

Die Verdaulichkeit der Mohrrüben beim Menschen.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Das Material, welches wir über die Verdaulichkeit der Gemüse besitzen, ist sehr gering, wenn man die große Zahl von Ernährungsmöglichkeiten betrachtet, welche diese Gruppe von Nahrungsmittel liefern kann. Zum Teil liegt der Mangel an Material in der Schwierigkeit, die sich einer ausschließlichen Gemüsekost entgegenstellt, begründet, bei vielen Personen versagt die Durchführung eines Experimentes von mehreren Tagen bisweilen schon an den ausgeprägten Geschmack- oder Geruchstoffen, so willkommen derartige Eigenschaften gerade für die Würzung der täglichen Kost bei den Gemüsen sind. Dadurch beschränkt sich auch tatsächlich die quantitative Bedeutung vieler Gemüse in der täglichen Kost, doch gibt es wiederum solche, von denen auch erhebliche Nahrungsmengen einzuführen sind. Am leichtesten ist ein reichlicher Genuß bei manchen Kohlarten und bei einigen Wurzelgemüsen.

Im März des Jahres 1878 habe ich an einem Vegetarianer einen Ausnutzungsversuch mit gelben Rüben angestellt, welcher der erste dieser Art am Menschen war. Es waren die überwinterten großen Rüben angewandt worden. Die Versuchsperson wünschte zu zeigen, daß man leicht sich auch mit diesem einfachen Nahrungsmittel erhalten könne. Die Ausführung des Versuches enttäuschte. Die verzehrte Menge war am ersten Tage noch groß, wurde am zweiten schon kleiner und länger wollte die Versuchsperson das Experiment überhaupt nicht durchführen. Pro Tag wurde 2566 g frischen Rüben entsprechend an Nahrung aufgenommen. Die Rüben waren durch das Lagern seit dem Herbst 1877 schon etwas wasseram geworden = 13·7 Prozent Trockensubstanz, während frische Rüben, wie sie aus dem Boden kommen, nur 9·2 Prozent Trockensubstanz haben. Obwohl die Person sehr viele Mahlzeiten einnahm, konnte sie, wie man jetzt, nachdem man die Verbrennungswärme der Gemüse genau kennt, berechnen kann,

nur 1028 kg-cal. zuführen, was für ihr Gewicht, wohl an 70 Kilo oder mehr — kaum die Hälfte dessen darstellt, was nötig gewesen war, wobei aber der Verlust durch den Kot noch nicht einmal in Rechnung gezogen ist. Es ist sicher, daß auch beim Wechsel des Nahrungsmittels und Aufnahme eines anderen Gemüses nicht viel mehr an Kalorien hätte aufgenommen werden können, denn bei dem analogen Versuch mit Wirsing brachte die Versuchsperson in 3 Tagen es auch nur auf je 3831 g frische Substanz = 1090 Kal. Bei ausschließlicher Kartoffelkost (an einer anderen Person) erreichte dagegen die gegessene Masse 3077·6 g, diese aber lieferten 3100 kg-cal. Man sieht daraus, daß im Volum der Kost eine bestimmte Begrenzung für die Ernährung gegeben ist. Vermutlich wäre schon die Hälfte der oben verzehrten Gemüse zur Befriedigung des durchschnittlichen Geschmacksbedürfnisses selbst für gesunde Männer recht groß, obwohl dann für einen Arbeiter erst $\frac{1}{6}$ des Nahrungsbedarfes geliefert würde. Wirsing mit 10·6 Prozent Trockensubstanz und Mohrrüben mit 13·7 Prozent gehören immerhin schon zu den gehaltvollen Nahrungsmitteln dieser Art, man braucht nur hierauf zu verweisen, um zu erkennen, daß sehr wasserhaltigen Blattgemüsen wie Spinat, Salat u. dgl. oder auch manchen Obstarten hinsichtlich der Befriedigung des Quantitätsbedürfnisses an Nahrung enge Grenzen gezogen sind. In diesem Frühjahr und in der Sommerzeit hat der Mangel an anderen Nahrungsmitteln wohl zu einem umfangreichen Genuß von Gemüse Veranlassung gegeben. Man darf aber die Verhältnisse der Kriegszeit, welche aus einer Fülle von Ausnahmefällen der Ernährung sich zusammensetzen, nicht als dauernd oder als einen dauernden Gewinn ansehen, sie werden verschwinden, sobald der Zwang aufhört.

Die Notwendigkeit einer weiteren und eingehenden Untersuchung der Gemüse ergibt sich aus den zahlreichen Experimenten, die ich in dieser Zeitschrift nach Verdauungsversuchen am Hunde mitgeteilt habe.

Die Verdaulichkeit verschiedener Zellmembranen beim Hunde ist unter möglichst vergleichbaren Bedingungen ausgeführt worden, so daß sich die Eigenart des Aufbaues der Zusammensetzung der Zellmembranen möglichst klar hat ausprägen können, das Gesamtergebnis zeigt eine weitgehende Auflösbarkeit der Substanzen, stets mit der Abstufung, daß die echte Zellulose zweifellos weniger gut resorbiert worden ist, während die Pentosane und Lignine offenbar weitgehender aufgelöst werden. Zwischen Lösbarkeit und Resorption im Darm ist jedoch noch ein Unterschied vorhanden, da es Lösungen der Pentosane, welche aber nicht zur Resorption führen, gibt.

Wie sich die Resorptionsverhältnisse der Zellmembranen beim Menschen verhalten, ist bisher wenig bekannt, da man sich in wenig Fällen nur auf den

Nachweis des Verhaltens der Zellulose oder Rohfaser beschränkt hat. Es schien mir wünschenswert, die Experimente, die ich früher an gelben Rüben ausgeführt habe, zu wiederholen.

Ein gesunder Mann, der eben erst vom Felde zurückgekehrt war, übernahm die Durchführung des dreitägigen Experimentes. Abgegrenzt wurde zu Anfang und am Ende mit Kuhmilch und Käse, ein Verfahren, das ich noch jedem anderen vorziehe. Die gelben Rüben waren eine kleine Sorte, sehr frisch aus dem Boden, wohl aus unmittelbarer Nähe von Berlin. Sie wurden gewaschen, abgeschabt, zerkleinert und gekocht, ohne jeden anderen Zusatz. Die allgemeinen Verhältnisse zeigt folgende Tabelle.

Tabelle I.

Datum	Nahrung	Urin ccm	N g	Zeit	Kot g		
					feucht	trock.	
2. VI. 16	4½ Liter Milch, 400 g Käse						
3. VI. 16	4500 g gelbe Rüb.	1580	13·70 ¹				letzte Portion am 4. VI. morgens gegessen.
4. VI. 16	4500 g desgl.	2000	11·26 ²	vorm.	330		letzte Portion am 5. VI. morgens gegessen.
5. VI. 16	2500 g „	2730	11·08 ³	abends	167 228		abends Nausea.
6. VI. 16	4½ Liter Milch, 300 g Käse			vorm.	65		
7. VI. 16				„	46	21	
3 Tage	11500 g gelbe Rüb.		36·74		836	109	Abgrenzung vor und am Ende der Rübener- periode scharf.

Das Maximum der Aufnahme war täglich 4500 g täglich, doch ließ schon am dritten Tag die Menge des Aufgenommenen nach, ein Beweis, daß ein durchschnittlicher Konsum von 3830 g frische Rüben pro Tag die Grenzen der Leistung erreichte.

Die Ergebnisse waren nach verschiedenen Richtungen hin wesentlich anders, als bei meinem Vegetarianer, kurz gesagt, viel günstigere. Der Versuchskot bot nichts Außergewöhnliches, war breiig und sah nicht aus wie die gelben Rüben, wie das bei meinem früheren Versuch mit dem Vegetarianer der Fall war. Der Trockengehalt war 13·04 Prozent, also gering.

¹ Davon Harnstoff + NH₃ = 72·2 Prozent.

² „ „ + „ = 70·0 „

³ „ „ + „ = 75·2 „

Die tägliche Harnmenge stieg fortlaufend, da die Rüben ja sehr viel Wasser enthalten, ist die hohe Zahl des Harnvolums begreiflich.

Die Wasserrückhaltung an den ersten Tagen ist eine Erscheinung, die man sehr häufig beim Übergang zu vegetabilischer Kost beobachtet, wie das auch Thomas gesehen hat, auch von anderer Seite ist auf diesen Umstand hingewiesen worden, so schon Voit bei Experimenten mit Brotfütterungen am Hunde.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung war der Übergang des Karotins, des Farbstoffes der Rübe ins Blut und die Gewebe. Die Sklera war deutlich gelb gefärbt, der Harn war auf Gallefarbstoffe geprüft worden, die Probe fiel negativ aus.

In meinen früheren Versuchen hatte ich den Übergang von Karotin in die Haut nicht feststellen können, wahrscheinlich lag der negative Befund an der geringen Resorption der Rüben überhaupt.

Die Zusammensetzung der gelben Rüben entsprach im wesentlichen einer schon früher mitgeteilten. Der Trockengehalt war 9·23 Prozent, die Menge der verzehrten Trockensubstanz pro Tag 353 g. Die Bestandteile der Trockensubstanz sind folgende:

Tabelle II.

100 Teile gelbe Rüben Trockensubstanz.

4·92	Prozent	Asche
95·08	„	Organisches
9·43	„	Pentosen = 8·33 Prozent Pentosan
11·74	„	Zellulose
26·64	„	Zellmembran mit 6·28 g Pentosan
8·62	„	Restsubstanz
1·51	„	N = 9·42 g Protein
3·04	„	Fett

360·9 kg-cal.

353 g Trockensubstanz pro Tag enthalten:

17·37	g	Asche
335·6	„	Organisches
33·29	„	Pentosen
39·44	„	Zellulose
94·03	„	Zellmembran und 22·17 g Pentosan
30·82	„	Restsubstanz
5·33	„	N = 33·3 Rohprot.

10·73 Fett

1277·97 kg-cal.

In 100 Teilen Zellmembran sind:

44.07	Prozent	Zellulose
23.57	„	Pentosan
32.36	„	Rest

Im ganzen entsprach die Zufuhr 1278 kg-cal. (brutto) d. h. sie deckt kaum die Hälfte des Nahrungsbedürfnisses dieses Mannes. Man sieht auch hier, wie eng die Grenzen für die Gemüse gezogen sind, wenn es gilt, große Mengen Nährstoffe zu bewältigen. Bei einem Arbeiter mit schwerer Leistung würden obige 1278 kg-cal. sogar nur $\frac{1}{3}$ des Bedarfes bedeuten. Schwächliche Personen mit einem Magen, der nicht an große Leistungen gewöhnt ist, würde also nur einen mäßigen Nahrungsteil in gelben Rüben oder anderen ähnlichen Gemüsen bewältigen können, daher ist auch die Fattung der Gemüse, wie man sie sonst durchführt, sehr wesentlich, um gehaltvolle Gerichte herzustellen und eine Überlastung der Verdauungsorgane zu beseitigen.

Die Menge der täglich verzehrten Zellmembran machte 94.0 g aus, sie war also sehr beträchtlich. Außerordentlich gering ist die Zufuhr an Eiweiß.

Ich füge nachstehend die Analyse des ausgeschiedenen Kotes bei.

Tabelle III.

Mohrrüben, Kot, Mensch.

100	Teile	Kot
18.19	Prozent	Asche
81.81	„	Organisches
5.70	„	N
4.93	„	Pentosen, 4.35 Prozent Pentosan
11.01	„	Zellulose
16.20	„	Zellmembran mit 2.71 Proz. Pentosan
2.48	„	Restsubstanz
12.14	„	Fett

475.8 kg-cal. 1 g organisch = 5816 kg-cal.

34.41 g Kot enthalten:

6.26	g	Asche
28.15	„	Organisch
2.01	„	N
1.69	„	Pentosen 1.48 g Pentosan
3.79	„	Zellulose

5.57	g	Zellmembran mit 0.93 g Pentosan
0.85	„	Restsubstanz
4.18	„	Fett
= 162.2 kg-cal.		

Daraus ergeben sich folgende Betrachtungen. Der Mann war auch am dritten Tage der Fütterung noch weit von einer Einstellung auf ein N-Gleichgewicht entfernt.

N im Harn	im Kot	Summe	Einnahme	Differenz
13.70	2.01	15.71	5.33	— 10.48
11.96	2.01	13.97	5.33	— 8.64
11.08	2.01	13.09	5.33	— 7.76

Der Verlust an Trockensubstanz war 9.75 Prozent, an N 38.95 Prozent.

Bei meinem früheren Versuch an dem Vegetarianer war 20.7 Prozent der Trockensubstanz und 39.0 Prozent des N verloren gegangen, somit hätte die jetzt verwendete Versuchsperson die Substanz im allgemeinen doppelt so gut resorbiert. Worauf dieser enorme Unterschied beruht, läßt sich nicht ohne weiteres sagen.

Ich stelle die Einnahmen und Ausgaben der organischen Substanz bei meinen beiden Reihen sich gegenüber:

	Aufgenommen pro Tag	Zellmembran	ausgeschieden
Vegetarianer	328.5	(93.5)	71.1
Person M	335.6	94.0	28.1

Die Ausscheidungen des Vegetarianers waren also 2.54mal so groß wie die von Person M.

Untersucht man die Größe der Ausnutzung nach dem Kaloriengehalt, so beträgt der Verlust 12.68 Prozent, der Kot war auffallend reich an Ätherextrakt, von dem das Karotin einen wesentlichen Teil ausmacht, doch war verseifbares Fett vorhanden. Vor allem interessiert das Verhalten der Zellmembran.

Ein Vergleich der Einfuhr und Ausfuhr der Zellmembran ergibt nur einen Verlust von 5.92 Prozent, also eine Resorption von 94.08 Prozent, eine derartige weitgehende Auflösung habe ich niemals beobachtet. Allein es hat sich kein Einwand gegen die Experimente finden lassen. Ein Verlust von Kot war sicher ausgeschlossen. Auch wenn man bedenkt, daß der Energieverlust 12.7 Prozent im Kot betrug, so würde auch die doppelt so hohe Kotmenge noch immer eine ganz außergewöhnlich günstige Auflösung der Zellmembran darstellen. Es müssen also im gegebenen Falle die zellmembranverdauenden Vorgänge sehr eingreifende gewesen sein.

Das Resultat wird aber andererseits bestätigt durch die Untersuchung der Pentosane, von diesen wurden im Kote nur noch 5.07 Prozent gefunden, die Analysen wurden mehrfach wiederholt, da das Resultat zu unwahrscheinlich war. Daß die Pentosane der Zellmembran selbst auch weitgehend resorbiert wurden, versteht sich nach dem Vorstehenden von selbst (4.19 Prozent Verlust). Relativ schlechter war die Resorption der Zellulose mit 9.64 Prozent Verlust, doch stimmt dies wieder mit den allgemeinen Ergebnissen beim Hunde in der Richtung überein, daß die Zellulose stets schlechter als die anderen Komponenten der Zellmembran resorbiert wird.

Die im Kot austretende Zellmembran war also von anderer Zusammensetzung wie die von der Nahrung eingenommene.

In 100 Teilen Zellmembran sind:

in der Zufuhr	im Kot
44.07 Prozent Zellulose	67.96 Prozent Zellulose
23.57 „ Pentosan	16.72 „ Pentosan
32.36 „ Restsubstanz	15.32 „ Restsubstanz

Das Ergebnis der menschlichen Ausnutzung der Zellmembran stimmt mit der am Hunde gemachten Erfahrung nicht überein, wie eine Gegenüberstellung der Resultate ergibt.

	Verlust	
	beim Hund	bei Person M.
an Pentosen überhaupt	54.07	5.07
an Pentosen in der Zellmembran	36.70	4.19
an Zellmembran	58.11	5.92
an Zellulose	84.38	9.64
an Restsubstanz	36.50	2.79

Aus meinem Versuch mit meinem Vegetarianer läßt sich schätzungsweise berechnen, wie etwa der Verlust an Zellmembran gewesen sein dürfte. Der Mann hat nur 48.8 g organische Teile im Kot mehr ausgeschieden als etwa dem Stoffwechselrest des Kotes entspricht. Dieser Überschuß wird die unresorbierte Zellmembran gewesen sein, bei 93.5 g etwa aufgenommener Zellmembran entsprach das einem Verlust von 52.3 Prozent, was annähernd mit den Ausscheidungsverhältnissen des Hundes übereinkommt.

Wahrscheinlich beruhte die ungleiche Resorption meiner beiden Versuchspersonen überhaupt auf ungleicher Zerstörung der Zellmembranen. Hätte der Vegetarianer die Zellmembran besser verdaut, so würde eine Übereinstimmung der Resultate der sonst ganz gleichartig angeordneten Versuche gegeben sein. Freilich bleibt noch die weitere Möglichkeit, daß bei der

einen Person die Grenzen der Leistungsfähigkeit des Darmes durch das Volum der Nahrung etwas überschritten sein könnte. Doch scheint mir die erste Annahme keineswegs unzulässig, weil die Entwicklung der richtigen Bakterienflora für den Angriff der Zellmembran recht wohl sehr wechselnd sein könnte.

Die schlechte Ausnutzung des N bedarf noch einer weiteren Betrachtung. Der N im Kot rührt von zwei Quellen her, von den Stoffwechselprodukten und den Resten des Nahrungsmittels. Auch bei einfacher Stärke- und Zuckerfütterung fand ich beim Menschen rund 1.39 g N pro Tag in den Ausscheidungen, was dem Stoffwechselanteil bei völlig ausreichender Fütterung mit Kohlehydraten und Fett entspricht. Im Kot dieses Versuchs waren 2.01 g N, die beiden Zahlen lassen sich nicht unmittelbar vergleichen, da sie ja bei verschiedenen Versuchspersonen gewonnen sind. Jedenfalls waren aber die 2.01 g N nicht allein Stoffwechselprodukte, denn in dem aus dem Kot hergestellten Zellmembranen war noch N enthalten, der nur als Eiweißrest der N-Verbindungen der gelben Rüben aufgefaßt werden kann. Auf 100 Teile Kot gerechnet waren in der Zellmembran noch 15.99 g Protein = 2.55 g N, auf 34.4 g trocknen Kot = der Tagesmenge berechnet also 0.87 g N. Diese müssen von dem Eiweiß der gelben Rüben herrühren (= 5.33 g N im ganzen) = 16.32 Prozent Verlust. Doch ist dabei zu bedenken, daß die Rüben ja nicht allen N als Protein enthalten. Nach meinen Bestimmungen sind 57.5 Prozent Proteinstickstoff vorhanden, 5.33 N also = 3.06 g Protein N in der Zufuhr bei 0.87 g N-Verlust = also 28.43 Prozent Verlust an Protein.

Zieht man von 2.01 g N im Kot obige 0.87 als Proteinverlust ab, so bleiben für die Stoffwechselprodukte im Kot als N übrig 1.14 g, diese Zahl weicht nicht erheblich von 1.39 g ab, was ich als Ausscheidung bei N-freien Kohlehydrat-Fettfütterung beim Menschen früher gefunden habe.

Auf 1 g Organisch des Kotes trifft 5.816 kg-cal. als Verbrennungswert. In der Zeitschr. f. Biol. XLII, S. 261, 1902, habe ich über den Zusammenhang zwischen der Verbrennungswärme der organischen Substanz des Kotes und der Ausnützung Angaben gemacht. Tritt höchstens ein Energieverlust von 8 Prozent ein, so behält die organische Substanz einen Brennwert von 6.193 kg-cal. per 1 g. Wird der Verlust größer, so sinkt bei vegetabilischen Nahrungsmitteln die Verbrennungswärme. Da der Energieverlust bei den gelben Rüben = 12.7 Prozent beträgt, so stimmt die Höhe der Verbrennungswärme des Kotes (5.816 Kal.) also sehr gut mit der von mir erkannten Regel, der Verlust ist größer als 8 Prozent und die Verbrennungswärme des Kotes kleiner als 6.193 kg-cal.

Es läßt sich berechnen, wieviel von den Ausscheidungen auf Stoffwechselprodukte und wieviel auf wirklich Unverdautes trifft.

Ausgeschieden wurden 28·15 g organische Kotbestandteile	=	162·2 Kal.
davon 5·57 g Zellmembran, pro 1 g habe ich gefunden 3·955 Kal.	= 22 kg.-cal.	
außerdem war vorhanden 0·55 g Pentosan frei = × 3·9 Kal.	= 2·1 „	
und noch 5·5 g unverdautes Eiweiß × 5·8	= 31·9 „	
Summe		56·0 kg.-cal. 56·0
bleiben für Stoffwechselprodukte		106·2 Kal.

Im Verhältnis zu den täglich aufgenommenen Kal. = 1278 kommen also 8·31 Prozent auf Stoffwechselprodukte und das Verhältnis des Gesamtverlustes des Kotes zu den Kalorien aus Stoffwechselprodukten ist 100 : 65·41. Die Hauptmasse der Verluste ist hier wie in allen anderen bis jetzt untersuchten Fällen die Masse der Stoffwechselprodukte, nicht das Unverdaute. Die Menge der Stoffwechselprodukte ist im Verhältnis zu der verzehrten Nahrung groß.

Die Menge der pro Tag verdauten Zellmembran betrug 88·4 g, was immerhin einen Verbrennungswert von 349·6 Kal. ausmacht, im Verhältnis namentlich zu den 1278 Kal. Tagesaufnahme sogar über $\frac{1}{4}$. Daß die berechneten 349·6 Kal. als Zellmembran aber etwa isodynam mit entsprechender Menge von Zucker und Stärke seien, ist ganz gewiß auszuschließen. Vorläufig habe ich keinen Anhaltspunkt, ob ihnen überhaupt ein nennenswerter Nährwert zukommt. Die nächste Versuchsreihe wird Anhaltspunkte zur Beurteilung dieser wichtigen Frage geben.

Über die Verdaulichkeit des Wirsingkohles.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Im Jahre 1878 habe ich an einem Vegetarianer Dr. Br. einen Versuch über die Verdaulichkeit des Wirsingkohles ausgeführt. Der Wirsing wurde als Gemüse mit Fett zubereitet genossen. Die Versuchsperson nahm 3 Tage lang je 3824 g frischen Wirsing auf. = 406 g Trockensubstanz, mehr konnte sie nicht bewältigen. Das Ergebnis der Ausnutzung war nicht günstig im Verhältnis zu den animalischen Nahrungsmitteln und manchen vegetabilischen. Es wurden verloren 14·9 Prozent der Trockensubstanz und 14·1 Prozent der aschefreien Substanz, 18·5 Prozent an N und 15·4 Prozent an Kohlehydraten (inkl. Rohfaser uws.). Die Menge der organischen Trockensubstanz in den Ausscheidungen betrug pro Tag 59·2 g, eine erhebliche Menge im Verhältnis zu gut resorbierbarem Material.

Ein zutreffendes Bild der Verdaulichkeit erhält man nach dieser Untersuchung nicht, mehr eine allgemeine Charakteristik. Damals bei Ausführung des Versuchs, waren die Gesichtspunkte, die heute in Frage stehen, nicht bekannt. Ich habe daher einen neuen Versuch mit Wirsing angestellt, dessen Ergebnisse nachfolgend berichtet werden.

Über die Zusammensetzung des Wirsingkohles habe ich in dieser Zeitschrift 1915 S. 230 Angaben gemacht. Er enthält ziemlich viel Zellmembran, 27 bis 29 Prozent. Die Menge der sogenannten N-freien Extraktstoffe ist daher viel geringer als man bisher angenommen hat. Die Zellmembran weicht wenig von den Mittelwerten für Blattgemüse ab, enthält rund 42 Prozent Zellulose, die Pentosane sind größtenteils in der Zellmembran gebunden. Das Protein hängt nicht so innig mit der Zellmembran zusammen wie bei den Brotfrüchten, der Preßsaft ist reichlich und enthält 56·4 Prozent der überhaupt — von der Zellmembran abgesehen — vorhandenen organischen Stoffe, auch Pentosen gehen in diesen Zellsaft über.

Als Versuchsperson diente derselbe Mann (Soldat), der den im vorhergehenden berichteten Versuch mit gelben Rüben an sich ausge-