist als in der Frucht- und Samenstärke.

Von 100 Teilen Gesamtpentososen waren Methylpentosane:

In der äussersten Schale	1.1 Teile
In der Kleie (stärkefrei)	2.5 "
Im Vollmehl	10.0 "
Im feinsten Mehl	14.5 "

Demnach wird auch die Qualität der Pentosane in einzelnen Nährstoffen verschieden sein können. Das Material über die Leguminosen ist zu beschränkt, um Näheres auszusagen. Der Pentosangehalt entsprach mittleren Mehlsorten der Zerealien, bei der Vogelwecke sind auch die gesamten Zellmembranen mit vernahen worden. Die Pentosane in der Zellmembran erreichen annähernd den Prozentsatz wie bei den Zerealien hoher Ausmahlung. Für die zellmembranfreie Substanz ist der Pentosangehalt gleichfalls dem der Zerealien ähnlich gewesen. Pilze sind pentosanarm und enthalten wenig Pentosan in der Zellmembran.

Nach diesen Auseinandersetzungen kann man sich auch ein Bild von der allgemeinen Bedeutung der Verteilung der Pentosane in den aufgeführten Nahrungsmitteln machen.

Nicht mit allen aufgeführten Nahrungsmitteln konnten Ausnutzungsversuche am Menschen gemacht werden, aber für alle wesentlichen Gruppen der Vegetabilien kann ich die entsprechenden Ergebnisse für die Resorption der Pentosane beim Menschen geben; auf die Schilderung des Verhältnisses beim Hund glaube ich hier verzichten zu können, da im großen und ganzen sich etwa dasselbe ergibt, was sich für den Menschen sagen läßt.

In nachfolgender Tabelle finden sich die näheren Angaben über die Resorption der Gesamtpentosane. Ausgezeichnet werden die Pentosane bei Gemüsen und Obst resorbiert, auch deshalb, weil ja hier die Resorption der Zellmembran so weitgehend ist. Im Mittel wurden 94.6 Prozent resorbiert, obschon dabei die Zellmembranpentose imbegriffen ist. Die Menge der Resorption betrug bis zu 28.45 g pro Tag = 110.9 Kalorien, der geringste Wert war 10.54 g pro Tag. Beteiligten sie sich also hier auch höchstens mit ein paar Prozenten am Stoffwechsel, so ist ihre Menge doch nicht zu vernachlässigen.

Ungünstiger steht die Resorption bei den verschiedenen Brotsorten; im Gesamtdurchschnitt wurden 77.6 Prozent aller Pentosane resorbiert, der Rest entfällt hauptsächlich auf das nicht resorbierte Pentosan der Zellmembran. Bei dem Brot kommt die größte tägliche Pentosan-

resorption überhaupt zur Beobachtung = 54.5 g = 212.5 Kalorien
= 7.5 Prozent des Tagesumsatzes.

Gemüse und Obst für sich betrachtet:

Gesamtpentosane im Tag in Gramm:	verdaut	aufgenommen
N a h r u n g		
Kohlröhren	10.54	12.22
Wirsing	12.51	13.75
Erdbeeren	11.99	15.19
Äpfel	13.73	17.94
Mohrrüben	17.51	18.00
	17.22	18.71
	28.45	29.93

Reine Brotsorten und solche mit Kartoffelzusatz:

Weizenmehl fein	14.24	15.23
Mischmehl	16.90	24.70
Roggen 65prozentiger Ausmahlung mit Kartoffeln	16.60	25.20
Roggen 65prozentiger Ausmahlung	22.50	26.80
Roggen 65prozentiger Ausmahlung mit Kartoffeln	22.50	27.10
Feines Weizenmehl	20.80	27.50
Weizen, Vollkorn	27.89	29.57
Roggen 65prozentiger Ausmahlung	25.18	29.63
Roggen, Vollkorn	21.90	32.80
Roggen 82prozentiger Ausmahlung	34.30	43.50
Roggen 82prozentiger Ausmahlung mit Kartoffeln	31.20	44.00
Roggen 82prozentiger Ausmahlung	35.60	48.00
Roggen, Vollkorn	39.60	52.80
Roggen 82prozentiger Ausmahlung	42.00	53.40
Roggen, Vollkorn	42.00	56.90
Roggen, Vollkorn	48.40	58.20
Großtrottbrot	48.10	62.40
Großtrottbrot	54.50	73.70

Brotsorten mit Zusätzen von Surrogaten:

Speisemehl grob	19.20	32.90
Speisemehl fein	22.60	35.90
Weizen mit aufgeschlossenem Stroh	26.02	37.08
Speisemehl grob	18.00	39.70
Speisemehl fein	22.90	40.80
Weizen mit aufgeschlossenem Stroh	34.08	47.57

Im Brot mit Surrogaten gestreckt nimmt die Verdaulichkeit der Pentosane erheblich ab auf 60.9 Prozent, bei Mohrrüben läßt sich für das nicht an Zellmembran gebundene Pentosan, welches allerdings nur wenig in absoluter Menge ausmacht, eine Resorption von 92.9 Prozent (= 7.1 Prozent Verlust) berechnen, bei maximalster Aufnahme der Pentosane im Brot eine Resorption von 83.4 bis 85 Prozent (15.0 bis 16.6 Prozent Verlust). Im letzteren Falle wurde das Stärkemehl mit 98.7 bis 98.4 Prozent verdaunt. Ich halte diesen Unterschied zumungunsten des Pentosans dadurch bedingt, daß manchmal noch Pentosan abgespalten wird aus der langsam verdauten Zellmembran in den unteren Partien des Dickdarmes,

hier unresorbiert liegen bleibt und in dem analytischen Ergebnis als unresorbiertes Pentosan, herrührend aus den nicht an die Zellmembran gebundenen Beständen, verrechnet wird. Ich kann nicht bestreiten, daß möglicherweise pentosanartige Körper vorkommen, die an sich schwerer als andere resorbiert werden. Doch hatte ich Fälle beobachtet, in denen die erst gemachte Annahme allein die richtige ist.

Bei meinen Untersuchungen über Pentoseresorption habe ich wohl darauf Bedacht genommen, den Harn auf Pentosausscheidung zu untersuchen, und auch beweisen zu können, daß gelegentlich eine Ausscheidung von Körpern der Pentosangruppe im Harn eintritt. In keinem der positiven Fälle wurde aber so viel ausgeschieden, daß dadurch ein nennenswerter Bruchteil des Resorbierten zu Verlust gegangen wäre. Da die Pentosane nicht mehr in den Ausscheidungen zu treffen sind und im Körper verbleiben, müssen wir wohl annehmen, daß sie da als Nahrungsstoffe verbraucht werden. Man wird sie also neben der Zellmembran als besondere Nährstoffe aufzuführen haben, wobei die Trennung in die beiden Gruppen Zellmembranpentosan und anderweitiges Pentosan (in Pektinstoffen usw.) in Betracht zu ziehen sind. Jedenfalls ist diese Unterscheidung für den Verdaulichkeitsgrad maßgebend. Für ein paar Fälle mögen als Beispiele die Summen der als Zellmembran und sonstiges Pentosan resorbierten Nährstoffe angegeben sein:

	Resorb. Zellmembran	Außer dem Pentosan	Kalorien in Zellmembran	Kalorien in Pentosan	Summe
Bei Mohrrüben	88.46	6.77	371.5	26.4	397.9
„ Roggenbrot	38.90	38.20	163.3	149.0	312.3

Die größte Summe an Kalorien wurde bei ausschließlicher Möhrenkost resorbiert, bei reiner Brotkost etwas weniger, der höchste Wert entspricht 14.2 Prozent der Gesamtkalorien des Bedarfs. Damit dürften wohl wenigstens bei miltlerer Beköstigung die Grenzen des Nährwertes von Zellmembran und Pentosan zusammen erreicht sein — immer noch ohne Kürzung für die Minderwertigkeit der Zellmembran durch Vergärung.

Die Restsubstanzen.

IX.

Über den Teil der Zellmembran, welcher nach Abzug von Zellulose und Pentosan übrig bleibt, läßt sich bei dem heutigen Stand der Trennungsmethoden nichts Genaueres sagen. Er schließt jedenfalls die Lignine ein, deren Natur noch nicht geklärt ist, und wahrscheinlich in

einzelnen Präzilen wechselnd auch noch andere Substanzen, wie Hemicellulose u. dgl. Die in dieser Restgruppe aufgenommene Stoffgruppe steht hinter der Zellulose nicht zurück und überschreitet die Menge der Pentosanegruppe bei manchen Vegetabilien ganz erheblich. Wie bei jeder Restbestimmung werden sich die allgemeinen Fehler der Methodik natürlich in der Restsubstanz fühlbar machen, wodurch sich Schwankungen in den Ergebnissen bisweilen erklären werden. Es dürfte bekannt sein, daß man bei dem Verfahren Willstätters, die Zellulose mittels starker Salzsäure aufzulösen, die Lignine als einen schwarzen Rest erhält, der sich durch Auswaschen mit Wasser gewinnen und wägen läßt. Außer der von mir selbst aus einigen Zellmembranen hergestellten Ligninen habe ich Lignine auch aus der im Kofe ausgeschiedenen Zellmembran bei Brot und anderer Nahrung in der oben genannten Form gewinnen können. Eine größere Menge von Lignin, das aus Holz gewonnen war, ist mir durch die Güte von Prof. Henner zugegangen. Diese Lignine sind keine einheitliche Substanz; man kann ihnen einen nicht unerheblichen Teil Substanz durch Alkohol oder angesäuerten Alkohol entziehen, worauf sie wie Kohlepulver aussehen. Äther löst sie nicht auf. Dieses Lignin ist nicht identisch mit den Substanzen, welche man mit verdünnter NH_3 aus Holz gewinnt und durch Neutralisieren fällen kann. Nachdem man aber das Wort Lignin auch für die „schwarze Substanz“ gewählt hat, bleibe ich bei dieser Benennung.

Die Substanz ist mir nicht unbekannt, denn ich habe sie schon bei meinen Untersuchungen über das mit Säuren aufgeschlossene Holz in Händen gehabt¹, bei der Behandlung von Birkenholz mit CH_3 -Dampf.

Die dort genannte schwarze Substanz ist offenbar nichts anderes als dieses Lignin, wie man es nach Willstätters Verfahren erhält. Ich habe bei der Säureaufschließung durch CH_3 -Dampf bei gewöhnlicher Temperatur bereits erkannt, daß diese schwarze Substanz sich aus den Ligninen bildet; da sie sich von den übrigen Substanzen (Zellulose und Pentosan) nicht trennen läßt, so wurde sie in meinen früheren Versuchen mit der Zellmembran verrechnet. Lignin, nach Willstätter dargestellt, enthält nach meiner Untersuchung kein Pentosan eingeschlossen. Doch wird bei der Umwandlung der Zellmembran und der Ligninabspaltung auch Pentosan zerstört.² Von diesem „Lignin“ wird ein sehr erheblicher Anteil verdaut, etwa rund 60 Prozent. Da auch in den Gemischen die Lignine nachweisbar sind und die Restsubstanz, welche die Lignine enthält oder wesentlich

aus ihnen besteht, auch außerordentlich gut resorbierbar ist, so kann man wohl allgemein annehmen, daß der auf Lignine treffende Anteil der Restsubstanz auch in anderen Zellmembranen zur Resorption gelangt. Welche Verwertung die Lignine im Tierkörper erfahren, ist zurzeit völlig unbekannt; hierzu bedürfte es eben erst der Aufklärung darüber, was die Lignine überhaupt vom chemischen Standpunkt aus sind. In den Ligninen haben wir also neben der Pentosanegruppe einen Körper oder eine Gruppe von Stoffen, die bisher in der Ernährung nicht weiter beachtet worden ist. Aus dem chemischen Aufbau der Zellmembran läßt sich ersehen, daß die Menge der resorbierbaren Stoffe der Restsubstanz ungefähr den gleichen Umfang wie die Resorption der Zellulose oder Pentosan annehmen kann. Die weitere Bearbeitung der Zusammensetzung und Bedeutung der Restsubstanz behalte ich mir vor.

Die Resorption der Stärke.

X.

Die Zellmembran tritt in den pflanzlichen Nahrungsmitteln zusammen mit Stärkenmehl als Hauptnahrungsstoff auf; in einigen der Gemüse ist die Menge der Stärke gering oder verschwindend klein, in Obst haben wir es hauptsächlich mit Zucker und organischen Säuren als Hauptbestandteilen zu tun, seltener treten die Eiweißstoffe stärker in den Vordergrund, doch immerhin ist in den Leguminosen ihr Gehalt nicht unbedeutend, und ähnlich liegt es für manche Blattgemüse, die ja wesentlich aus Zellmembran und Eiweißstoffen und Amidn bestehen.

Die hauptsächlich Stärke führenden Nahrungsmittel sind die Zerealien und die Kartoffeln, die Hülsenfrüchte; von Früchten mag die Banane erwähnt sein. Meine neuen Untersuchungen haben hauptsächlich die Brotfrüchte in großen Umfang zum Ziel ihrer Untersuchung gehabt, und bieten zu einer kurzen Besprechung nur deshalb Interesse, weil die Stärke in den Ausscheidungen direkt bestimmt worden ist. Die Kohlehydrate führen uns bei der gemischten Kost die Hauptmasse der Kalorien zu, und von den Kohlehydraten ist die Stärke in jeder Hinsicht quantitativ das Überwiegende. Meine Untersuchungen haben gezeigt, daß die Stärke bei normaler Verdauung und Ausschniß ganz exceptioneller Bedingungen außerordentlich gut zur Resorption kommt. Ich kann hier nur auf die Zusammenstellung verweisen, die ich in der Abhandlung über Vollkornbrot vor kurzem gegeben habe. Verdaulichkeitsgrade bis zu 99.7 Prozent bei feinem Weißbrot sind erstaunliche Leistungen, wenn man bedenkt, daß die Stärke dabei fast den ganzen Kalorienbedarf eines Mannes decken

¹ *Dies Archiv*, 1916, *Physiol. Abt.* S. 49.

² a. a. O. S. 88.

kann. Zwischen Kartoffel- und Weizenstärke habe ich irgend einen wesentlichen Unterschied in der Verdaulichkeit nicht sehen können; wennsich etwas mehr bei der Kartoffel verloren wurde, so bewegt sich das innerhalb sehr geringer Größen. Roggen und Gerste waren etwa günstigstenfalls so gut wie Kartoffelstärke verdaulich, allerdings gilt das für Roggen nur für die bessere Gesamtausnutzung.

Wer nur den Kot mikroskopiert, wird das Urteil über die gute Resorbierbarkeit der Stärke nicht glauben wollen, denn er findet stets reichlich Stärkekörner bzw. erhebliche Stärkereaktion. Dies hängt aber eben damit zusammen, daß der Prozentgehalt des Kotes an Stärke kein Ausdruck für die Gesamtleistung der Verdauung ist. Selbst bei sehr guter Verdauung findet man viele Prozente Stärke im Kot, und individuell kommen recht viele Abweichungen in der prozentigen Zusammensetzung der Ausscheidungen vor. Die Verdaulichkeit der Stärke nimmt, wenn nicht gleichmäßig, ab mit der Zunahme der Zellmembran im Mehl; die Verluste wachsen und können 3 bis 4 Prozent erreichen, was für die sonst so leicht aufnehmbaren Kohlehydrate sehr bemerkenswert ist und bei dem hohen Prozentgehalt der Zerealien das Gesamtergebnis der Ausnutzung ungünstig beeinflussen kann. Wie man sich diese Abnahme der Resorbierbarkeit in Beziehung zu dem steigenden Zellmembrangehalt vorstellen soll, steht nicht fest. Es ist möglich, daß an manchen Kleinteilen die Stärke allzu fest durch den Backprozeß haftet oder daß die Zellmembranen den Durchgang durch die verdauenden Partien des Darms beschleunigen. Vielleicht ist auch nicht zu leugnen, daß die stark klebrigen Brote häufig eine zähe Rinde besitzen und daß diese beim Kaauen bis zu einem gewissen Grade Widerstand leistet, wodurch kleine Partikelchen sich der Resorption entziehen.

Ich habe oben die Banane als Stärketräger erwähnt; dies kommt aber nur für die unreife Frucht in Betracht.¹ Die Stärke in der Banane scheint nicht so gut resorbiert zu werden wie die Stärke der Zerealien, bei rohen Pflauchen gehen 97.3 Prozent der Stärke verloren. Die rohe Stärke ist also für uns so gut wie ganz unverdaulich. Beim Hund habe ich für rohe Stärke² eine weit bessere Verdaulichkeit gefunden (83.88 Prozent); die gegnollene Stärke wurde bis auf 98.6 Prozent verdaut. Findet aber nach der Quellung wieder eine starke Austrocknung statt, so sinkt die Verdaulichkeit wieder stark ab (91.3 Prozent). Ausgetrocknetes Brot kann also auch wieder, wenn es zu wenig zerkleinert wird, an Verdaulich-

¹ Vgl. C. Thomas, *Dies Archiv*. 1910. Physiol. Abt. S. 32.

² *Ebenfalls*. 1917. S. 17.

keit einbüßen. Nicht völlig gegnollene Stärke der Kartoffel macht sich durch ihre Unresorbierbarkeit gelegentlich sehr bemerkbar.

Indem ich im vorstehenden für die drei Hauptgruppen der Zellmembran im einzelnen nachgewiesen habe, welche große Mengen bisher unbeachteter Substanzen zur Resorption gelangen, folgt von selbst die Notwendigkeit, die Zellmembran als Nahrungsquelle zu betrachten. Die bisher vielfach geübte Gepflogenheit, die „Zellulose“ oder „Rohfaser“ von der Berechnung der näherenden Bestandteile einfach auszulassen, läßt sich nicht aufrecht erhalten. Die Zellmembran erfordert die ihr zukommende Bewertung. Welche spezifische Bedeutung ihr im ganzen oder ihren einzelnen Komponenten zukommt, wissen wir nicht, wir können sie für die Pentose vermuten. In welcher Form sie ins Blut übertreten, das ist für die Pentose wohl verständlich, die Aufnahme als Pentosen liegt hier nahe. Von den Leguminen fehlt uns aber vorläufig jede Unterlage; welche die Art ihrer Resorption begründen könnte. Von der Zellulose dürfen wir die Aufschlebung durch die Vergärung mit Wasserstoff- oder Sumpfgasentwicklung sicherlich annehmen; dabei ergeben sich Bittersäure und Essigsäure als weitere Produkte, also organische Säuren. Insofern die Energiesperbe in Betracht gezogen werden soll, darf man eine Umformung unter geringer Wärmetönung für Pentose und Legimine wohl annehmen, größer ist der Verlust natürlich bei der Zellulosegärung; zinnal mit Rücksicht auf die Bildung brennbarer Gase. Die nähere Behandlung dieser Frage findet man in einer späteren Abhandlung. Man darf indes nicht außer acht lassen, daß die Zellulose höchstens die Hälfte der ganzen Zellmembran, manchmal sogar weniger als ein Drittel der gesamten Zellmembran ausmacht. Dort, wo Zellmembranen sozusagen die einzigen Kohlehydrate einer Pflanze sind, wie bei Blattgrünse, hat es den Anschein, als wenn der Einfluß dieser „Kohlehydrate“ auf die Verminderung des Eiweißumsatzes ganz fehle. Daraus könnte man folgern, daß die Lösung der Zellmembran der Hauptfache nach nicht über eiweißsparende Kohlehydratgruppen führt.

Die Stoffwechselprodukte bei verschiedener Ernährung.

XI.

Die Gruppe der Kohlehydrate, welche uns bei den Vegetabilien am meisten hinsichtlich der Resorptionsmöglichkeit und Größe interessieren muß, hat damit ihre allgemeine Charakterisierung gefunden, und grundsätzliche Verschiedenheiten liegen in den einzelnen Gruppen vor. Diejenigen Nahrungsmittel, welche wir empirisch als brauchbar herausgefunden

haben, zeigen auch gewisse Vorzüge; gerade bei denjenigen der Zellmembranen, die uns am meisten zu belasten scheinen, haben wir zugleich die beste Resorption nachweisen können. Das Unverdauliche in den Ausscheidungen wird in hohem Maße durch die Resorptionsgröße der Zellmembran und der Stärke bestimmt. In den Ausscheidungen kann der Zellmembrangehalt allein sich auf 37 bis 38 Prozent der Trockenmasse steigern (z. B. bei Brot hoher Ausmahlung, bei Erdbeeren wegen der Kerne).

Der Gang der Verdaulichkeit, wie er durch meine Untersuchungen verfolgt worden ist, hat damit zwar im wesentlichen seine Erklärung gefunden, aber es hinterbleibt für das weitere Verständnis noch die so wichtige Beziehung zwischen Unverdaulichem und jenem Kofanteil, den ich als Stoffwechselprodukte bezeichnet habe. Erst allmählich hat sich für mich bei der Kotanalyse die Möglichkeit ergeben, dieses wichtige Problem, das für die ganze weitere Behandlung hier einschlägiger Fragen von so weitgehender Tragweite ist, zahlenmäßig zu verfolgen. Die historische Seite habe ich schon in einer der früheren Abhandlungen auseinandergesetzt.¹ Nicht der Gedanke, nach Stoffwechselprodukten zu suchen, ist neu, denn schon in meinen ersten Publikationen war ich auf eine solche Lösung ausgegangen, ohne den erstrebten Erfolg zu erzielen. Wohl aber läßt sich jetzt diese wichtige Frage in jedem Einzelfalle zahlenmäßig feststellen. Die einzelnen Versuche haben ja das Nähere bereits angegeben, ich will daher hier nur durch eine allgemeine Übersicht einige Schlußfolgerungen ziehen, wie sie der Einzelfall nicht gestattet. Vorläufig muß ich noch etwas summarisch von Stoffwechselprodukten reden, weil ihre Gliederung, vom N-Gehalt abgesehen, in weitere Bestandteile noch nicht möglich ist. Aber auch in dieser durch die kalorimetrische Analyse vereinfachten Form lassen sich manche wichtigen Schlüsse ziehen. Die Vorstellung, daß die Stoffwechselprodukte im ganzen genommen eine konstante Größe ausmachen, welche um so mehr zurücktritt, je größer die Menge der verzehrten Nahrung ist, muß als unzutreffend bezeichnet werden; sie sind ein Vorkommnis, welches mit der Art und Menge der Nahrung wechselt, was sich leicht beweisen läßt. Daraus ergeben sich Folgerungen von großer praktischer Tragweite. Während die animalischen Nahrungsmittel so gut wie ganz im Kot nur Stoffwechselprodukte liefern oder, richtiger gesagt, Produkte, die mit dem Eiweißumsatz in näherer Beziehung stehen, gibt es kein vegetabilisches Nahrungsmittel, das aus Pflanzengewebe besteht, welches nicht auch neben den unvermeidlichen Resten der Nahrung Stoffwechselprodukte liefert, deren Herkunft nicht

¹ Dies Archiv. 1916. Physiol. Abtg. S. 61ff.

mit jenen der Animalien in eine Parallele gestellt werden darf. Wenn wir nach den Ursachen forschen, so brauche ich zunächst nur auf das zu verweisen, was oben S. 79 näher durch die Versuche am Hunde belegt ist. Das Hinzufragen der Zellmembran zeigt sich überall als ein Faktor, welcher die Stoffwechselprodukte mehr. Weiterhin darf ich auch nur an die Versuche mit Vollkornbrot erinnern, bei denen im einzelnen gezeigt worden ist, wie mit zunehmender Kleinmenge auch die Stoffwechselprodukte zunehmen, während der Stärke an sich nur ein sehr beschränkter und unbedeutender Einfluß in dieser Richtung zukommt.

Bei der Zellmembran kann man wieder zunächst sich fragen, ob sie mechanisch reizend auf den Darm wirkt. Das ist nach älteren Versuchen mit groß zerkleinertem Material und nach meinen Versuchen mit Material verschiedenster Herkunft nicht zu bestreiten. Aber die allgemeine Ursache der Anregung zur Bildung von Stoffwechselprodukten kann in diesen mechanischen Reizen nicht gesucht werden. Einen mechanischen Reiz übt nur eine ziemlich grobe Zerkleinerung oder ganz besondere Eigentümlichkeiten der Zerkleinerung, wie die spitzen Teilchen in den Spelzen, aus. Da die unverdaulichen Zellmembranen eine Vermehrung des Kotes herbeiführen, könnte man auch auf den Gedanken kommen, die Massen dieses Kotes zu verhindern die Resorption größerer oder geringerer Anteile der Verdauungssäfte, indem die Zellmembranmassen gewissermaßen wie ein Schwamm aufsaugend wirken. Abgesehen davon, daß die im Darm bleibenden Mengen von Zellmembranen eine so ausgedehnte Aufsaugung in der Regel gar nicht ausüben können, weil dazu ihre Masse durchschnittlich zu gering ist, werden die Verdauungssäfte so verdünnt abgesondert, daß die ausgeschiedene Menge Stoffwechselprodukte dadurch nicht erklärt würde. Auch ist es innerhalb weiter Grenzen für die Menge der ausgeschiedenen Stoffwechselprodukte ziemlich gleichgültig, ob der Kot etwas mehr oder weniger Wassergehalt besitzt.

Ein Nahrungsmittel besteht aus der Zellmembran, Stärke, Fett, Zucker und Eiweißstoffen. Das Verhalten dieser Nahrungsstoffe zur Bildung von Stoffwechselprodukten ist einer besonderen Besprechung wert. Von den pflanzlichen Eiweißstoffen wird man ebenso wie von den tierischen annehmen müssen, daß sie nach Maßgabe der Erhöhung des Eiweißumsatzes steigend auf die Ausscheidung der Stoffwechselprodukte wirken. Bei dem im allgemeinen geringen N-Gehalt und dem noch geringeren Proteingehalt spielt jedenfalls dieser Faktor, wenige Einzelfälle ausgenommen (etwa Hülsenfrüchte und Keimlinge), keine Rolle, im Gegenteil der auf ihn treffende Anteil wird in der Regel sehr klein sein.

Es ist aber eine Resorption großer Nahrungsmengen auch ohne alle Steigerung der Stoffwechselprodukte und der Kottbildung möglich. Diesen Fall habe ich beim Menschen bei Fettzulagen zur Kost gesehen. So hatte ich bei meinen ersten Versuchen bei einer aus Fleisch, Brot und Fett bestehenden Nahrung gefunden:

g Fett im Kot trocken	Kot fettfrei pro Tag	Zugabe von Fett zur Nahrung pro Tag
17.2	29.3	100 g Speck
15.2	40.8	200 g Speck
11.6	35.5	240 g Butter
44.6	32.4	350 g Fett gemischt (Speck und Butter)

Die Resorption der größten ertragbaren Fettmengen bleibt ohne Einfluß auf die Kottbildung. Analog verhält es sich bei der Zugabe von reinem Zucker; treten nicht störende Diarrhöen auf, was passieren kann, so verändert auch der Zucker die Menge der Kottausscheidung nicht. Auch die reine Stärke oder feinstes Weizenmehl liefern selbst bei den größten ertragbaren Mengen, wie ich jüngst wieder gezeigt habe, Kottmengen, welche, trotz kleiner Mengen abfallender Zellmembran, die sich nicht ganz ausschließen läßt, und Spuren von Stärke (0.5 bis 0.9 Prozent der Aufnahme) nur etwa 2 bis 2.7 Prozent der zugeführten Kalorien enthalten.¹ Hier ist also eine gewisse Menge von Kottbildung und die Ausscheidung von Stoffwechselprodukten nachweisbar. Es ist aber möglich, künstliche Nahrungskombinationen herzustellen, deren Kottbildung und Bildung von Stoffwechselprodukten zu einem Minimum werden muß. Gerade diese Tatsache läßt die recht erhebliche Bildung von Stoffwechselprodukten, wie sie meine Versuche an den Nahrungsmitteln ergeben haben, recht auffällig und bemerkenswert erscheinen.

Dieses Bild der Resorption unter minimalen Aufwände an Resten der Verdauungssäfte, aber wohl auch unter Bildung geringster Mengen von Verdauungssäften überhaupt, ist bei Gemüsen, Obst und Zerealien, wenn letztere Zellmembranen enthalten, niemals gegeben; nicht nur die Mahrung von unverdauten Zellmembranen, sondern auch die Vermehrung von Stoffwechselprodukten setzt in allen genannten Fällen prompt ein und erreicht eine recht bedeutende Größe, auch dann, wenn es sich nicht einmal um bedeutende oder schwer resorbierbare Zellmembranen handelt. Diese Beobachtungen führen uns darauf, in den Nahrungsmitteln vielleicht noch besondere Stoffe zu vermuten, denen eine Wirkung auf die Anregung der Darmsekretion zukommt. Solche Stoffe wirksamer Art würde man etwa

¹ Zeitschr. f. Biol. Bd. XV. S. 198 und dies Archiv. 1916. Physiol. Abtg. S. 85.

in der Gruppe jener nicht näher zu fassenden Körper zu suchen haben, die man kurzweg als geschmackgebende oder Extraktivstoffe bezeichnet. Ganz ohne Bedeutung werden für unseren Körper diese Eigenschaften nicht sein. Eine künstliche Kombination solcher ziemlich restlos aufgenommenen Nahrungsstoffe pflegt sehr bald zu widerstehen und wird auch von Tieren auf die Dauer zurückgewiesen. Die geschmackgebenden Stoffe sind unerlässlich; diese brauchen aber nicht die den Darm anregenden Stoffe selbst darzustellen. Es ist möglich, daß die Wirkung vom Geschmacksorgan aus und jene auf den Darm verschiedenen Stoffgruppen zugeschrieben werden muß.

Ich gebe zunächst eine Übersicht über eine größere Zahl von Untersuchungsreihen, die sich meist auf das Mittel aus Beobachtungen an zwei Versuchspersonen beziehen. In der überwiegenden Zahl wurde das Nahrungsmittel je 6 Tage verabreicht. Die Versuche sind nach dem Gehalt des Nahrungsmittels an Zellmembran geordnet und in zwei Gruppen, die Zerealien sowie Gemüse und Obst, eingeteilt.

Nahrung	Gehalt an Zellmembran	Kalorienverlust im Stoffwechsel	Kalorienverlust durch Unverdauliches	Gesamtverlust an Kalorien	Vom Kot treffen auf den Stoffwechsel Prozent	Vom Kot-N treffen auf Stoffwechselprodukte in Prozent
1. Feines Weizenmehl	1.26	2.04	2.29	4.33	48.38	36.10
2. Roggen 65prozentiger Ausmahlung	2.66	2.95	0.75	3.70	79.70	—
3. Roggen 75prozentiger Ausmahlung	3.14	5.68	3.67	9.35	66.70	68.90
4. Roggen 80prozentiger Ausmahlung	4.54	5.37	5.98	11.35	44.86	41.70
5. Weizen 80prozentiger Ausmahlung	5.09	7.30	3.82	11.12	65.60	43.60
6. Roggen	5.61	7.75	4.85	12.60	54.60	—
7. Gerste	5.79	3.78	5.75	9.53	39.70	39.90
8. Roggenbrot 94proz. Ausmahlung ¹ .	6.40	5.99	9.20	15.19	40.00	44.60
9. Roggen 82prozentiger Ausmahlung	6.69	7.07	6.77	13.80	50.70	62.00
10. Vollkornbrot (Hovvitt)	8.75	7.47	7.33	14.80	50.70	34.37
11. Kartoffel	6.02	4.35	2.30	6.65	65.34	63.22
12. Apfel	7.91	9.00	2.70	11.70	76.70	48.80
13. Kohlrüben	22.19	17.02	4.93	21.95	74.50	54.20
14. Erdbeeren	24.06	21.32	11.55	32.87	64.90	46.90
15. Mohrrüben	26.64	8.31	4.37	12.68	65.40	56.70
16. Wirsing	30.08	22.55	7.19	29.74	75.70	80.20

Sie enthalten die Anzahl der Kalorien in Prozenten der Zuhuhr für die Stoffwechselprodukte und für das Unverdaute, die Summe beider, d. h. die Gesamtanzahl, die Relation zwischen Stoffwechselprodukten

¹ Drei Versuche, Mittel.

In der weiteren Tabelle sind die Ergebnisse kurz zusammengestellt und außerdem berechnet, wieviel auf 1 Kalorie Stoffwechselprodukte an N gleichfalls in Stoffwechselprodukten trifft.

Nahrung	Auf 100 resorb. Kal.		Auf 1 Stoffw. Kal. d. Kotes trifft Stoffwechsel N
	Stoffwechsel-Kalorien im Kot	N im Kot aus Stoffwechselprodukte	
Feines Weizenmehl	3.8	—	—
Roggen 65prozentiger Ausmahlung	6.2	0.055	0.009
Roggen 65proz. Ausmahlung mit 20 Proz. Kartoffel	6.5	0.056	0.009
Roggen 82prozentiger Ausmahlung	8.1	0.082	0.010
Weizen 80prozentiger Ausmahlung	8.2	0.054	0.007
Vollroggen	8.7	0.056	0.006
Roggen etwa 72prozentiger Ausmahlung	9.1	0.071	0.007
Roggen 82proz. Ausmahlung mit 20 Proz. Kartoffel	10.2	0.088	0.008
Apfel	10.1	0.081	0.008
Mohrrüben	12.5	0.162	0.013
Kohlrüben	21.2	0.282	0.013
Erdbeeren	31.8	0.215	0.007
Wirsing	42.6	0.552	0.012

Unter den geringsten Verhältnissen muß man (abgesehen von dem Unresorbierten) auf 3.8 Prozent an Kalorien durch Stoffwechselprodukte rechnen; mit zunehmender stärkerer Ausmahlung nimmt dieser Verlustanteil zu, so daß man als höchste Zahl für Brotgetreide 10.2 Kalorien braucht, um 100 Kalorien zu resorbieren. Bei Obst und Gemüse steigen diese Werte dann rasch: Äpfel und Mohrrüben erfordern etwas mehr als die Zerealien, bei Kohlrüben ist der Aufwand zu verdoppeln, bei Erdbeeren zu verdreifachen und bei Wirsing zu vervierfachen. Die Stoffwechselproduktausscheidung ist hierbei nur als Funktion des Resorbierten, nicht als abhängig vom Unverdauten gedacht. Jedenfalls erhalten wir so ein recht anschauliches Bild über die ungleichen Bedingungen der Resorption. Die N-Zahlen nehmen etwa wie die Werte für die Stoffwechselkalorien zu; bildet man aber die Beziehung zwischen Stoffwechselanteil des Kotes und N in dem Stoffwechselanteil, so erkennt man, daß auf 1 Kalorie Stoffwechselprodukt etwa dieselbe N-Menge trifft (Stab 4). Das ist verständlich, denn es handelt sich doch um Sekretreste, die im allgemeinen zwar nicht genau die gleichen zu sein brauchen, aber, a priori betrachtet, auch nicht allzu große Verschiedenheiten aufweisen können. Im Fleischkot würde man etwa auf ein Verhältnis von 0.011 zu rechnen haben, hier bleibt der Wert für die Zerealien im Mittel etwas unter diesem Wert (0.088), bei Obst und Gemüse liegt der Wert etwas höher

(0.0106); demnach scheinen also diese Sekrete zwar nicht genau gleichartig zu sein, aber wenigstens im N-Gehalt nicht wesentlich abzuweichen. Daraus lassen sich wieder interessante Konsequenzen ableiten, wenn man sich als Aufgabe die Ernährung auf einer bestimmten Höhe durch ausschließliche Ernährung mit einem oder dem anderen Nahrungsmittel denkt. Wenn z. B. 2400 Kalorien Resorbiertes geliefert werden sollen, so wären dabei die N-Mengen in den Stoffwechselprodukten für einige Beispiele folgende:

Für Roggen 65prozentiger Ausmahlung	1.32 g N im Tag
Roggen 72prozentiger Ausmahlung	1.70 „ „ „
„ Äpfel	1.94 „ „ „
„ Mohrrüben	3.86 „ „ „
„ Kohlrüben	7.56 „ „ „
„ Erdbeeren	5.16 „ „ „
„ Wirsing	13.25 „ „ „

Die Menge der Verdauungsprodukte müßte also einer enormen Steigerung fähig sein, um im Extrem noch zu betriebligen.

In neuester Zeit sind einige Beobachtungen gemacht worden, welche vielleicht zu meinen Ergebnissen in einen näheren Zusammenhang gebracht werden können. Die eine Untersuchung rührt von Fr. Uhlmann¹ her und beschäftigt sich mit dem Nachweis, daß Stoffe, welche als Vitamine angesehen worden sind, einen sehr wesentlichen Einfluß auf die Sekretion der Drüsen, vor allem des Darms und seiner Adnexe, besitzen. Man kann ihre Beziehung zu der Zellmembran der Frucht- und Samenschale voraussetzen. Eine weitere Beobachtung, welche gleichfalls in dieselbe Richtung fällt, ist von Bickel schon vor Uhlmann gemacht worden. Spinat hat eine spezifische Wirkung, welche der des Pilocarpus nahesteht.

Durch meine Feststellungen der sehr ungleichen Wirkung von Nahrungsmitteln auf den Darm durch die Verschiedenheiten in der Bildung von Darmsekreten, dem Mangel solcher Wirkungen, wenn man reine Nahrungstoffe gibt, ist mit den Beobachtungen von Uhlmann und Bickel sehr nahelegend, den Nahrungsmitteln, d. h. weniger ihren Gemengen von Eiweiß, Fett, Kohlehydraten als anderen Körpern, d. h. ihren Extraktivstoffen, eine spezifische Wirkung in einzelnen Pflanzengruppen zuzuerkennen. An und für sich kann, wie das für einzelne Nahrungsmittel zahlenmäßig aufgeführt worden ist, eine solche Rückwirkung auf den Darm geradezu hypertrophisch groß sein, zu groß für den Nahrungswert des einzelnen; es ist aber wohl möglich, daß die richtige Kombination solcher Nahrungs-

¹ Zeitschr. f. Biol. Bd. XXIII. S. 418.

mittel, d. h. ein angemessener Zusatz, Wert und Bedeutung für eine normale und hygienisch befriedigende Kost besitzt.

Der Ausnitzungsversuch vermag über Wert oder Unwert dieser Vorgänge nicht zu entscheiden, weil er vorläufig nur summarisch festzustellen vermag, wieviel der Verlust an Unverdaulichem und Stoffwechselprodukten, letztere kalorimetrisch zusammengefaßt, beträgt. Ob ein solcher Mehrverlust an Stoffwechselprodukten einfach durch ein Mehr an Nährstoffen einer beliebigen Zufuhr völlig gedeckt werden kann, läßt sich durch kurze Experimente auch solche von wenigen Wochen nicht entscheiden. Es kann eine derartige Mehrausscheidung mit der Dauer schädlich oder sie kann vielleicht in manchen Nahrungsmittelgemischen auch gesundheitsförderlich sein. Wir vermögen das heute nicht zu entscheiden, es ist in diesen Vorkommnissen aber die Bedeutung der gemischten Kost, ihre Berechtigung und Zweckmäßigkeit nicht zu bestreiten.

Die Resorption des Eiweißes.

XIII.

Das überraschendste Resultat, das zuerst meine Untersuchungen an pflanzlichen Nahrungsmitteln ergeben hatten, war der relativ große N-Verlust, der bei der geringen Zufuhr von Eiweiß im Pflanzenmaterial doppelt schwer wiegt. Man muß bei pflanzlicher Kost mit einer erheblichen N-Menge im Kote rechnen. Bei gleichem Eiweißumsatz im Harn ist bei animalischer Kost mit wenig N in den Ausscheidungen, bei vegetabilischen Nahrungsmitteln mit relativ großem N-Anteil im Kote zu rechnen.

Die neu angestellten Versuchsreihen haben dies natürlich nur wieder bestätigten können. In nachfolgender Tabelle gebe ich eine Zusammenstellung dieser und der früher, zumweist in dem Jahre 1877/78, ausgeführten Untersuchungen.

Man ersieht daraus die großen Unterschiede, die noch weit bedeutender sind, als meine älteren Versuche hatten ersehen lassen. Ich habe in diesen Zusammenstellungen solche N-Verluste, wie sie bei offener Überscheidung der optimalen Resorptionsgrenzen vorkommen können, ganz außer Betracht gelassen. Man findet hierüber in den einzelnen Versuchen in der Abhandlung über Vollkornbrot¹ nähere Angaben. Der niedrigste Verlustwert findet sich bei den feinsten Sorten Weizenmehl mit nur 6.1 Prozent und steigert sich bei 95 Prozent Ausmahlung zu 30.5 Prozent

¹ *Dies Archiv.* 1917. Physiol. Abtlig. S. 245.

Verlust. Unter den Nahrungsmitteln mit wenig Eiweißverlust erscheint aber auch ein Gemüse, der Wirsingkohl, der in seinen sonstigen Eigenschaften nicht zu den gut resorbierbaren Nahrungsmitteln gerechnet wird. Der Roggen steht in der N-Verwertung dem Weizen nach. Zu den schlecht verwertbaren gehören dann wieder einige Gemüse und das Obst. Bei den Äpfeln findet man im Kot weit mehr N, als überhaupt in der Zufuhr vorhanden war.

Nahrung	Ältere Versuche N-Verlust	Neue Versuche N-Verlust
Reinstes Weizenmehl		6.10
Weizen 30prozentiger Ausmahlung		12.30
Wirsing	18.50	
Mais	19.00	
Erbsen	20.40	
Weizen 80prozentiger Ausmahlung	24.56	21.14
Weizen 70prozentiger Ausmahlung	25.10	
Reis		25.30
Wirsing		30.47
Weizen 95prozentiger Ausmahlung		31.50
Gerste 72prozentiger Ausmahlung		39.30
Roggen 95prozentiger Ausmahlung		37.80
Roggen 65prozentiger Ausmahlung	39.90	
Mohrrüben	39.70	
Roggen 72prozentiger Ausmahlung	40.30	
Roggen 80prozentiger Ausmahlung	65.10	
Kohlrüben	91.30	
Erdbeeren		131.60
Äpfel		

Ich halte es für überflüssig, nochmals zu betonen, daß die N-Verluste nicht Proteinverluste sind; wir haben ja eben bei den Stoffwechselprodukten kennen gelernt, in welchem Maße die letzteren am N-Verlust beteiligt sind und welche bedeutende Größe dieser Verlust erreichen kann. Das zweite Moment, welches zum hohen N-Verlust führt, ist das Enggeschlossensein mancher Eiweißstoffe in unverdaulichen oder halbverdaulichen Zellmembranen, wie bei der Kleie. Ich habe auch des öfteren darauf hingewiesen, daß Zellmembran stets proteinhaltig gefunden wird, was — von der Verunreinigung mit Bakterien abgesehen — wahrscheinlich mit der Anlagerung von Protoplasma an und in die Zellwände im Zusammenhang stehen mag. Es läßt sich zwar nicht alles Protein vielleicht aus dem Kot mit abscheiden, ich glaube aber, daß nach meinem Verfahren der überwiegendste Teil analytisch festgestellt werden kann. Da mir für alle Versuche Bestimmungen dieser Art zur Verfügung stehen, wird es von Interesse sein, statt des N-Verlustes auch vom Proteinverlust zu sprechen.

Wenn sich dabei auch noch gewisse Ungenauigkeiten zeigen mögen, so kommen wir doch einen Schritt vorwärts. Die Proteinausnutzung steht natürlich im Zusammenhang mit der Auflösung der Zellmembranen und mit der Bildung der Stoffwechselprodukte; über beides geben die anderen Abschnitte dieser Arbeit Aufschluß. In nachfolgender Tabelle finden sich die Zahlen über das resorbierte Eiweiß, wobei man freilich in einzelnen Fällen nochmals Korrekturen für die Amidstoffe der Vegetabilien in den Einnahmen machen muß.

Nahrung	Resorption des Proteins in Prozenten der Zufuhr
Wirsing	94.72 (nach Abzug des Amid-N 89.44)
Fernes Weizenmehl	93.85
Weizen etwa 80prozentiger Ausmahlung	88.09
Mohrrüben	83.68 (nach Abzug des Amid-N 71.57)
(Gerste 72prozentiger Ausmahlung)	80.19
Roggen 65prozentiger Ausmahlung	80.50
Roggen 82prozentiger Ausmahlung	78.40
Roggen 72prozentiger Ausmahlung	76.60
Roggen 95prozentiger Ausmahlung	74.10
Kohlrüben	73.70 (nach Abzug des Amid-N 38.90)
Kriegsmischmehl	64.10
Erdbeeren	51.30 (der N der Kerne ist abgezogen)
Äpfel	32.70

Man findet über diese für die meisten der heute in Gebrauch stehenden Vegetabilien bzw. für Gemüße und Obst nähere Angaben in einer vor kurzem veröffentlichten Abhandlung.¹

Die Verdaulichkeit des Wirsings, dessen Zellmembranen außerordentlich vollkommen aufgelöst werden, steht an der Spitze. Freilich kommt dabei der hohe Amid-N in Betracht, der für die Resorption natürlich gar keine Schwierigkeiten bietet. Läßt man ihn außer Betracht, so ist immer noch das Protein ein gut resorbierbares; dieser hohe Nutzen wird durch den starken Verlust an Stoffwechsel-N ausgeglichen. Bei Weizenmehl kann ich nur sagen, daß das Protein optimal noch besser als zu 93.8 Prozent ausgenutzt werden kann; das wird sich mit den Versuchen über Aleuronat decken, wobei man auch Resorptionen ähnlicher Größenordnung nachzuweisen in der Lage ist. Für die Mohrrüben gilt alles, was über die Resorption des Wirsings schon oben gesagt worden ist; gute Resorption der Zellmembran macht auch die Resorption des Eiweiß möglich, allerdings ergibt sich in anderer Hinsicht wieder ein Verlust durch Stoffwechselprodukte. Zu den bestresorbierten Zerealien gehört der Weizen, der auch bei vollkommener Verdaulichkeit etwas vor dem Roggen voraus hat. Die Gerste steht zwischen Weizen und Roggen, bei letzterem

¹ Rubner, *Über den Nährwert einiger wichtiger Gemüsesorten*. Berlin 1916.

ist auch bei bester Art der Verdaulichkeit (feuchtes Verfahren) nur eine Resorption von 74.1 Prozent zu erreichen. Bei den Zerealien fällt ein Kriegsmischmehl als recht ungünstig auf; aus Roggen, Mais und Trockenkartoffeln zusammengesetzt, enthält es nicht einmal viel Kleie. Man kann nur annehmen, daß offenbar die Herstellung der Trockenkartoffel ein Präparat liefert, das durch Überhitzung oder dergleichen in seiner Verdaulichkeit verändert ist. Es sei daran erinnert, daß ich auch in anderen Versuchen durch Zusatz von Kartoffeln eine Verschlechterung der Resorption beobachtet hatte, die sonst unverständlich wäre, wenn nicht solche Veränderungen bei der Kartoffel vor sich gegangen sind.

Dort, wo der Proteingehalt überhaupt geringer wird, wie bei Kohlrüben und dem Obst, und außerdem die Zellmembran nicht so hochgradig verdaulich ist, wie bei Wirsing und Mohrrüben, sinkt die Verdaulichkeit des Proteins immer mehr, man sieht aber doch bei den Äpfeln, daß trotzdem sie nicht einmal soviel Eiweiß liefern, als N in Stoffwechselprodukten verloren wird, doch nebenbei Eiweiß zur Resorption gelangt. Als besonders bemerkenswert möchte ich noch einmal auf die Verdaulichkeit des Eiweißes im Wirsing verweisen, als ein Beispiel, wie wesentlich die Auflösung der Zellmembranen für die Möglichkeit der Resorption sich gestaltet.

Die Nahrung und der Kot.

XIV.

In der Zeitschrift für Biologie, Bd. XLII, S. 297, habe ich auf gewisse allgemeine Beziehungen zwischen den kalorimetrischen Werten für die Nahrung und den Kot hingewiesen und zugleich gezeigt, daß der Verbrennungswert des Kotes nur in sehr engen Grenzen schwankt, etwa zwischen 6.1 und 6.3 Kalorien pro Gramm, wenn die Nahrung selbst auch die mannigfachsten Unterschiede zeigt; doch ist die rein empirisch gefundene Voraussetzung die, daß der Energieverlust mit dem Kote dabei überhaupt nicht größer sein darf wie 8 Prozent. Über diese Grenze hinaus fällt der Verbrennungswert des Kotes, richtiger gesagt, vorausgesetzt daß es sich um pflanzliche Nahrungsmittel handelt, weil dann Bestandteile der letzteren im Kot sich anhäufen. Alles das gilt für eine umgestörte Verdauung des nicht überlasteten Darms. Die Überlastung führt natürlich zur einfachen Ausstoßung des übermäßig eingeführten Nahrungsstoffes. Diese Frage hier zu berücksichtigen, hat kein wissenschaftliches Interesse. An Beispielen für das Verhalten pflanzlicher Nahrungsmittel habe ich in meiner genannten früheren Publikation nur wenige bringen können, da genauer untersuchte Fälle in größerer Zahl bei ausschließlicher Pflanzen-

nahrung damals nicht vorlagen, jetzt läßt sich das umfangreiche Material meiner neuen Versuche verwenden.

Meine extremsten Fälle ungünstiger Resorption waren ein Brot mit 15 Prozent Energieverlust und ein Kleibrot mit 24.3 Prozent; ersteres hatte 5.259, letzteres 5.293 Kalorien pro Gramm trockenen Kot.

Zur Ergänzung der hermit angeschnittenen Frage der Beziehungen der Nahrung zum Kot lasse ich zunächst einmal eine Auswahl der wichtigsten Nahrungsmittel hier folgen, bei denen die wesentlichen Bestandteile des Kotes, welche für die Verbrennungswärme von Bedeutung sein können, angeführt sind.

Zusammensetzung und Brennwert des Kotes für 100 g.

(Geordnet nach dem Verlust im Kote.)

Nahrung	Energieverlust Prozent	Asche Prozent	Zellmembran Prozent	N Prozent	Fett Prozent	Kalorien	Kalorien für 100 Teile Organisch
Obst und Gemüse:							
Äpfel	11.6	8.28	19.44	6.51	9.01	535.6	584.0
Mohrrüben	12.7	11.55	19.53	6.92	11.40	530.2	599.0
Kohlrüben	21.8	18.20	16.20	5.70	12.14	475.8	581.6
Wirsing	29.7	12.40	20.80	5.40	12.81	519.2	572.8
Erdbeeren	32.8	16.60	24.70	4.51	6.75	480.3	575.8
		16.90	13.80	6.10	13.19	500.3	581.6
		9.20	36.90	4.57	10.99	502.7	555.9
							Mittel 584.8
Brotgetreide:							
Reines Weizenmehl	4.5	17.50	16.68	5.83	13.85	450.6	546.2
Gerste	9.5	9.70	21.78	5.76	7.50	508.0	562.5
Roggen 65 Prozent. Ausmahlung	9.8	8.94	25.79	6.12	5.19	499.6	548.4
Weizen 80 Prozent. Ausmahlung	11.1	11.00	26.29	6.09	4.70	488.8	549.2
Roggen 72 Prozent. Ausmahlung	11.7	5.01	18.70	4.48	—	497.5	523.7
Roggen 82 Prozent. Ausmahlung	13.5	8.32	21.70	6.24	—	528.7	576.5
Roggen 95 Prozent. Ausmahlung	14.8	16.00	29.30	4.67	5.37	461.7	549.6
		7.52	26.50	4.04	3.94	483.4	522.6
		9.00	29.50	5.50	8.75	512.5	562.6
		10.28	31.77	4.59	7.19	466.2	521.0
		6.40	32.00	5.02	—	498.4	533.5
		8.08	26.90	5.47	—	496.7	540.5
		8.80	33.30	4.77	7.37	501.2	549.5
		7.10	34.60	4.48	6.06	507.5	546.3
							Mittel für Roggen 541.9
							„ „ Gerste 548.8
							„ „ Weizen 552.7

In der Gruppe Obst und Gemüse sieht man zunächst die Schwankungen des Aschegehaltes, die nur zu einem Teil in den Schwankungen des Asche-

gehaltes der Nahrungsmittel selbst ihre Erklärung finden und hier nicht mehr näher erörtert werden können. Als wesentlichen Bestandteil des Kotes tritt die Zellmembran auf, welche dort, wo wirklich nennenswertes Unverdauliches vorliegt, wie bei den Samen der Erdbeeren, bis zu 36.9 Prozent der Körnmasse ausmacht und dabei natürlich die Relation der übrigen Bestandteile, wie z. B. den Aschegehalt, beeinflusst. In allen diesen Fällen ist die Menge der Stoffwechselprodukte nicht unbedeutend.

Bei dem Brotgetreide ist die Menge der Zellmembranen auch im allgemeinen hoch, zwischen 16.7 und 34.6 Prozent, also um das Doppelte schwankend; wenn man Zusammengehöriges vergleicht, kommt aber scharf zum Ausdruck, daß die Art der Ausmahlung einen starken Einfluß ausübt bei Weizen wie bei Roggen. Auffallend bleibt, daß die Unterschiede nicht bedeutender sind, da doch feines Mehl nicht nur wenige, sondern auch leicht verdauliche Zellmembranen enthält. In kalorimetrischer Hinsicht sind die Unterschiede sehr gering, und zwischen Weizen, Roggen und Gerste ist fast keine Differenz in der Verbrennungswärme vorhanden; das Gesamtmittel des Kotes der Zerealien bleibt aber etwas unter jenem für Obst und Früchte (Gemüse).

Diese Beobachtungen ergänzen also in weitgehendem Maße frühere Beobachtungen und bieten so die Möglichkeit, aus der Art der Nahrung und ihrer Resorbierbarkeit im allgemeinen auf die Beschaffenheit des Kotes einen Schluß zu ziehen. Die Resorbierbarkeit läßt sich für diese Zwecke wenigstens aus der Aufnahme der organischen Substanz ersuchen, falls die Verbrennungswärme nicht selbst bestimmt wird.

Der verschiedene Fettgehalt des Kotes hat wenig Einfluß auf die Verbrennungswärme dieser Kotarten, da der Ätherextrakt ja reichlich niedere Fettsäure von geringem Wärmewert einschließt und nicht etwa nur aus hochatomigen Fettsäuren und deren Glyceriden besteht.

Die Versuche erweitern meine Angaben dahin, daß man nicht, überlasteten Darm vorausgesetzt, aus der organischen Substanz des Kotes die Größe der Verbrennungswärme nach den gegebenen Zahlen berechnen kann, ohne irgend eine nennenswerte Ungenauigkeit zu begehen. Auch für Gemische von Gemüsen, Obst und Zerealien werden die Zahlen anwendbar sein. Für die organische Substanz im Brote kann man 4.282 Kalorien im Durchschnitt annehmen. Bei den Gemüsen und dem Obst findet man erhebliche Unterschiede im einzelnen; ich muß diesbezüglich auf meine Publikationen vom Jahre 1916, „Über den Nährwert einiger wichtiger Gemüsorten“ verweisen. Gemüse und Obst bieten so viele Varianten, daß es unmöglich ist, an dieser Stelle noch ins einzelne weiter einzugehen.

Physiologischer Nutzeffekt und Resorption der Zellmembran.

XV.

In der gemischten Ernährung und besonders in der Kriegsernährung kann der Austausch von Nahrungsmitteln je nach den wechselnden Zeiten der Ernährungsverhältnisse ein sehr verschiedener sein. Indem ich die Vegetabilien soweit geschildert habe, als sich aus den experimentellen Verhältnissen heraus begründete Anhaltspunkte ergeben haben, sind die verschiedensten Seiten und Eigentümlichkeiten dieser vielgestaltigen Nahrungsmittel zur Erläuterung gekommen. Das Gebiet der pflanzlichen Nahrungsmittel läßt sich in seinem Wechsel der Erscheinung mit dem so viel einfacheren Verhältnis der Animalien kaum in Vergleich stellen. Wer ein begründetes Urteil und ein rationelles Können auf diesen Gebiete haben will, muß mit allen Einzelheiten und Besonderheiten der Nahrungsmittel vertraut sein. Manche Fragen, wie die des Stoffwechsels, werden erst später in Betracht gezogen werden können, sie würden hier die allgemeine Schilderung nur unnötig belasten. Und doch drängt die praktische Verwertung immer wieder zur Vereinfachung und zur kompendiösen Darstellung, was leicht zu Mißverständnissen und oberflächlicher Auffassung der Probleme führt. Wie sehr dies der Wahrheit entspricht, dafür gibt namentlich die Anwendung des kalorimetrischen Wertes den deutlichsten Beweis. Auch in ärztlichen Kreisen ist man sich vielfach nicht klar, welche Werte und welche Bedeutung den Nahrungsmitteln zukommen, wo man sie anwenden soll und kann und wo die Grenze ihrer Bedeutung ist. Niemals sind alle Probleme, welche ein Nahrungsmittel lösen soll und kann, nur nach Wärmeinheiten zu bemessen, das sollte man heute zutage endlich einsehen, aber andererseits auch wissen, daß ohne eine solche Maßeinheit die ganze praktische Ernährung völlig unverständlich wäre und ihre Anwendung völlig in der Luft schwebt. Mit dieser Verwertung will ich aber an einem Beispiel — an der Summierung der Bewertung der Vegetabilien — zeigen, wie wir uns gerade aus dem Chaos zahlloser einzelner Eigentümlichkeiten heraus im kurzen prägnanten Bild die Werte der Nahrungsmittelgruppen verschaffen können.

Quantitätsfragen haben heute eine ungeheure Bedeutung. Diese lassen sich für den, der den Begriff der Kalorienbewertung nicht erfaßt hat, überhaupt nicht lösen. Quantitätsfragen ordnen in erster Linie die Bedürfnisfrage, erst an sie schließen sich die zahlreichen anderen Gesichtspunkte an, die allein die praktische Ernährung in diätetischem Sinne lösen können, nachdem die Stoffwechselgrundlagen sicherstellen. Die Kriegsliteratur ist ein gutes Beispiel dafür, wie man Ernährungslehre

nicht betreiben soll; auf dem Gebiete der Nahrungsmittellehre ist die alte Oberflächlichkeit, welche unsere Nahrungsvorräte wieder ganz nach der chemischen Analyse des Ausgangsmaterials beurteilt, gang und gäbe geworden. Auch in den amtlichen Verfüggungen sieht man bei Ersatz für ein fehlendes Nahrungsmittel durch ein anderes, daß der Rohstoff entscheidet, aber nicht das Verdauliche. Betrachten wir nach Maßgabe der Verdaulichkeit das ganze bearbeitete Gebiet.

Um einen kurzen Ausdruck für die Gesamtausnutzung aller organischen Substanzen zu erhalten, habe ich an Stelle der Trockensubstanz oder auch organischen Substanz die Kalorienzahl verwendet. Die Unverwendbarkeit der Trockensubstanz begründet sich auf den außerordentlich schwankenden Gehalt der Aschebestandteile des Kotes, die Unverwendbarkeit der organischen Trockensubstanz auf die bei Vegetabilien durchweg höhere Verbrennungswärme des Kotes, welche bei Verwendung der organischen Substanz zu günstiger Ausnützung errechnet. Alle anderen Besonderheiten lassen wir vorläufig ganz beiseite. Die Feststellung der Ausnützung in diesem Sinne ist aber noch nicht der präziseste Ausdruck dafür, was uns ein Nahrungsmittel auch nur quantitativ sein kann, insoweit es sich um die bloße Erhaltung des Energiebedarfes des Menschen handelt.

Die Feststellung der Ausnützung ist eine wichtige Vorarbeit für eine wichtige andere Feststellung: für die Bestimmung des physiologischen Nutzeffektes, worunter ich die Verwertbarkeit eines Nahrungsmittels zur Deckung des Kalorienbedarfes verstehe. Für diesen Zweck ist auch die Feststellung der im Harn verlorenen Kalorien die notwendige Voraussetzung; diese bedürfte besonderer Untersuchung, weil Anhaltspunkte dafür vorliegen, daß teilweise auch Amidsubstanzen im Harn verloren gehen, außerdem, wie ich gezeigt habe, gelegentlich Zucker in kleinen Mengen im Harn auftritt (z. B. bei Kartoffel) oder endlich Pentosane, freilich zumeist in kleinen Mengen, ausgeschieden werden.

Wenn auch die Verluste an Energie mit dem Harn nur durch besondere Experimente zu erledigen sind, so kommt diese ungeklärte Seite des Problems bei den geringen Mengen an N, die nach dem Harn gehen, nicht die Bedeutung zu, wie bei den Animalien, daher habe ich für die folgende Betrachtung nach meinen Untersuchungen Mittelwerte eingesetzt und damit gerechnet. Es gibt uns dann eine Zahl den Wert eines Nahrungsmittels als kurzen Ausdruck in Kalorien an. Die nachfolgende Zusammenstellung gibt diesen Überblick.

Physiologischer Nutzeffekt von 100 g Trockensubstanz.

Nahrung	Kalorien	Gehalt an resorbierter Zellmembran	Die Zellmembran entspricht Kalorien ¹	Die Zellmembran kalorien mach. in Proz. v. ganzen aus	Nutzeffekt auf zellmembranfreies Material ber
Brot 30 prozentiger Ausmahlung	385	0.35	1.43	0.37	384
Brot 65 prozentiger Ausmahlung	369	1.63	6.68	1.81	362
Brot 75 prozentiger Ausmahlung	362	1.48	6.07	0.67	356
Kartoffel	360	5.54	22.71	6.30	337
Äpfel	361	6.16	25.25	6.99	336
Vollkorn	326	2.54	10.41	2.92	346
Vollkorn (Grovitt)	344	4.64	19.02	5.53	325
Kohlrüben	315	18.33	75.15	23.85	240
Mohrrüben	307	25.00	102.50	23.38	205
Erdbeeren	257	14.50	59.40	23.13	198
Wirsing	214	26.50	108.60	50.75	105

Es zeigt sich, daß die einzelnen Gruppen — Zerealien, Obst, Gemüse — einen ganz verschiedenen Nutzeffekt, d. h. eine ganz verschiedene Zahl von Kalorien, aufweisen. Die Brotsorten schwankten von 385 bis 344 Kalorien, eigentlich nicht erheblich, wenn man dagegen betrachtet, welche niedrigen Werte die übrigen Nahrungsmittel zeigen. Brot hat direkt 4.27 bis 4.13 Kalorien pro Gramm, Äpfel 4.09, Kohlrüben 4.08, Mohrrüben 3.61, Erdbeeren 3.79, Wirsing 3.53 Kalorien. Die wirklich nutzbaren Werte sinken aber zum Teil enorm bis 214 Kalorien bei Wirsing.

Ich gebe zur weiteren Erklärung nachfolgendes:

Die einzelnen Nahrungsmittel sind sich physiologisch nicht gleichwertig, weil sie Nahrungsstoffe ganz verschiedener Qualität besitzen. Stab 3 zeigt, wieviel in jedem der aufgeführten Nahrungsmittel an verdauten Zellmembranen mit eingeschlossen ist. Alle Brotsorten enthalten recht wenig, wenn man sie vergleicht mit dem, was die Gemüse im Durchschnitt für den Körper zuführen. Beim Wirsing — und ähnlich werden sich Salat, Spinat, Grünkohl und die anderen Kohlrarten verhalten — sind von den verdauten Stoffen nicht weniger als 26 Prozent Zellmembran. Eben ein Nahrungsstoff, der nicht vollwertig ist und vielleicht auch Kohlehydrate nicht einmal im ganzen Umfang ersetzen kann.

Wenn ich für die Zellmembran die Kalorienwerte (4.1 Kalorien, was als Durchschnitt zu niedrig ist) von dem sonstigen Nutzeffekt abziehe, so erhalte ich, was die einzelnen Nahrungsmittel bedeuten, wenn nur die vollwertigen Nahrungsstoffe in Betracht gezogen waren. Wir sehen, wie rasch die Werte bei den Kohlrüben in dem Stab 6 der Tabelle fallen. Von dem Wirsing bleibt fast nur ein Viertel Nährwert von dem eines

¹ 4.1 Kalorien angenommen, was dem niedrigst möglichen Wert entspricht.

Brotens. Wer uns grünes Gemüse für Brot in gleichen Gewichtsmengen gibt, nimmt uns etwa drei Viertel der vollen Nahrung weg. Wer statt Kartoffeln Kohlrüben für gleichwertig hält, kürzt die Nahrung auf sieben Zehntel.

Wir sehen, wie leicht man sich über Vorzüge und Nachteile einer Nahrung bei der gewählten Darstellungsweise versträngen kann, ohne aber damit den ganzen Inhalt der Bedeutung eines Nahrungsmittels in hygienischer und physiologischer Richtung zu erschöpfen.

Was die hier behandelten Nahrungsmittel als Erwerbträger bedeuten, soll an einer anderen Stelle eingehend besprochen werden.

Grenze der Aufnahmefähigkeit.

XVI.

Unserer Ernährung durch Vegetabilien werden durch die anatomischen und physiologischen Verhältnisse des Magens ohne weiteres bestimmte Grenzen gesetzt, die Volumen der verzehrten Speisen steigen leicht so sehr, daß eine weitere Aufnahme zur Unmöglichkeit wird. Was die Ernährung mit Brot anlangt, so waren die Versuchspersonen mit 1100 bis 1200 g frischer Substanz auf 3000 Kalorien für den Tag an der Grenze dessen angekommen, was sie an Nahrung gerne aufnehmen und haben allerdings solche Experimente auch durch Wochen hindurch ausgeführt unter Zugabe kleiner Mengen von Zucker oder Fett, ohne welche die Energiezufuhr nicht ganz genügend gewesen wäre. Eine volle Ernährung mit ausschließlich Brot haben also diese normalen und gesunden Leute ohne schwere Arbeit nicht erzielt.

Mit Gemüse und Obst waren die gleichen Erfahrungen gemacht worden, die ich schon bei meinen ersten Ausnitzungsversuchen zu machen Gelegenheit hatte. Die Durchführung langer Reihen war überhaupt unmöglich, da die Gerichte Abgessensein hervorriefen, und die eigentliche Nahrungsmenge war gering, obschon das verzehrte Volumen manchmal sehr bedeutend war. In einem Versuch des Jahres 1878 brachte es ein Vegetarier auf täglich 3831 g frischen Wirsing und auf 2566 g frische gelbe Rüben, die Soldaten verzehrten im Jahre 1916 3800 g gelbe Rüben, 2500 g Wirsing, 1700 g Kohlrüben, 2200 g Äpfel, ein Arzt 2400 g Erdbeeren für den Tag.

Es entsprechen die gelben Rüben . . . 1278 Roh-Kalorien

der Wirsing	544
die Kohlrüben	716
die Erdbeeren	883
die Äpfel	1560
..	..

Sie sind also trotz aller Sättigung und Übersättigung in keinem Falle in der Lage gewesen, auch nur annähernd ihren Energiebedarf zu decken, vom Eiweißbedarf nicht zu reden.

Das Gefühl der Sättigung wird zuerst durch die Fülle des Magens erzeugt; an den späteren Tagen sinkt die Nahrung durch das Abgeessen-sein. Niemals ist der Begriff Sättigung in tiblerer Weise angewendet worden wie in den letzten Jahren.

Man hat zwei wesentliche Erscheinungen der Sättigung zu unterscheiden: das Allgemeingefühl der Befriedigung des Hungers, die Deckung des Nahrungsbedarfes und ferner die mit dem Magen zusammenhängenden Gefühle. Der normale Vorgang soll so viel Nahrung zuführen, daß ein Nahrungsleichgewicht entsteht oder der Nahrungsbedarf der Zellen gedeckt wird. Er erfüllt dann zwei Aufgaben: das Körpergleichgewicht bei Erhaltung des stofflichen Bestandes und die Erhöhung des Bestandes nach schweren Krankheiten und Abmagerung. Fehlt es an einem wesentlichen Körper, der zur Ernährung notwendig ist, so drückt sich das in einem unbestimmten allgemeinen Gefühl nach Nahrung aus oder nach Wechsel der Nahrung. Die Wirkung ist bekannt. Der Erwachsene bleibt jahrelang zehntelang auf seinem Gewicht, der Herabgekommene setzt an, der jugendliche Organismus wächst.

Daneben bestehen die Eigenschaften der Nahrungsmittel als dem Appetit angemessen: das äußere Ansehen, der Geruch, der Geschmack; nur das allgemeine Zusägende, oft auch nur Gewöhnte wird aufgenommen. Hier spielt nicht ein einfacher Reflex eine Rolle, sondern Assoziationen, die mit unserer Erziehung, den nationalen Gewohnheiten zusammenhängen.

Weiterhin kommt in Frage das Verhalten des Magens. Jede starke Ausdehnung des Magens setzt den Appetit herab, auch wenn das physiologische Bedürfnis der Nahrungszufuhr nicht gedeckt ist. Je länger der Magen in diesem Zustande der Überfüllung beharrt, um so länger dauert auch eine solche „sättigende“ Wirkung, die im wahren Sinne des Wortes gar keine ist. Alle Eigenschaften einer Ernährung, die sich nur auf solche Erregung appetitmindernder Wirkung basieren, sind nicht Vorteil, sondern Nachteile und schädigen auf die Dauer, denn der körperliche Verfall kommt trotzdem in dem Allgemeinbefinden zum Ausdruck.

In diese Gruppe der den normalen Verlauf störenden Empfindungen gehört alles das, was ich eben von den Gemüsen und dem Obst als alleinige Nahrungsquellen gesagt habe. Sie lassen die Magenfülle sich nicht mindern, und trotzdem hat der Mensch dabei das Verlangen nach anderer Kost, nach anderer Nahrung. Seltener kommt eine „falsche“ Sättigung

durch die Trockenheit der Kost zustande, d. h. meist dadurch, daß die Kauwerkzeuge ermüden, ehe so viel Nahrung aufgenommen ist, als die Mahlzeit bringen soll. Dies ist z. B. bei altem ausgetrockneten Brote der Fall. Man kann ja leicht eine Entfettungskur durchführen, wenn man bei möglichster Beschränkung der Wasserzufuhr nur trockenes Brot genießen läßt.

Eine gesunde, zweckmäßige Kost muß die Eigenschaften besitzen, daß sie auf die Dauer die Einführung einer Nahrung erlaubt, welche den Bestand erhält oder ihn verbessert. Die Gefahr, durch Wohlgeschmack eine übermäßige Menge in den Körper einzuführen, welche dann als Luxuszufuhr einfach verbrannt würde, gibt es nicht. In meinen Versuchen sind zwar schon sehr voluminöse Nahrungsmittel aufgenommen, aber keineswegs die Extreme erreicht worden, die man während der Ernährung im Kriege in Volkstüchen und geschlossenen Anstalten hat beobachten können, wo man vielfach von den breiartigen Darreichungen einfach zur „Vermehrung der Nahrung“ zu den suppenartigen Verdünnungen übergegangen ist. Welche Erfahrungen dabei erzielt wurden, kann man sich ja leicht vorstellen.

Charakteristisch für Obst und Gemüse, ja selbst noch für die Kartoffel ist ihr hoher natürlicher Wassergehalt, der meist durch die Zubereitung — auch von Suppen abgesehen — noch erhöht, unter normalen Verhältnissen aber bei Gemüse durch die Zugabe von Mehl und Fett, bei gekochtem Obst durch Zucker vollständig behoben wird.

Fehlen diese zweckmäßigen Korrekturmöglichkeiten, so nimmt die Wasserrigkeit unserer Kost wie jetzt außerordentlich zu. Dabei kommt es weniger auf die natürliche Verteilung zwischen den Nährwerten und dem Wasser in dem Rohmaterial an als auf die praktisch beobachteten Zubereitungsweisen. In den suppenartigen Zubereitungen ging man vielfach so weit, daß auf 1 Kalorie Nährwert 3 g Wasser trafen, in breiigen Zubereitungen kann man auf 1 Kalorie 0.8 bis 1 g Wasser, in Gemüse 1 bis 3 g Wasser rechnen. In den frischen Kartoffeln entspricht 1 Kalorie Nutzwert etwa 0.85 Teilen Wasser, in den Kohlrüben 1 Kalorie 2.18 Teilen Wasser, im Wirsing 1 Kalorie 5.7 Teilen Wasser, im Brot etwa 1 Kalorie 0.16 Teile Wasser. Die Beispiele genügen, um die enorme Verwässerung der Nahrung beim Übergang von der durchschnittlichen Kost zur Kartoffel- und Gemüsekost, ferner bei Ersatz von Brot durch Kartoffel, von Kartoffel durch Kohlrüben usw. begreiflich zu machen. Die Polyurie und manche andere hierher gehörige Erscheinung wird begreiflich. Verwässerung der Speisen und konzentrierte Kost mit reichlich Wassertrinken sind dabei aber nicht identisch.

In der praktischen Ernährung ist es nicht zulässig, jede beliebige Pflanzenkombination als menschliche Nahrung zu bezeichnen und vom grünen Tisch aus ein Nahrungsmittel durch Erlaß für ein anderes zu bieten, vielmehr bestehen auch für gesundheitlich zweckmäßige Kombinationen, wenn auch nicht überall, „Gesetze“, wohl aber Regeln der Erfahrung; die noch zum Teil nicht näher wissenschaftlich beleuchtet wurden, weil die Praxis des Lebens dazu keine Veranlassung bot und die traditionellen diätetischen Regeln für Zweckmäßigkeit des Gebrauches zu sorgen pflegen. Wie es eine Zweckmäßigkeit der Wahl im Gebrauch zwischen Annalen und Vegetabilien gibt, so ist auch in der Benützung der letzteren Zweckmäßiges und Unzweckmäßiges zu scheiden. Diese Untersuchungen sollten hierfür eine weitere Erkenntnis schaffen.

Über die Verdaulichkeit von Nahrungsgemischen.

Von

Gehemrat **Max Rubner.**

Systematische Versuche über die Verdaulichkeit von Nahrungsmitteln in Gemischen sind meines Wissens bis jetzt mit dem Ziele, die Wirkung auf die Verdaulichkeit der Komponenten einer solchen Kost festzustellen, nicht ausgeführt worden.

Die Bedeutung dieser Frage habe ich schon 1916 in dieser Zeitschrift S. 67 hervorgehoben und Versuche darüber in Aussicht gestellt, die in nachstehendem zusammen mit den sonstigen Erfahrungen über Nahrungsgemische mitgeteilt werden sollen. Das Verhalten der Verdaulichkeit von Gemischen ist von größerer praktischer Bedeutung, weil man nicht dauernd von einem Nahrungsmittel lebt, sondern eben von einem Gemenge derselben. Die Verdaulichkeit aller möglichen Gemische zu prüfen, daran wird man wohl nicht denken können, wenn auch anzunehmen ist, daß im Laufe der Zeit immer mehr und mehr Beobachtungen zusammengetragen werden dürften, die eine solche Lücke in unserer Erkenntnis allmählich schließen helfen.

Man wird vorläufig auf den Ausweg kommen, durch experimentelle Prüfung wenigstens die Grundsätze festzustellen, wie Gemenge von Nahrungsmitteln sich in der Ausnützung verhalten. Den Vorgang der Ausnützung hat man zumeist nur als Lösung oder Nichtlösung der Nahrung im Darm aufgefaßt. Die Konsequenz dieser Anschauung war die Aufteilung des Korbes in unverdaute Eiweiß-, Fett- und Kohlehydratanteile; so erhielt man für jeden Bestandteil eine bestimmte Verdaulichkeitsgröße. Für jedes Nahrungsmittel wurde nach dieser Anschauung die Verdaulichkeit bestimmt und errechnet. Die Verdaulichkeit eines Gemisches ist also einfach die Summe der Verdaulichkeit der Komponenten. Nach diesem System hat zuerst König die Verdaulichkeit der verschiedenen Nahrungsmittel nach den von mir und von anderer Seite bestimmten Ausnutzungswerten berechnet. Diese Zahlen bilden heutzutage die Grund-

ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

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

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. WILHELM VON WALDEYER-HARTZ,

PROFESSOR DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN

UND

DR. MAX RUBNER,

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1918.

== PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG. ==

ERSTES BIS VIERTES HEFT.



LEIPZIG,

VERLAG VON VEIT & COMP.

1919

✓
9804
Le
1918

Inhalt.

	Seite
Max Rubner und Karl Thomas, Die Ernährung mit Kartoffeln	1
Max Rubner, Hindehedes Untersuchungen über die Verdaulichkeit der Kartoffeln	16
Karl Thomas und Hans Pringsheim, unter Mitarbeit der Herren W. Fritze, R. Kindermann und H. Schotte, Die Verdaulichkeit der Zellulose. Vergleichende Untersuchungen	25
Max Rubner, Die Verdaulichkeit der Vegetabilien	58
Max Rubner, Über die Verdaulichkeit von Nahrungsgemischen	135
Wilh. Filtche, Absolute Größeneindrücke und scheinbare Himmelsform 183	
Arnst Kohlrausch, Die Netzhautströme der Wirbeltiere in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes und dem Adaptationszustand des Auges. I. (Mit 19 Figuren im Text und Taf. I)	195
Wilh. Filtche, Der Größen Eindruck an gleichen aber verschieden gerichteten Strecken	242

