

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

16. Jahrgang

30. November 1928

Heft 48

Über die physiologische Bedeutung wichtiger Bestandteile der Vegetabilien mit besonderer Berücksichtigung des Lignins¹.

Von MAX RUBNER, Berlin.

I.

Die Blockadezeit, deren Ende noch kaum ein Jahrzehnt hinter uns liegt, denn ihre Ausläufer schleppten sich in die Nachkriegszeit hinein, hatte unsere Bevölkerung vor umstürzende Umwälzungen der Ernährung gestellt. Unvorbereitet, wie damals die Behörden waren, wußten sie nicht ein noch aus. Wenige Monate nach Beginn des Krieges begann die Zwangsernährung mit der Rationierung der Nahrungsmittel, der Animalien, des Brotes, des Fettes, des Zuckers, der Kartoffeln und aller möglichen anderen Dinge, frei blieben Obst und Gemüse. Die Ernährung wurde ergänzt durch Strecken der Nahrungsmittel mittels Zusätzen verschiedener Art, durch Aufsuchen neuer Nahrungsmittel pflanzlicher Natur. Unzählige Vorschläge aller Art wurden den Behörden unterbreitet. Eine skrupellose Volksbelehrung suchte bald dieses bald jenes Nahrungsmittel oder Surrogat als Rettungsmittel zu empfehlen und die Kriegsernährung als Erlöserin von aller Schwelgerei und als die Ära zur Rückkehr zu einfacheren Sitten zu preisen. Mit der Unkenntnis paarte sich häufig genug gutgemeinter Trug. Heute auf einzelnes rückschauend einzugehen, ist nicht die Aufgabe des Tages, aber die Erkenntnis steht fest, für die große Masse hat die große Not des Volkes keinen dauernden Eindruck hinterlassen. Die Wünsche nach Nahrung sind zu tief im Wesen der einzelnen wie eines Volkes verankert, als daß nicht die Rückkehr zu alten Sitten und Gewohnheiten einträte. Und würde die Verwaltung einer neuen Blockade viel schaffensbereiter gegenüberstehen als ehemals?

Solche Probleme wollen von langer Hand aus erwogen und vorbereitet sein. Sie sind auch nur in Abwägung der großen internationalen Bewegung in der Volksernährung und unter energischer Umgestaltung und Förderung der Landwirtschaft in langer Sicht zu lösen. Auf das allgemeine Ernährungsproblem werde ich an anderer Stelle näher eingehen.

In der Blockadezeit waren auch die wissenschaftlichen Fragen der Nahrungsmittelchemie und Ernährungslehre noch nicht so weit geklärt, als es notwendig gewesen wäre. Aber diese notwendige Umgestaltung hat sich doch rasch vollzogen, und jedenfalls haben wir in vieler Richtung einen Vorsprung vor anderen Nationen gewonnen,

den man mehr außerhalb als im eigenen Lande gewürdigt hat.

Die Ernährungswissenschaft hat sich bemüht, in jener gärenden Zeit nach dem Rechten zu sehen, die Lücken auszufüllen, die sich überall zeigten, die Mißverständnisse zu heben und vor Mißgriffen zu warnen und darzutun, was an Nahrungsmengen überhaupt notwendig sei, welche Folgen die ungenügende Zufuhr habe und welches die untersten Grenzen der Existenzfähigkeit einer nationalen Ernährung sind.

Es wäre zu wünschen, daß auch in ärztlichen Kreisen diese Erkenntnisse tiefer eindringen und in ihrer Bedeutung erkannt werden. Ein tiefer Abstand trennt die Ernährungswissenschaft von der Modediätetik. Es ist eine irrije Auffassung, als bestände eine Volkskost in der Zusammenstellung beliebiger Nahrungsmittel. Im Gegenteil, eine volkstümliche Ernährungsweise ist eine durch lange, oft Jahrhunderte alte Empirie gewählte Ordnung bestimmter Gerichte. Mit der zwangweisen Umstellung durch die Blockade war die Möglichkeit der üblichen Ernährungsformen unterbunden.

Auf diese Änderungen und auf ihre Folgen hat man in der Periode der Not kaum geachtet, es muß aber doch einmal ausgesprochen werden, daß schon diese Umgestaltung der Essensweise an sich schwer auf eine Bevölkerung wirkt.

Es soll im nachfolgenden ausschließlich auf die organischen Stoffwechselfragen eingegangen werden, die auch erfahrungsgemäß bei freier Nahrungswahl und gemischter Kost für eine Bevölkerung die ausschlaggebenden sind.

Das Problem der Ernährung liegt, wenn man von dem Gesagten absieht, im Notfall auf rein *quantitativem* Gebiet, d. h. auf der Möglichkeit, die Menge irgendwelcher Nährstoffe tunlichst zu erhalten oder den Verlust so klein als möglich zu machen. Die quantitative Einschätzung ist aber nur auf *energetischem* Wege möglich, was, wie es scheint, auch heute noch nicht in weiten Kreisen der Physiologen verstanden wird. Wie ich vielfach an anderen Stellen gesagt habe, ist die Gefahr einer ungenügenden Calorienzufuhr weit größer als selbst eine längere Einbuße an Eiweißzufuhr, obschon letzteres zu schwerwiegenden Umstimmungen der Disposition zu Krankheiten geführt hat.

Als die animalischen Nahrungsmittel in naher Sicht zu Ende gingen, als Fett, Brot und Kartoffeln schon rationiert waren und ungenügend waren, träumte man von einer Umstellung auf

¹ Genehmigter Abdruck aus den Sitzungsberichten der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1928, XI—XII, S. 127—145.

vegetabilische Diät. Was wir damals aber eine vegetabilische Kost nannten, war durchaus eine quantitativ ungenügende und in ihrer Komposition schlechte Kost, auch, von den Geschmacks- werten abgesehen, stand sie hinter dem, was vegetabilisch lebende Völkerschaften genießen, weit zurück, weil sie sich auf die minderwertigen Dinge beschränkte, welche einem auf gemischte Kost in seiner Landwirtschaft und Viehzucht ein- gestellten Volke nur wenige Auswahl zu bieten vermochten.

Man versicherte durch eine Ergänzung der Nahrung durch Gemüse und Obst alles Fehlende zu liefern, obschon man hätte sagen müssen, daß Gemüse, die im Frieden nur $\frac{1}{20}$ unseres Nahrungs- bedarfes deckten, unmöglich so plötzlich höhere Erträge liefern können, und daß vom Obst, das kaum $\frac{1}{40}$ unseres Bedarfes deckte, noch weniger Hilfe kommen konnte.

Wie man nicht an die Produktionsmöglich- keiten kritisch dachte, so hat man auch die Nahrungsmittel einfach nach ihren analytischen Werten, d. h. ohne Rücksicht auf ihr physio- logisches Verhalten eingeschätzt.

Bei dem gewaltigen Defizit an Eiweiß in der Blockadenahrung hat man natürlich Ausschau auf weitere N-Quellen gehalten.

Mit Obst und Gemüse greift man auf eine Nahrungsquelle über, die in ihren Einzelheiten weit weniger bekannt ist als die Animalien oder von den Vegetabilien die Cerealien und Leguminosen.

Aus den vielen Untersuchungen, welche ich darüber in der Kriegszeit angestellt habe, mögen die wichtigsten, soweit hier die Eiweißfrage in Betracht kommt, zusammengestellt sein.

In 100 g Trockensubstanz sind N bzw. echtes Protein ausschließlich Amidstickstoff:

Nahrungsmittel	N	Protein
Äpfel	0,22	1,37
Kohlrüben	0,51	3,18
rote Rüben	0,65	4,06
Kartoffeln	0,70	4,37
Meerrettich	0,73	4,56
Schwarzwurzeln	0,77	4,81
Teltower Rüben	1,30	8,12
Blaukraut	1,41	8,81
gelbe Rüben	1,45	9,06
Wirsing	1,49	9,31
Blumenkohl	2,24	14,00
Haselnüsse	2,97	18,55
Spinat	2,94	18,36
Grünkohl	3,14	19,01
Steinpilze	3,43	21,43
Salat	3,95	24,68

Wer auf Eiweißquellen ausgeht, findet nach der Tabelle eine Reihe von Gemüse, die einen Vergleich mit Leguminosen und manchen Animalien aushalten können.

Enthalten ist der Gesamt-N in zweierlei Form, sowohl N als Amid-N usw., und echtes Protein. Auch bei den Cerealien und Leguminosen kommt einiger Amid-N vor, aber in viel geringerer Pro- portion als bei den Gemüse usw. (im Durchschnitt).

Die Verteilung von Amid-N zu Protein ist folgende:

Von 100 N sind echtes Protein:

bei Schwarzwurzeln	27,3
„ roten Rüben, Wirsing, Rosenkohl, Kohlrüben, Teltower Rüben, Mohrrüben, Meerrettich, Kartoffeln	40—50
„ Blumenkohl	52,4
„ Blaukraut	57,5
„ Grünkohl	68,1
„ Steinpilzen	68,7
„ Äpfel	76,3
„ Spinat	81,9
„ Haselnüssen	95,5

Die Unterschiede sind also sehr groß, und der Eiweißwert kann nicht unmittelbar aus dem N-Gehalt der Pflanzen ersehen werden.

Es läßt sich der Gedanke nicht abweisen, hier Nahrungsmittel von zum Teil sehr hohem Wert vor sich zu haben, die durch ihre großen Unterschiede im N-Gehalt gewissermaßen den verschiedensten Ernährungsaufgaben dienen können, dem Bedürfnis einer N-armen Diät bis zu N-Mengen, die den Leguminosen oder auch manchen animalischen Nahrungsmitteln (Milch, manche Fleischarten) gleichwertig scheinen.

Gerade weil aber die Zusammensetzung eines Nahrungsmittels an sich für die Volksernährung keineswegs allein ausschlaggebend ist, sondern vor allem die Verdaulichkeit in Frage kommt, habe ich auch diese experimentell in Betracht gezogen, freilich nicht für alle Objekte, sondern mehr für die wesentlichen Typen. Auf die Ergebnisse im einzelnen gehe ich hier nicht ein, aber das Gesamt- resultat zeigte so große Verluste bei einzelnen Nahrungsmitteln, daß die natürliche Reihenfolge geordnet nach der chemischen Zusammensetzung durch Verdauungsverluste wesentlich modifiziert, ja sogar umgeworfen wird.

Für das praktische Leben und für den Nährwert bleibt bei allen diesen angeführten Nahrungs- mitteln noch zu berücksichtigen die Größe des Abfalls, welcher bei der Zubereitung der Handels- waren bis zur Herstellung eines genießbaren Ge- richtes entsteht.

Zieht man beide Momente, Verdaulichkeit und Abfallgröße, in Betracht, so kommt man nach meinen Untersuchungen zu folgendem Bild:

In 100 Teilen Handelsware sind:

	Kal.	Einfuhr		Verdaut	
		Amid-N usw.	Protein	Kal.	N ins- gesamt
1. Milch	67		0,547	63,6	0,509
2. Fleisch	327		2,7	313	2,6
3. Kartoffeln	98		0,337	90	0,282
4. Roggenbrot	226		0,840	195,5	0,500
5. Wirsing	16,7	0,122	0,091	11,7	0,159
6. Mohrrüben	20,6	0,111	0,096	18,0	0,126
7. Spinat	26,0	0,090	0,047	—	—
8. Äpfel	30,6	—	—	27	—
9. Kohlrüben	33,3	0,041	0,056	26	0,033
10. Steinpilze	132,9	0,509	1,242	85,4	1,133
11. Haselnüsse	187,4	0,035	0,788	184,0	0,823

Hier läßt sich die Stufenleiter der Veränderungen durch die Blockade deutlich erkennen.

Mit dem Ausscheiden des Fleisches haben wir ein hochwertiges, konzentriertes Nahrungsmittel eingebüßt. Kartoffeln und Brot können uns nur einen unvollkommenen Ersatz und einen solchen überhaupt nur dann bieten, wenn wir *größere Nahrungsmengen* aufnehmen; und betrachten wir uns dann die dritte Gruppierung, die man als freie Nahrungsmittel bezeichnete, wobei Steinpilze und Nüsse, weil in zu geringen Mengen erhaltbar, ganz ausscheiden, so sieht man die Möglichkeit einer Ernährung nur unter Anwendung kolossaler Nahrungsmittelmengen gegeben, wobei noch der Umstand berücksichtigt werden müßte, daß Gerichte, aus Gemüse bestehend, beim Kochen noch wasserhaltiger zu werden pflegen, als sie von Natur schon sind. Die Beispiele lehren, wie notwendig es ist, bei der Ernährung alle Umstände eingehend zu würdigen.

Praktisch genommen haben die gesuchten Nahrungsquellen auch vollkommen versagt und den Kräfteverfall nicht aufhalten können. Diese Lehre sollte man auch heute nicht vergessen. Denn auch jetzt noch werden dem Obst und Gemüse Nähraufgaben zugeschrieben, die sie nie erfüllen können, auch wenn der Anbau solch erhabenen Wünschen folgen könnte, was nirgendwo auf der Welt der Fall ist.

II.

Die Vorgänge in unserem Organismus bei Umstellung von einer animalischen oder gemischten Kost auf eine vegetabilische werden zunächst gar nicht richtig eingeschätzt. In der Literatur fungiert die vegetabilische Kost gewöhnlich als „eiweißarme Kost“. Das ist an sich nicht zutreffend, denn man kann sowohl eine vegetabilische Kost zusammenstellen, die sogar sehr eiweißreich ist, wie auch die vergleichende Ernährungsphysiologie der Völker zeigt, daß zwischen Völkern gemischter Kost und vegetabilischer Kost im Eiweißverbrauch kein Unterschied ist.

Zutreffender ist schon die Unterscheidung beider Ernährungsweisen mit Bezug auf Verdaulichkeit, wobei die gemischte Kost der vegetarischen im Durchschnitt überlegen bleibt, besonders auch hinsichtlich des N-Verlustes, der bei Vegetabilien sehr erheblich ist.

Auch darin liegt nicht der eigentliche Unterschied; wir haben es, was man bisher nicht zu würdigen verstand, mit einer völligen Umstimmung und Umstellung in Vorgängen unseres Verdauungskanales zu tun. Ich spreche dabei nicht von dem allgemeinen leicht Feststellbaren und Fühlbaren, der stärkeren Belastung durch die großen Volume der üblichen vegetabilischen Speisen, auch nicht von der gleichfalls belästigenden Gasbildung im Darm und auch nicht von der langsamen Verdauung. Zum Verständnis der Verdauungsprozesse muß ich auf die von mir festgestellte Tatsache verweisen, daß das, was wir

„Kot“ nennen, im Einzelfalle in der Zusammensetzung grundverschiedene Dinge sind.

Bei den Animalien haben wir so gut wie gar keine eigentlichen Nahrungswerte als Abgang, sondern einige Reste von Verdauungssäften und Reste, die aus der *Umsetzung* der Eiweißstoffe über die Gallenstufe herrühren. Bei den Vegetabilien trennen sich vor allem deutlich zwei große Gruppen, wirkliche Reste der Nahrung, auf die ich im nächsten Abschnitt zu sprechen komme, und mehr oder minder große Mengen von Resten von Verdauungssäften, die häufig der Ausdruck von gewaltigen Vorgängen im Drüsenapparat des Darmes sind. Die Hälfte und mehr einer Ausscheidung kann auf diesen Rest der Verdauungssäfte fallen.

Die Anregung zur Sekretion ist wieder nicht allein auf das Eiweiß, Fett oder die Kohlehydrate ihres Aufbaues zurückzuführen, vielmehr wahrscheinlich auf andere Begleitstoffe der Nahrung, vielleicht auf Substanzen des Zellsaftes, deren Wirkung sich in manchen Fällen sogar auf die *Erhöhung des Eiweißverbrauches* im Sinne also einer Stoffwechselsteigerung bezieht.

Die Organtätigkeit erweist sich also zwischen den beiden Ernährungsformen offenbar grundverschieden. Infolge dieser Steigerung der Stoffwechselproduktausscheidung kommt man bei Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Nahrungsmittel zu höchst auffälligen Konsequenzen, nämlich zu einer oft befremdenden Relation zwischen wirklich Resorbiertem und dem Aufwand an Drüsentätigkeit.

Auf 100 resorbierte Calorien treffen an Stoffwechselprodukten (Cal.)

bei feinstem Weizenbrot	3,8
„ Vollkorn-Roggenbrot	8,8
„ Äpfeln	10,1
„ gelben Rüben	12,5
„ Kohlrüben	21,2
Wirsing	42,6

Wir sehen die Nahrung als einen Reiz auf die Sekretionen wirken, die bei manchen Pflanzen eine außerordentliche Größe erlangt.

In diesen erheblichen Ausscheidungen von Resten der Verdauungssäfte liegt auch zum großen Teil der Verlust an N begründet, den die N-Zufuhr der Vegetabilien bei dem Durchtritt durch den Darmkanal aufweist, außerdem bleibt mehr oder minder wirkliches Eiweiß als solches unverdaut, was in einzelnen Fällen auf den Einschluß mancher Eiweißsorten in Zellmembranen selbst oder auch in anderen Fällen wohl so zu erklären ist, daß Eiweißteile an der Zellmembran selbst haften.

Wir kennen keine Völkerernährung, bei der die Beimengung von Gemüsen die oben angegebene bescheidene Grenze wesentlich überschreitet. Unter normalen Verhältnissen sind Nahrungsmittel dieser Art nur Zutaten. Es wäre wohl möglich, daß die übertrieben erscheinende Wirkung auf den Darm zu einem Vorteil bei Kombination mit anderen nicht gemüseartigen Nahrungsmitteln wird. Beachtenswert mag der Umstand sein, daß Blatt-

gemüse die stärkste Wirkung auf den Darm ausüben.

III.

Der zweite Teil der Verluste der Vegetabilien beim Durchtritt durch den Darm besteht in wirklichen Verlusten von Substanzen, die der Resorption widerstanden haben. Deren gibt es eine ganze Menge, eine ganz überragende Rolle spielen in dieser Hinsicht die Zellwände der Pflanzenzellen. Man hat schon vor Jahrzehnten gewußt, daß in den Pflanzen, auch in denen, die zur Menschenernährung dienen, „Holzfaser“ enthalten sind, und diese hat man durch verschiedene Verfahren zu bestimmen gesucht. Die häufigst angewandte Methode ist das Weender-Verfahren und bis heute in Gebrauch.

Genau besehen liegt dem Rohfasergehalt ein rein morphologisches Problem zugrunde. Da man sich das Pflanzengewebe, etwas populär ausgedrückt, etwa wie einen Teil eines Bienenstockes vorstellen kann, der in den Wachswaben Nährstoffe enthält, so kann man sich die Aufgabe stellen, zu trennen zwischen der gehäuseartig aufgebauten Zellmembran der Pflanze einerseits und ihrem Inhalt, dem biologisch wichtigsten Teile, der die lebende Substanz oder wertvolle Reservestoffe einschließt.

Dieses Gehäuse und diese Waben, die zweifellos schon rein mechanisch betrachtet aus harten, zähen Teilen bestehen und besonders überwiegend das Holz darstellen, soll durch die Rohfaserbestimmung erfaßt werden. Das ist auch richtig, insoweit wenigstens die Rohfaserbestimmung einen Teil dieser Stützgewebefasern bestimmen läßt.

Es ist mir aber schon 1915 bei Aufnahme meiner Untersuchungen über Vegetabilien gelungen, an Stelle der Rohfaserbestimmung die wirkliche Isolierung der ganzen Zellmembranen zu setzen, wobei sich wesentlich neue Gesichtspunkte, sowohl in analytischer wie in physiologischer Hinsicht, ergeben haben. Man kann also diese „Waben“ aus dem Nahrungsgemisch herauschälen und für sich untersuchen und auch ihr Verhalten im Darm kennenlernen, denn auch ihre Abtrennung aus den Abscheidungen kann man durchführen.

Ich habe dann systematisch alle pflanzlichen Nahrungsmittel daraufhin untersucht und darüber in der phys.-math. Klasse der Akademie Mitteilung gemacht, aber im wesentlichen nur für solche Pflanzenteile, welche sich zum menschlichen Genuß eignen.

Nur zur Aufklärung der Verhältnisse im allgemeinen sind noch einige Holzarten wie Birkenholz und aus Hölzern oder ähnlichem hergestellte Substanzen analysiert worden.

Die Unterschiede im Zellmembrangehalt erweisen sich sehr groß; vom Holz abgesehen, das bei der Birke zu 89 % davon enthält, haben wir bei genießbaren Teilen als unterste Grenze etwa wie bei der Kartoffel 5–6 % und das andere Extrem bei Rüben und Blattgemüse bis zu 24–30 % Zell-

membranen. Die Cerealien mit 8–9 % für das ganze Korn stehen nicht ungünstig, wie auch die Obstarten, soweit sie untersucht sind. Aber auch in einer Frucht wechselt der Zellmembrangehalt, und zwischen Getreidehülsen, Keimling und Mehlkern finden sich die größten Unterschiede.

Gibt auch die analytisch festgestellte „Rohfaser“ im großen und ganzen ein annäherndes Bild der Unterschiede, so differiert die Beurteilung nach Zellmembran oder Rohfaser ganz erheblich. Zunächst schon betragen die Zellmembranen natürlich viel mehr, als der Rohfasergehalt erkennen läßt, und die Rohfaser stellt auch nie einen bestimmten gleichbleibenden Gehalt der Zellmembranen dar. Aus Rohfaser läßt sich die Zellmembran etwa durch Umrechnung nicht finden.

Die praktische Auswirkung der Zellmembranbestimmung besteht darin, daß sich die Gruppe „N-freie Extrakte“ der Pflanzen wesentlich verkleinert, manchmal in außerordentlichem Maße. Unter N-freiem Extrakt versteht man die Menge von Stoffen, welche rechnerisch hinterbleibt, wenn man N-haltige Stoffe und Asche und Fett und Rohfaser von 100, d. h. der Trockensubstanz, abzieht. In medizinischen Büchern findet man diesen Rest fälschlich als „Kohlehydrat“ bezeichnet, und häufig wird sogar die Rohfaser noch hinzugezählt. In manchen Nahrungsmitteln, die sich bei Diabetes bewährt hatten, ist die Hemmung der Zuckerbildung dadurch zu erklären, daß sie eben überhaupt viel weniger Kohlehydrate enthalten, als man früher annahm.

In allen bisher untersuchten Fällen, die sich auf sämtliche Gebiete unserer Pflanzennahrung beziehen, haben sich drei Gruppen von Körpern feststellen lassen, einmal Cellulose, dann Pentosane. In allen Fällen blieb aber dann noch ein Rest, den weiter zu entwirren mir damals unmöglich war, weil gerade für jene Stoffe, die in diesem Rest enthalten sind, keine brauchbaren Methoden zur analytischen Trennung vorhanden waren. Ich habe diesen Anteil daher kurz als „Restbestand“ zusammengefaßt und dessen Auflösung späteren Untersuchungen vorbehalten. In diese Sammelgruppe gehören die Lignine, dann auch Hemicellulose, Mannan, Galaktan, welches letzteres schon durch verdünnte Säuren leicht in Zucker übergeführt wird.

In ihrem Äußeren sind diese Zellmembranen rein dargestellt nichts weiter als farblose Substanzen, die nur insofern voneinander etwas abweichen, als da und dort in ihren Formen die kleinsten Teilchen etwas „Struktur“ beibehalten, dies kann nicht wundernehmen, da ja der innere Zusammenhang der Bestandteile chemisch nicht zerstört worden ist.

Wer eine endlose Variabilität der Zusammensetzung der Zellmembranen voraussetzt, wird überrascht sein, daß der prozentige Aufbau dieser Teilchen nach den Bestandteilen der drei Gruppen nicht allzu groß ist. Die meisten Cellulosewerte der Zellmembran bewegen sich zwischen 41–48 %.

also höchstens die Hälfte besteht aus diesen widerstandsfähigen Massen. Die Pentosane bewegen sich zwischen 15—25 % (mit Ausnahme der Kartoffelzellmembran) und die Restsubstanzen zwischen 29—43 %. Also sind die Pentosane im allgemeinen geringer an Masse als die beiden anderen Gruppen. Wenn eine Nahrung aufgenommen wird, die nur aus einem bestimmten Nahrungsmittel besteht, so läßt sich aus den Ausscheidungen die Zellmembran wieder darstellen und sieht in ihrem Äußeren eigentlich kaum verändert aus. Aber mit der Menge des Aufgenommenen verglichen, gibt es bei unseren Nahrungsmitteln keine Zellmembran, die nicht angreifbar wäre für den menschlichen Darm.

Tabelle.

	In 100 Teilen Trockensubstanz sind Zellmembran	Von 100 Zellmembran sind		
		Cellulose	Pentosan	Rest
Grünkohl . . .	25,9	40,22	26,71	33,07
Spinat	26,6	40,23	24,42	35,35
Wirsing	28,5	41,76	23,48	34,76
Brunnenkresse . . .	13,5	41,95	15,49	42,56
Blumenkohl . . .	28,5	43,79	22,11	34,10
Salat	29,7	47,69	20,65	31,66
Kartoffeln	5,59	40,72	5,55	53,73
gelbe Rüben . . .	26,4	42,72	22,31	35,27
Meerrettich . . .	26,4	44,74	24,57	30,69
Schwarzwurzeln . .	12,5	47,03	24,15	28,82

Wenn man von Kernen und Steinzellen u. dgl. absieht, die ja unverändert abgehen, kann man sagen, daß von allen drei Komponenten der Zellmembran ein Teil verdaut wird. Wenn auch z. B. die Pentosane gelegentlich den Vorrang in der Aufnahmefähigkeit haben, so ist doch diese erleichterte Auflösung keineswegs als ausnehmend groß zu denken, vielleicht ist eine fermentative Einwirkung nicht auszuschließen.

Der Umstand, daß die im Kot des Menschen auftretenden Reste des Unverdauten nicht allzuweit sich von den aufgenommenen Zellmembranen unterscheiden, kann nur durch die innige Vermengung der einzelnen Komponenten erklärt werden, etwa so, daß nur allmählich eine Loslösung und Auflösung kleiner Partikelchen erfolgt, wobei natürlich der anfängliche Grad der Zerkleinerung durch die etwaige Oberflächenvergrößerung auch eine relative Verbesserung in der Verdaulichkeit der Komponenten bedingen kann.

Bei Beobachtungen an Mast- und Milchtieren hat man die Erfahrung gemacht, daß Dinge, die als verholzt gelten, hinsichtlich der Rohfaserverdauung sich schlechter verhalten als anderes Material. Die Cellulose selber hielt man an und für sich für verdaulich.

IV.

Auf diesem Axiom baute sich in der Blockadezeit sozusagen eine neue Industrie auf: die Aufschließung des Strohes und ähnlicher Dinge zu Kraftfutter für Tiere. Die ganze Bearbeitungsweise beruhte überwiegend auf der Anwendung verdünnter Alkalien. Millionenwerte sind dieser

Idee geopfert worden, obschon die Grundgedanken dieses Verfahrens unbewiesen waren.

Schon ehe diese Empfehlungen auftauchen und zu Patenten ausgewertet worden sind, hatte ich darauf hingewiesen, daß wir zur Aufschließung des Holzes gar nicht komplizierter Einrichtungen oder auch nur der Erhitzung bedürfen, um einen erheblichen Teil der verholzenden Teile abzuscheiden, das besorgt schon Alkali bei gewöhnlicher Temperatur.

Eine solche Aufschließung nimmt, wenn man sie quantitativ betrachtet, hauptsächlich die Pentosane fort und einen Teil des Lignins, und die Cellulose wird also in reinem Zustande der Verfütterung zugeführt.

Es soll nicht bestritten werden, daß solches Stroh u. dgl., welches vorbehandelt war, vielleicht lieber von den Tieren genommen wurde als anderes unbearbeitetes Material. Ich will mich auch in diese Frage der Tierhaltung nicht weiter einlassen. Im Laufe der Jahre habe ich aber so viel Beobachtungen über den Verdauungsvorgang solcher Zellmembranen an Menschen und Fleischfressern gemacht, daß ich zu einer anderen Auffassung dieser Verdauungsprozesse gekommen bin und die zur Beurteilung führenden Tatsachen in Kürze auseinandersetzen will, was bisher nicht geschehen ist.

Schon vor diesen Untersuchungen des Aufschließens im Großbetriebe habe ich an *Birkenholz* gezeigt,

1. daß das, was man durch Alkalibehandlung wegnimmt, wesentlich über 70 % aus Pentosanen besteht, außerdem aus Lignin und einigen anderen Stoffen,

2. daß ein Unterschied in der Verdaulichkeit der Cellulose im Holz und freigemachter gar nicht nachweisbar ist, jedenfalls keine Verbesserung der Verdaulichkeit herbeigeführt wird.

Wenn also solchen bearbeiteten Strohmassen ein gewisser Wert zukommt, so liegt dieses jedenfalls mehr in den physikalischen Eigenschaften dieser Fütterung, vielleicht seiner größeren Weichheit (Arch. f. Physiol. 1915, 100).

Weiterhin hat sich zeigen lassen, daß reine Cellulose, d. h. Filtrierpapier selbst für den Fleischfresser zum Teil, d. h. zu 27 %, verdaulich ist. Aber sie ist ein ungünstiges Nährmaterial, auch wenn sie ganz rein und frei von Beimengungen vorliegt.

Cellulose ist also nicht nur für den Wiederkäuer, sondern auch für Mensch und Fleischfresser ein bei der Verdauung angreifbares Material, wenn auch nur in beschränktem Maße, aber das verholzte Material unterscheidet sich nicht zu seinen Ungunsten von der freien Cellulose, wenn es durch Zerkleinerung und Vermahlung genießbar gemacht wird.

Versuche einer Verbesserung der Verdaulichkeit von Holz und Stroh durch Säurebehandlung sind damals auch gemacht worden, aber fehlgeschlagen. Zwar kann man Birken- und Coni-

ferenholz leichter zerkleinern, wenn es mit Säure vorbehandelt ist, aber die Cellulose bleibt dabei unverdaulich.

Dies steht im Zusammenhang mit der Tatsache, daß die Cellulose beim Menschen (auch beim Hund) nicht auf dem Wege fermentativer, sondern bakterieller Aufschließung erfolgt, wie das ja von HABERLANDT eingehend mikroskopisch verfolgt worden ist.

Die saure Aufbereitung des Futtermaterials hinterläßt immer noch so viel Rückstand an Säure, daß es zu einer bakteriellen Verarbeitung im Darm nicht kommt.

Eine derartige Aufschließung läßt sich nach meinen Beobachtungen sehr leicht auch durch Dämpfe von ClH erzielen, ohne Anwendung von Wärme, wenn man z. B. Holzmehl in einem Exsiccator über einer Mischung von ClH und konzentrierter Schwefelsäure stehen läßt. Zuerst greift diese Behandlung keine Cellulose an, wohl aber die Pentosane, diese in Pentosen umwandelnd, weiter wird Lignin mit schwarzer Farbe frei gemacht. Der Brennwert solchen Holzes geht von 4,3 Cal. auf 4,1 Cal. zurück, ein Beweis, daß auch flüchtige Stoffe abgegeben werden.

Man hat also zur Gewinnung einer „rationalen“ Tiernahrung Zeit und Geld nutzlos vergeudet. Noch besser werden die Verhältnisse aufgeklärt, wenn wir uns in folgendem nur den Verdauungsprozessen der Zellmembranen bei dem Menschen zuwenden. Den Grad der Löslichkeit der Cellulose habe ich beim Menschen wohl in Hunderten von Versuchen festgestellt wie auch den der Pentosane und schon 1918 publiziert. Aber eine Untersuchung konnte ich damals nicht im einzelnen durchführen, nämlich jene für die Restsubstanz, oder ich mußte wenigstens offen lassen, aus welchen Gründen sie sich verschieden verhält. Und diese Lücke sei jetzt ausgefüllt.

V.

Die Restsubstanzen, nach meiner Bestimmungsmethode hergestellt, enthalten mehr oder weniger Lignin. Es erschien mir erwünscht, die Rolle des Lignins bei der menschlichen Ernährung durch direkte Bestimmung in den Einnahmen und Ausgaben näher kennen zu lernen. Von anderer Seite liegen einige quantitative Bestimmungen des Lignins in Hölzern vor, das letztere macht etwa die Hälfte der Cellulose aus.

	% Lignin	Cellulose (pentosanfrei)
Birke	19,6	45,3
Buche	22,5	53,5
Fichte	28,3	57,8
Kiefer	26,3	54,5

(FUCHS, Die Chemie des Lignins 1926, S. 72)

Mein Birkenholz enthielt in 100 Teilen:

Cellulose . .	33,8
Pentosane . .	29,2
Rest	16,4

also weniger Cellulose als oben, aber das Verhältnis von Restsubstanz zu Cellulose war wie 1 : 2,

d. h. in der Restsubstanz scheint also bei Hölzern nur Lignin zu sein. Über das allgemeine Vorkommen des Lignins und sein Verhalten in der Natur steht etwa folgendes fest:

Alles Wachstum geht von unverholzten Zellen aus, manche Pflanzenhüllen halten sich dauernd unverholzt, wie Algen und Flechten¹, bei den Moosen ist die Verholzung nur angedeutet. Stark verholzte Gewebe enthalten keine Nährstoffe mehr. Bei Aussaat von Getreide können schon nach wenigen Tagen an den Gefäßen Verholzungen beobachtet werden. Zuerst scheint methoxyhaltiges Lignin angelagert zu werden. In vielen Fällen dient es zur Versteifung der Gewebe, ähnlich wie die Einlagerung von Kieselsäure. Hölzer enthalten zwischen 20—30% Lignin, zumeist 25—28%, die Weichhölzer mehr als die Harthölzer, Gräser führen 15—20% Lignin, Nadeln sind verholzt, Blätter fast immer unverholzt. Das Lignin scheint keine Reservesubstanz zu sein², also zu späterer Auflösung nicht bestimmt zu sein.

Außerhalb der Körper erleidet die Cellulose häufig eine Auflösung unter Gasbildung und Auftreten niederer Fettsäuren, unter letzteren hauptsächlich hervortretend findet sich Essigsäure und Buttersäure, die gleiche Zerlegung beobachtet man auch im Darmkanal³.

Beim Faulen von Holz hat man folgende Beobachtung gemacht. Es wurde gefunden⁴:

	Cellulose	Methoxylzahl	Alkalilöslich
frisches Holz . . .	59,0	3,9	10,6
halb vermodert . .	41,7	5,2	38,1
ganz vermodert . .	8,5	7,8	65,3

Man schließt hieraus auf eine Anreicherung faulen Holzes an Lignin, letzteres widersteht dem Bakterienangriff besser als Cellulose und gibt die Grundlage zur Humusbildung und zu den weitverbreiteten Humuskohlen, während bei der Bildung der Saproelkohlen Umsetzungen durch Faulschlamm eine Rolle spielen.

Der Betrachtung der Verdaulichkeit des Lignins seien die wesentlichsten Tatsachen über die Verdaulichkeit der sonstigen Bestandteile der Zellmembran vorausgeschickt.

Nach meinen Versuchen am Menschen kann gesagt werden, daß sich eine einfache Beziehung der Verdaulichkeit zum Aufbau der Zellmembran nicht dartun läßt.

Wenn dem Lignin die Eigenschaft der Erschwerung der Verdauung zugeschrieben wird, so wäre damit noch nicht gesagt, daß zwischen beiden eine strenge Abhängigkeit bestünde, weil die Verteilung des Lignins keine gleichmäßige ist und manchmal nur einzelne Teile der Pflanzengewebe mit Ligninanlagerung versehen sind.

Von den drei Gruppen der Bestandteile der Membranen kann man den Pentosanen die leichteste Lösbarkeit zusprechen, schon milde chemische

¹ FUCHS, Die Chemie des Lignins, S. 208ff.

² FUCHS, l. c. S. 244.

³ RUBNER, Z. Biol. 19, 81.

⁴ FUCHS, S. 248.

Eingriffe spalten diese ab. Die Herauslösung der Pentosane aus der Zellmembran schreitet sogar in den unteren Darmabschnitten weiter fort, wo sie dann unresorbiert liegenbleiben können.

Am unberechenbarsten erweist sich beim Menschen die Verdauung der Cellulose, sie ist individuell bei demselben Nahrungsmittel bei gleichzeitiger Verfütterung an verschiedene Personen ganz verschieden, was offenbar damit zusammenhängt, daß hauptsächlich Bakterien an der Aufspaltung der Cellulose beteiligt sind und die Bedingungen für das erforderliche Bakterienwachstum sehr leicht sich ändern. Ein celluloselösendes Ferment, wie es bei einigen Schnecken vorkommt, besitzen, wie es scheint, auch die Wiederkäuer nicht.

VI.

Die mit reiner Cellulose und an Hölzern gemachten Anschauungen über die Verdaulichkeit der Cellulose darf man aber nicht auf die menschlichen Nahrungsmittel im allgemeinen übertragen. Schon bei den Körnerfrüchten zeigen sich etwas günstigere Verhältnisse.

Die weitere Untersuchung der Verdaulichkeit von vegetabilischen Nahrungsmitteln hat Ergebnisse gezeigt, welche in mancher Richtung ziemlich unerwartet waren. Eigentlich sollte man annehmen, wenn die reine Cellulose in ihrer Verdaulichkeit bekannt ist, müßte sich daraus die Eigentümlichkeit der Verdauung der Cellulose verschiedener Nahrungsmittel leicht voraussagen lassen. Die Experimente ergaben aber nachfolgendes in Prozenten:

Tabelle.

	Bei der Verdauung	
	Verluste an Zellmembran	Verluste an Cellulose
	im Verhältnis zur Zufuhr in der Kost	
Mohrrüben	5,92	9,64
Wirsing	11,68	12,90
Kohlrüben	17,40	17,4
Äpfel	22,00	21,2
Roggenkeimlinge	32,23	47,5
Roggenvollkorn	51,00	56,1
Birkenholz	64,9	60,8
präpariertes Fichtenholz	67,7	93,5
Filterpapier	73,0	73,0

Die Tabelle führt eine Reihe von Nahrungsmitteln auf. Verschiedene Personen haben sich mindestens mehrere Tage mit einem dieser Nahrungsmittel allein und ausschließlich ernährt. Darunter sind Gemüse, Wurzelgewächse, Obst, Brot und zum Vergleich ein Versuch über Holzfütterung am Hund.

Auf Grund der Verdaulichkeit beim Menschen zeigen die pflanzlichen Zellmembranen sich grundverschieden. Und ebenso grundverschieden, wenn man auch den Cellulosegehalt für sich betrachtet. Derselbe chemische Körper wird das eine Mal mit einem Verlust von 6—9%, das andere Mal mit 73—93% Verlust verdaut und gerade die rein dar-

gestellte Cellulose am allernünftigsten. Würden wir gefunden haben, daß reine Cellulose sehr leicht verdaut wird, dann wäre die Theorie von der Hemmung durch Zunahme inkrustierender Substanzen ganz selbstverständlich und überzeugend.

Sonach bleibt keine andere Erklärungsweise, als daß es eben verschiedene Cellulosen mit verschiedenen Verdaulichkeitsgraden gibt. Möglichkeiten einer solchen Annahme würden vielleicht gefunden werden können im verschiedenen kolloidalen Aufbau. So spricht man z. B. von junger Cellulose, aber immer nur in dem Sinne der Verholzungstheorie. Eine andere Annahme wäre die Voraussetzung einer verschiedenen Zusammensetzung der Zellmembranen unter Einfügung von Molekülkomplexen, welche sich gewissermaßen nur bei Verschiedenheiten des kolloidalen Aufbaues finden. Zu denken wäre dabei an Verbindungen jugendlicher Zellformen mit Eiweißstoffen und Lipiden.

Gestützt würde eine solche Vorstellung durch eine Beobachtung hinsichtlich der Verdauungsfähigkeit der Zellmembranen von gelben Rüben. Stellt man nämlich diese Zellmembranen rein dar, wobei sie ein feines flockiges, farbloses Material bilden, und füttert es an Hunde, da sich ein entsprechender Versuch an Menschen nicht machen läßt, so hört die gute Verdaulichkeit auf. Im frischen Zustand bzw. auch nach dem Kochen verhält sich also die Zellmembran anders.

Erfolgt die Verdauung auch bei den leichtverdaulichen Membranen durch bakterielle Angriffe auf die Cellulose, so wäre es immerhin auch möglich, daß die Bakterienflora bei bestimmten Nahrungsmitteln eine ganz verschiedene ist, und deshalb bei der Fütterung rein dargestellter Zellmembranen mit anderen Nahrungsmitteln zusammen zur Entwicklung besonderer Bakterienespezies kein geeigneter Nährboden vorhanden ist.

Bei der allgemeinen Meinung, daß besonders den Ligninsubstanzen die Schwerverdaulichkeit zuzuschreiben sei, wird die Bestimmung des Lignins als wichtig erscheinen müssen.

Damit begibt man sich auf ein Gebiet, das in vielen Richtungen noch recht unaufgeklärt ist. Denn schon bei der Definition und Charakterisierung gehen die Meinungen auch heute noch erheblich auseinander.

KÖNIG und RUMP verstehen unter Lignin die nichtflüchtigen, alkohol- und ätherunlöslichen methylierten Verbindungen der Pflanzen, die ihren Methylalkohol nicht schon durch Behandlung mit NaOH, wohl aber mit starker Schwefelsäure abgeben. Da der Methylalkohol der Verbindungen wechselnd sein dürfte, läßt sich aus dem ersteren nicht auf die Ligninmasse schließen.

Von anderer Seite wird einfach das in 72% Schwefelsäure Unlösliche als Lignin aufgefaßt.

Das kürzlich erschienene Buch: Die Chemie der Lignine von W. FUCHS zeigt in ausführlicher Weise die zahllosen Vorschläge und Verfahren zur Klärung der Methodik und Darstellung sowie die

schwankenden Vorstellungen über Zusammensetzung und Herkunft dieser zweifellos wichtigen Stoffe.

Das Aussehen verschiedener Ligninpräparate ist verschieden. Je nach der Darstellungsweise erhält man es als gelb bis tiefbraun, in dicken Schichten schwarz aussehende Substanz. Bei den Bemühungen, in der Kriegszeit Zucker aus Holz zu bereiten, wurden große Mengen dieses Lignins als unverwertbarer Abfall erhalten.

Ob die schwere Zerlegbarkeit oder geradezu eine Unzerlegbarkeit des Lignins auch für die biologischen Vorgänge bei der Verdauung gilt, darüber kann man ohne weiteres aus dem von anderer Seite gebrachten Material keinen Schluß ziehen.

Eben deshalb habe ich schon vor Jahren Experimente zur Aufklärung dieser Frage angestellt und weitergeführt und will sie hier mitteilen, da mir die experimentelle Arbeit weiterhin durch äußere Umstände unmöglich gemacht worden ist.

Ich habe eine Reihe von Verfahren zur Trennung des Lignins von anderen begleitenden Substanzen, und zwar schon im Jahre 1915, geprüft. Einen Weg bot die Verwendung von Ammoniak. Die Verwendung von Säuren (Mineralsäuren und deren Gemische und organische Säuren) schien mir aber einfacher. Die Verzuckerung des Holzes durch Anwendung von Salzsäure war, wie schon erwähnt, ein Verfahren, das günstige Resultate aufgewiesen hatte. Unter all diesen Vorschlägen ist die Methode WILLSTÄTTERS, bestehend in der Auflösung einer Substanz pflanzlicher Herkunft in Salzsäure von 1,21 spez. Gewicht, wobei man als Lignin ein tiefbraunes Produkt erhält, weitaus die beste und handlichste.

Prof. HEUSER hat mir seinerzeit Lignin aus Holz überlassen. Die schwarze Masse enthielt 92,2% Trockensubstanz und nur 0,32 Asche. Davon läßt sich nur wenig in salzsaurem Alkohol und beim Kochen in Chloralhydratlösung extrahieren. Pentosane sind nicht darin enthalten, durch Behandlung mit Cl (chlorsaurem Kali und Salzsäure) wird die Masse gelb und ist dann in Ammoniak ohne Rückstand löslich, also cellulosefrei. 1 g organischer Trockensubstanz lieferte 6,277 kg/cal. an Verbrennungswärme, Holz nur etwa 4,2 kg/cal. Die Verbrennungswärme ist also viel höher als die von Kohlehydraten, was mit der Annahme über die Natur der Lignine in gutem Einklang steht.

Im Gesamtdurchschnitt enthalten Lignine etwa

C	H	O
63,12	5,9	31,0

(s. FUCHS l. c. S. 75) mit mancherlei Differenzen im einzelnen. Das Molekulargewicht steht noch nicht fest.

Die schwarze, meist fest zusammenbackende Masse ist nicht das ursprüngliche Lignin der Nahrungsmittel selbst. Die Lignine lassen sich ohne Farbenveränderung aus Hölzern mit Ammoniak ausziehen (RUBNER, Arch. f. Anat. u.

Physiol. 1916, 48), worauf die Einwirkung der Salzsäure keine weitere Schwärzung des Holzes hervorruft. Wir haben keinen Grund anzunehmen, daß ein größerer quantitativer Abbau bei der Darstellung des Lignins mittels Salzsäure vorkommt.

Aus den zahlreichen Versuchen über die Verdaulichkeit pflanzlicher Nahrungsmittel, die ich in den Jahren 1915—1918 ausgeführt habe, läßt sich aus dem Verhalten der ligninhaltigen Restsubstanz immerhin mit Sicherheit entnehmen, daß auch Lignine beim Hund und Menschen verdaut werden.

Der einzige ältere quantitative Versuch, die Resorbierbarkeit von Lignin festzustellen, ist von KÖNIG und BECKER am Pflanzenfresser ausgeführt worden, dabei wird angegeben, daß Lignin der Weizenkleie nicht, wohl aber freies Lignin beim Schaf zu 17,6—18,9% verdaulich sei. Die Versuchsanordnung war aber dabei so kompliziert, daß meines Erachtens ein bestimmter Entscheid nicht getroffen werden kann, zumal auch, wie schon berührt, das gefütterte abgespaltene Lignin möglicherweise nicht in allen Eigenschaften mit dem in den Membranen gefundenen ursprünglichen übereinstimmt. (Veröffentlichungen der Landwirtschaftskammer der Provinz Westfalen 1918).

Für die Untersuchungen auf Lignine empfiehlt es sich nicht, die Nahrungsmittel als solche zu verwenden, da ein derartiges Gemenge verschiedener Stoffe der Reindarstellung große Schwierigkeiten entgegengesetzt. Für meine Versuche wurden zuerst die Zellmembranen der Nahrungsmittel und ebenso die Zellmembranen des Kotes dargestellt. In diesem ist an Verunreinigung nichts anderes mehr vorhanden als kleine Mengen von Stickstoffsubstanz und Asche. Als sich in einer Reihe von Vorversuchen das Verfahren nach WILLSTÄTTER bewährt hatte, habe ich es auch weiterhin beibehalten.

Die Ausführung der Methode von WILLSTÄTTER (Chem. Ber. 46, 2401 [1913]) stößt, wie schon gezeigt, bei den für uns interessierenden Stoffen auf manche Schwierigkeiten, weil die Auflösung der Zellmembranen in der konzentrierten Salzsäure nicht immer schnell erfolgt, sondern manchmal längere Zeit erfordert. Ist die Reaktion zu Ende, so wird durch einen mit Asbest beschickten GOOCHSchen Tiegel filtriert und mit konzentrierter Salzsäure nachgewaschen, schließlich der Salzsäurerest mit Wasser und mit Alkohol und Äther ausgewaschen, getrocknet und gewogen.

Nach diesem Verfahren wurden folgende Ergebnisse erzielt: Birkenholz, feinst gepulvert, gab 17,2% Lignin.

Das Präparat enthielt in 100 Teilen 81,10 Zellmembran mit

33,2% Cellulose
28,9% Pentosan
37,9% Rest (= 30,7 Teile auf das Holz gerechnet)

Von der Restsubstanz waren 17,2 Teile Lignin = 56%, also über die Hälfte (s. auch oben).

In einem Fütterungsversuch am Hund gingen zu Verlust:

70 % der Cellulose
52,6% des Pentosans
62,9% der Restsubstanz

Man könnte also annehmen, wenn man die Zahlen so deuten will, das Lignin sei quantitativ zu Verlust gegangen und die anderen Teile der Restsubstanz ohne jeden Verlust verdaut worden. Dieses ist aber zweifellos sehr unwahrscheinlich und die Zersetzung eines Teiles des Lignins sicher.

Reine *Kleiezellmembranen* aus Weizen enthielten nach meinem Versuch in 100 Teilen Zellmembranen

20,7 % Cellulose
40,48% Pentosane
30,05% Restsubstanz

Gefunden wurden auf Reinkleie berechnet = 17,9% Lignin = 59,6% der Restsubstanz.

Beim Hund ist von solcher Kleie nicht verdaut worden:

75,0% der Zellmembranen
44,7% der Cellulose
38,7% von Pentosanen
25,3% der Restsubstanz

Da nun ein Viertel der Restsubstanz verloren ging, etwa 60% aber aus Lignin bestehen, so folgt von selbst, daß hier der Beweis für die Verdaulichkeit der Lignine des Getreidekorns vorliegt.

Im Gegensatz zu den Körnerfrüchten, deren Zellmembranmasse durch die Kleie repräsentiert wird, schwer verdaulich ist und auch reichlich Lignine enthält, stehen Wurzelgewächse und Blattgemüse. Zwei Beispiele werden zu einem Einblick genügen. Die *Mohrrüben* haben eine Zellmembran, die sich aus

42,42% Cellulose
22,31% Pentosane
35,27% Restsubstanz (2,2 Lignin)

zusammensetzt.

Die Zellmembran, die sich chemisch nicht wesentlich von anderen schwer verdaulichen unterscheidet, wird außerordentlich gut resorbiert, so daß nur verloren gehen:

von der Zellmembran . . . 5,92%
,, ,, Cellulose 9,64%
,, ,, Pentosane 4,19%
,, ,, Restsubstanz . . . 2,79%

Die Mohrrüben unterscheiden sich von allem bisher aufgeführtem Pflanzenmaterial durch ihren geringen Ligningehalt von 2,2% der Zellmembran. Von der Restsubstanz sind nur 6,2% Lignin. Mikroskopisch findet man als „Lignin“ braunschwarze Krümel und schwarze Spiralgefäße. Aus meinen Versuchen am Menschen hat sich also ergeben, daß sich in den Ausscheidungen mikro-

skopisch auch im wesentlichen als geformte Masse nur die Spiralgefäße der Mohrrüben nachweisen lassen, so daß es hier nahe liegt, die Unverdaulichkeit oder Schwerverdaulichkeit *einzelner Teile der Zellmembran* auf diese Imprägnation von Lignin zu beziehen, vorausgesetzt, daß nicht auch nebenbei noch eine Verkorkung des Spiralgefäßes eine Rolle spielt.

Von Blattgemüsen wurde der *Wirsing* analysiert. Nach meinen Analysen enthält die Zellmembran

38,96% Cellulose
23,55% Pentosane
37,49% Restsubstanz (4,66% Lignin)

Von der Restsubstanz ist nur ein kleiner Teil Lignin, die Zellmembran enthielt 4,66% davon, also nur 12,4% der Restsubstanz. Die Zellmembran des Wirsings gehört ebenso wie die der Mohrrüben zu den leichtverdaulichen. Zu Verlust gegangen sind:

von den Zellmembranen . . 11,68%
,, Cellulose 12,93%
,, ,, Restsubstanz . . . 10,09%

Die vorliegenden Tatsachen beweisen, daß die Lignine nirgendwo die Hauptmasse der Zellmembranen ausmachen, daß sie sogar in stark verhärteten Massen oft nur in mäßigen Mengen vorkommen, daß sie ferner nicht zu den schwerverdaulichen Stoffen gehören.

Bei Klopferbrot waren in der Aufnahme eines Mannes etwa 7,9 g Lignin täglich. In den Ausscheidungen wurde an Lignin 3,97 g gefunden, also ein Verlust von 50,2%, während die Restsubstanz im ganzen 66,3% verlor. Bei Gerstenbrot wurden etwa 7,8 g Lignin aufgenommen und 4,2 g Lignin in der Ausscheidung gefunden = 55,4% Verlust. Von der Restsubstanz waren verloren gegangen 32,8%.

In welcher Weise das Lignin schließlich im Organismus abgebaut wird, darüber läßt sich zur Zeit keine Angabe machen. Obschon die Mengen des verdaulichen Anteils des Lignins nicht allzu gering sind, kommt aber doch vom Standpunkt der Energieversorgung dem verdauten Lignin eine größere Bedeutung beim Menschen nicht zu.

Die schwerverdaulichen Zellmembranen enthalten mehr Lignine als die leichtverdaulichen.

Da aber die Verdaulichkeit der Cellulose von der Verholzung oder dem Ligningehalt, wie früher gezeigt, nicht abhängig ist, so haben wir die Lignine *nur als Leitsubstanzen* zu betrachten, die nur die Schwerverdaulichkeit der verschiedenen Cellulosen markieren.

Die Entstehungsgeschichte der gasgefüllten Glühlampe.

Ein Beitrag zur Frage der technisch-wissenschaftlichen Forschung.

Von IRVING P. LANGMUIR, Schenectady, U.S.A.¹.

Vorbemerkung des Übersetzers. Der nachstehende Aufsatz bildet einen Teil eines Vortrages, den der Ver-

fasser am 13. Januar 1928 anlässlich der Verleihung der PERKIN-Medaille gehalten hat. (Vollständig unter dem Titel „Atomic hydrogen as an aid to industrial research“ in Science Bd. 77, S. 201, 1928). Im ersten Teil seines

¹) Übersetzt von WILHELM WESTPHAL, Berlin.