

# Die Gesetze der Verdauung und Resorption.

Von  
**Svante Arrhenius.**

Mit drei Kurvenzeichnungen.

(Der Redaktion zugegangen am 22. Oktober 1909.)

## I. Einleitung.

Die Versuche über Verdauung und Resorption, welche im K. Institut für experimentelle Medizin in St. Petersburg angestellt worden sind, haben ein ganz neues Licht über diese wichtigen Prozesse geworfen. Die Ausführung dieser Versuche beruht auf der glänzenden operativen Technik, welche Pawlow da eingeführt hat. Pawlow hat selbst in seinen Vorlesungen<sup>1)</sup> die Hauptresultate der bis 1897 erschienenen Arbeiten auf diesem Gebiet zusammengestellt. Nach dieser Zeit sind verschiedene wichtige neuere Untersuchungen ausgeführt worden, unter welchen ich diejenigen von Lönnquist<sup>2)</sup> und speziell die umfassenden Untersuchungen von E. S. London und seinen Mitarbeitern<sup>3)</sup> anführen will.

Um zu zeigen, wie diese neueren Arbeiten mit den älteren in Einklang zu bringen sind, habe ich auch diese teilweise einer quantitativen Bearbeitung unterworfen.

---

<sup>1)</sup> J. P. Pawlow, Die Arbeit der Verdauungsdrüsen, übersetzt von A. Walther, Wiesbaden, Bergmann, 1898. In Zitaten wird diese Schrift unten mit P. bezeichnet. Die Originalarbeiten von Pawlow und seinen Schülern sind größtenteils in den unten mit A. bezeichneten Archives des sciences biologiques, St. Pétersbourg, veröffentlicht.

<sup>2)</sup> B. Lönnquist, Skandinavisches Archiv f. Physiologie, Bd. XVIII, S. 194, 1906.

<sup>3)</sup> Diese Arbeiten sind in dieser unten mit H. bezeichneten Zeitschrift vom Bd. XLV, im Jahre 1905, an veröffentlicht worden.

Die Versuchsmethoden waren in der Hauptsache die folgenden. Nachdem das Versuchstier, immer ein Hund, lange genug — etwa 24 bis 36 Stunden — gefastet hatte, wurde ihm eine abgewogene Menge Nahrung gegeben. Dabei konnte gewöhnliches Fressen verwendet werden, oder die Nahrung konnte durch eine Magensonde oder Fistel direkt in den Magen eingeführt werden. Bei Versuchen über Resorption wurde die Versuchsflüssigkeit durch eine Fistel in den Darm eingeführt und durch eine weiter unten am Darm gelegene Fistel herausgenommen. Um den Inhalt des Magens oder Darmes vollkommen aufzusammeln, wurden nötigenfalls Nachspülungen vorgenommen.

Bei den meisten Versuchen von Pawlows Schülern, wie Khigine (A., Bd. III, S. 461, 1895), Lobasoff (A., Bd. V, S. 425, 1897) und Lönnquist wurde die Methode mit einem sogenannten kleinen Magen (P. S. 16) angewendet. Dabei wird der aus dem kleinen Magen abgesonderte Magensaft in einem Gefäß aufgesammelt und in bezug auf Menge, Säuregehalt, Fermentgehalt (nach der Mettschen Methode, P. S. 31) usw. untersucht. Es wird dabei angenommen, daß die Mengen Magensaft, die im «kleinen Magen» abgesondert werden, zu denjenigen der im eigentlichen Magen abgesonderten in einem unveränderlichen Verhältnis stehen und daß die Zusammensetzung des Saftes in den beiden Fällen gleich ist. Diese Annahme wird durch die Arbeiten von den genannten Schülern Pawlows bestätigt; besonders eingehend hat sich Lobasoff mit dieser Frage beschäftigt. Daß die Methode mit «kleinem Magen» einige Bedenken hat, wird jedoch häufig hervorgehoben.<sup>1)</sup>

Wenn, wie bei den Versuchen von London, der gesamte Mageninhalt herausgenommen wurde, mußte die Menge des Magensaftes auf indirektem Wege ermittelt werden. Dazu diente sein Gehalt an Salzsäure. Es geht nämlich aus vielen Untersuchungsreihen hervor, daß der Magensaft gesunder Hunde mit großer Annäherung 0,5% (nach Eiweißnahrung 0,6%) Chlorwasserstoff enthält. Eine entsprechende Methode konnte

<sup>1)</sup> Vgl. z. B. Hemmeter, Biochemische Zeitschrift, Hamburger-Festband, S. 238, 1908.

nicht für die im Darm aufgesammelten Saftabsonderungen benutzt werden — in diesem Fall benutzte London den Gehalt an Stickstoff, welcher nach Kjeldahls Methode bestimmt wurde, als Indikator für die vorhandene Saftmenge. Diese Methode konnte ohne weiteres in solchen Fällen zur Verwendung kommen, als die zugeführten Nahrungsmittel keinen Stickstoff enthielten. War dies aber der Fall, so mußte der Stickstoff, der vom Nahrungsmittel stammte, gesondert bestimmt werden, was z. B. bei Verfütterung von Gliadin geschehen kann, indem der von diesem Nahrungsmittel herrührende Stickstoff als Glutaminsäure bestimmt werden kann (vgl. H. Bd. XLV, S. 384 und Bd. XLVI, S. 210, 1905).

Bei Gaben von Kohlehydraten werden dieselben in Dextrose übergeführt, bevor sie vom Körper aufgenommen werden. Zur Bestimmung der umgewandelten Menge wurde in diesem Fall die Fehlingsche Reaktion benutzt.

Bei den Versuchen über Absonderung des Pankreassaftes oder der Galle wurden diese Säfte direkt durch Fisteln in ein an ihrer Mündung befestigtes Gefäß hinausgeführt, so daß die Analyse ohne weiteres geschehen konnte.

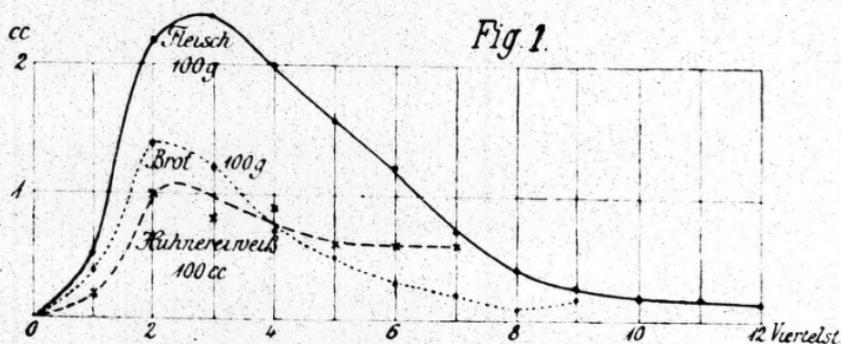
## II. Die Absonderung von Magensaft.

Diese Frage ist besonders von Khigine und Lönnquist untersucht worden, wobei die Methode mit «kleinem Magen» vom Fundusteil benutzt wurde. Eine bestimmte Mahlzeit wurde dem Versuchshunde gegeben und die abgesonderte Menge zu bestimmten Zeiten gemessen. Dabei hat Lönnquist kürzere Zeitintervalle angewendet und seine Ziffern weisen größere Regelmäßigkeit auf, so daß man einen klareren Einblick in die studierte Erscheinung erhält, weshalb ich seine Daten unten wiedergebe. Der kleine Magen sonderte etwa 25 mal weniger Saft ab, als der große.

Diese Beobachtungen sind in den beigelegten Kurven graphisch dargestellt. Die geringe Absonderung in der ersten Viertelstunde beruht auf einer Latenzzeit von etwa 10 Minuten. Ein Maximum der Absonderung wird nach Fressen von Fleisch, Brot oder Eiweiß in etwa 30 Minuten, nach Scheinfütterung

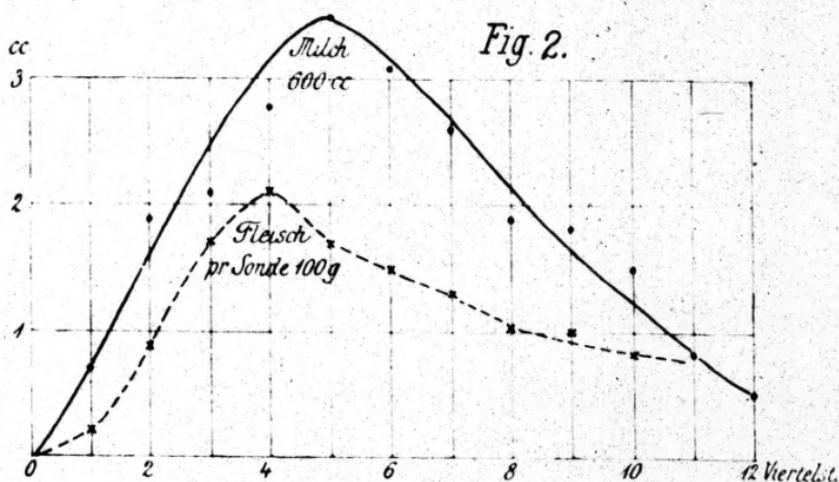
in etwa 15 Minuten, nach Milchfütterung in etwa 80 Minuten, nach Einlegen von Fleisch in etwa 60 Minuten erreicht.

Zeit in Viertel- stunden	Normale Verfütterung				Eingelegt Fleisch 100 g
	Fleisch 100 g	Brot 100 g	Milch 600 ccm	Eiweiß 100 g	
1	0,5	0,4	0,7	0,2	0,2
2	2,2	1,4	1,9	1,0	0,9
3	2,4	1,2	2,1	0,8	1,7
4	2,0	0,7	2,8	0,9	2,1
5	1,6	0,5	3,5	0,6	1,7
6	1,2	0,27	3,1	0,6	1,5
7	0,7	0,23	2,6	0,6	1,3
8	0,4	0,1	1,9	0,4	1,0
9	0,25	0,17	1,8	0,3	1,0
10	0,18	0,17	1,4	0,2	0,8
11	0,20	0,1	0,8	0,3	0,8
12	0,12	0,2	0,5	0,4	0,8



Die Digestionskraft, gemessen nach der Mettschen Methode war in den verschiedenen Fällen recht verschieden, nämlich im Mittel für die 5 Reihen etwa 7,8, 23, 2, 19 und 13. Werden diese Zahlen mit den in den zwei ersten Stunden abgesonderten Mengen in Kubikzentimeter nämlich 11, 4,8, 18,6, 5 und 10,4 multipliziert, so erhält man folgende Relativzahlen der abgesonderten Pepsinmengen 86, 110, 37, 97 und 135. Die nach zwei Stunden abgesonderten Magensaftmengen sind so unregelmäßig und außerdem unbedeutend, daß ich sie nicht mitgezählt

habe. Das Versuchstier wog 23 kg, so daß die gegebenen Mengen als recht unbedeutend im Vergleich zu einer normalen Mahlzeit angesehen werden können.



Während nach Lönnquists Versuchen der Pepsingehalt des Magensaftes in jedem einzelnen Versuch fast konstant war, so daß die abgesonderte Fermentmenge der in derselben Zeit abgegebenen Magensaftmenge nahezu proportional ist, führt Pawlow (P. S. 106) ein paar Versuche von Khigine und Lobasoff an, nach welchen ganz ausgesprochene Regelmäßigkeiten in der Pepsinabsonderung hervortreten scheinen. In diesem Falle ist das Zeitintervall eine Stunde,  $a$  gibt die Menge Saft in jeder Stunde an,  $b$  die Quadratwurzel aus dem Pepsingehalt,  $c = ab^2$  ist die pro Stunde abgesonderte Pepsinmenge.

Stunde	Nach Fressen von 200 g Fleisch				Nach Einlegen von 150 g Fleisch			
	$a$	$b$	$c$	( $c$ ber.)	$a_1$	$b_1$	$c_1$	( $c_1$ ber.)
1	12,4	5,43	366	360	5	2,5	31,3	30
2	13,5	3,63	178	180	7,8	2,75	59,0	60
3	7,5	3,5	92	90	6,4	3,75	90,0	90
4	4,2	3,1	40,4	45	5,0	3,75	70,3	(120)

Wie bei einem Vergleich mit den unter ( $c$  ber.) bzw. ( $c_1$  ber.) stehenden Daten sogleich erhellt, zeigen dieselben ganz auffallende Regelmäßigkeiten, indem im ersten Fall die Pepsin-

menge nach einer geometrischen Reihe mit der Zeit abnimmt, im zweiten Fall dagegen proportional der Zeit (in den drei ersten Stunden) zunimmt. Es ist auch von Herrn R. O. Herzog<sup>1)</sup> ausgesprochen worden, daß die erstgenannte Regelmäßigkeit, welche ebenfalls bei monomolekularen chemischen Reaktionsprozessen stattfindet, für den zeitlichen Verlauf der Magensaftabsonderung typisch sein sollte (eigentlich sollte man dabei von der Latenzzeit absehen). Wenigstens sollte dies nach Fressen von Fleisch oder Brot zutreffen. Es möge hier auch daran erinnert werden, daß nach Lönnquists Beobachtungen (l. c. S. 213) die Magensaftabsonderung nach Einnahme von Milchnahrung ungefähr so verläuft wie nach Fressen von Fleisch oder Brot, falls die Verdauungsprodukte von dem Darm ferngehalten werden. Danach ist die Magensaftabsonderung kein einfacher Vorgang, und es ist auffallender, daß in zwei vereinzelt Fällen solche Regelmäßigkeiten wie in den zuletzt angeführten Versuchen von Khigine und Lobasoff hervortreten konnten, als daß die genannten Regelmäßigkeiten bei den sorgfältigen Versuchen von Lönnquist nicht wiedergefunden werden.

Die oben angeführten Daten mögen eine Vorstellung vom zeitlichen Verlauf der Magensaftabsonderung geben; sie liefern jedoch keinen Aufschluß darüber, wie viel Magensaft in jedem Augenblick im Mageninhalt sich befindet, denn diese Menge wird auch davon beeinflusst, wie schnell die Verdauungsprodukte samt dem damit gemischten Magensaft zum Darm abgeführt werden. London gibt eine Analyse der Menge Magensaft im Magen nach Einnahme von 200 g gekochtem Hühnereiweiß (H., Bd. XLVI, S. 217, 1905), woraus hervorzugehen scheint, daß diese Menge in der ersten Zeit nur langsam abnimmt, so daß man sie als während 3 Stunden fast konstant ansehen kann, wie aus folgender kleiner Tabelle erhellt.

Wenn die Zufuhr von Magensaft in jeder Stunde bekannt wäre, so würde man mit Hilfe der unten gegebenen Daten

<sup>1)</sup> R. O. Herzog, Habilitationsschrift, Karlsruhe 1905; Diese Zeitschrift, Bd. XLI, S. 425, 1904.

	Magensaft ccm	Verdautes Eiweiß im Magensaft g	Unverdautes Eiweiß in %
1 Stunde nach der Einnahme	97	1,12	10
2 Stunden » » »	87,5	1,13	32
3 » » » »	88,3	0,82	28
4 » » » » <sup>1)</sup>	69,6	0,87	18
5 » » » »	68,8	1,52	15
6 » » » »	—	1,10	4
Mittelwert . . .	82,2	1,09	

ebenfalls die Abfuhr berechnen können. Da die Menge fast konstant bleibt, zeigt dies, daß die Abfuhr nach der ersten Stunde nur um wenig größer ist, als die Zufuhr, sodaß die Kurve der Abfuhr den oben gegebenen für die Zufuhr im großen ähnelt; vermutlich zeigt sie die größte Ähnlichkeit mit den Kurven in Fig. 2. Denn anfangs ist die Abfuhr bei Eiweißnahrung bedeutend geringer als die Zufuhr, welche etwa so verläuft wie in Fig. 1., um nachher diese zu übersteigen, was recht nahe der Kurvenform in Fig. 2 entspricht. Vermutlich ändert sich die Abfuhr mit zunehmender Zeit ungefähr in derselben Proportion wie die Abfuhr der Verdauungsprodukte zum Darm.

Bei Einlegen von Fleisch direkt in den Magen nimmt die Säftezufuhr während einer längeren Zeit zu, als nach dem Fressen des Fleisches. Es ist dann natürlich anzunehmen, daß die Abfuhr noch langsamer stattfinden wird, da die Digestion sehr langsam in Gang kommt. Eine Folge davon ist, daß die Zeit der Zunahme des im Magen befindlichen Magensaftes, welche nach dem Fressen auf die erste Stunde beschränkt ist, bedeutend verlängert wird. Man kann dann für diesen Fall nicht annehmen, daß wie im oben behandelten Falle die Magensaftmenge annähernd konstant bleibt, sondern vielmehr, daß sie

<sup>1)</sup> Die Ziffer 69,6 ist ein Mittelwert aus drei Versuchsergebnissen, die 74,2, 53,5 und 81,0 ergaben; ein vierter Wert, 8,5, der allzu stark vom Mittel abweicht, wurde ausgeschlossen, da er vermutlich mit zufälligen störenden Umständen verbunden ist.

während einer längeren Zeit zunimmt. Wie wir unten sehen werden, führt die Annahme, daß die Konzentration des Mageninhaltes in bezug auf Magensaft der Zeit proportional ansteigt, zu Schlüssen, die in bester Übereinstimmung mit der Erfahrung stehen. Natürlicherweise sinkt doch der Totalinhalt des Magens an Magensaft in der Zeit auf Null, wenn nämlich die Verdauung zu ihrem Ende schreitet, so daß die zu verdauenden Körper auf Null sinken. Es wäre ganz interessant, diese Schlüsse durch direkte Bestimmungen zu erhärten.

### III. Die Versuche von Khigine.

Ich brauche nicht auf die Details der Versuche von Khigine näher einzugehen, da dieselben in A., Bd. III, S. 461, 1895 sehr ausführlich beschrieben sind. Wie oben angedeutet, wurde die Absonderung des «kleinen Magens» nach verschiedenen Probemahlzeiten bestimmt. Die Hauptversuche hat er in der Tabelle auf S. 502 zusammengefaßt. Sie wurden mit einem Hund von etwa 22 kg Gewicht ausgeführt. Ich führe unten die wichtigsten Ergebnisse dieser Tabelle zusammen mit berechneten Werten an.

Khigine hat ebenfalls einige Daten angeführt über die Acidität des Magensaftes in den verschiedenen Fällen sowie über seine verdauende Kraft. Der Gehalt des Magensaftes an Salzsäure schwankte recht unregelmäßig um die mittlere Zahl 0,5, war am größten (0,56) für die Suppe und sank auf den niedrigsten Wert 0,47 für Weißbrot (einen noch bedeutend geringeren Gehalt, nämlich 0,4 fand Khigine, nachdem der Hund Ochsenfett gefressen hatte). Sehr bedeutend waren die Schwankungen des Pepsingehaltes, nämlich im Mittel

für	Fleisch	Brot	Milch	Eiweiß	Suppe
Fermentgehalt	16 (8)	38 (23)	9 (2)	32 (19)	17

Die danebengeschriebenen Daten sind die von Lönnquist. In beiden Fällen wurde die Mettsche Methode benutzt. Wie ersichtlich, ist die Reihenfolge der absoluten Zahlen in den beiden Reihen dieselbe und im allgemeinen sind die Lönnquistischen Daten etwa 0,5 derjenigen von Khigine. Die Ab-

### Saftabsonderung und Verdauungszeit bei verschiedenen Nahrungsmitteln.

Nahrung	Menge Nahrung g	Menge Magensaft		Verdauungs- zeit		Magensaft in ccm nach 3 Stund.	
		beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.
		ccm		Stunden			
Rohes Fleisch . . . .	400	106,3	99,2	8,75	8,84	51,6	48,6
„ „ . . . .	200	40,5	49,6	6,25	6,23	32,5	34,0
„ „ . . . .	100	26,5	24,8	4,50	4,42	23,9	24,3
Gekochtes Fleisch . .	200 (400?)	90,3	41,4	8,5	5,65	51,4	26,8
„ „ . . . .	200	42,1	41,4	5,5	5,65	31,3	26,8
„ „ . . . .	100	20,7	20,7	4,0	4,0	18,9	18,9
Milch, gefressen . . .	600	33,9	—	5,5	—	21,8	—
„ durch Sonde . . .	600	55,8	52,5	6,0	5,39	38,2	—
„ „ „ . . . .	500	41,4	43,8	4,5	4,9	—	—
„ „ „ . . . .	200	16,7	17,5	3,0	3,1	—	—
Suppe von Fleisch und Hafer . . . . .	600	42,8	41,4	5,75	5,56	—	—
Suppe von Fleisch und Hafer . . . . .	300	19,7	20,7	3,75	3,93	—	—
Brot, weißes . . . . .	200	33,6	—	8,5	—	20,0	—
Fleisch 100 g, Brot 50 g, Milch 600 ccm . . . .	800	83,2	90,0	9,75	9,01	46,1	44,9
Fleisch 50 g, Brot 50 g, Milch 300 g . . . . .	400	41,3	45,0	6,25	6,37	30,6	31,8

weichung bei Milch ist aber sehr auffallend;<sup>1)</sup> man möchte kaum einen so großen Unterschied wie im Verhältnis 1 zu 2 in der absoluten Verdauungskraft erwarten.

Wenn man den totalen Fermentgehalt des abgesonderten Magensaftes in Khigines Versuchen berechnet, findet man ebenfalls keine Regelmäßigkeiten, während solche sehr stark in den Zahlen für die Magensaftmenge und die Verdauungszeit

<sup>1)</sup> Dieser eigentümliche niedrige Gehalt an Pepsin nach Milchnahrung hängt mit der Wirkung des Pylorus zusammen. Wird dieser durchschnitten, so steigt der Pepsingehalt auf denselben Wert wie für Fleisch, die abgesonderte Menge Magensaft sinkt aber auf etwa 40% (Lönquist, l. c., S. 210).

hervortreten. Es ist schwer zu entscheiden, ob nicht diese Mängel in den Daten für Fermentmengen von der Benutzung der sehr wenig einwandfreien Mettschen Methode, wenigstens zum großen Teil, abhängt.

In bezug auf die Menge von abgesondertem Magensaft und die Verdauungszeit hat Khigine schon auf bestimmte Regelmäßigkeiten hingewiesen. Die totale Menge des abgesonderten Magensaftes ist nämlich, wie Khigine hervorhob, der gegebenen Menge von Nahrung proportional, wenn diese immer von derselben Art ist. Die unter Annahme von Proportionalität berechnete Menge steht neben der beobachteten geschrieben und stimmt im allgemeinen mit dieser in ganz befriedigender Weise überein. Eine Ausnahme macht nur die beobachtete Ziffer für 200 g gekochtes Fleisch, welche doppelt so groß ist, als man erwarten könnte. Ähnliche Abweichungen kommen bei allen anderen Daten für 200 g gekochtes Fleisch vor und legen die Vermutung nahe, daß 400 g Fleisch anstatt 200 g dem Hunde gegeben worden sind. Sehr sonderbar erscheint dies, da der Versuch mehrere (8) Mal wiederholt ist (l. c., S. 485).

Dieser Versuch ist in Klammern geschrieben. Ein Versuch vom 10. Juli (l. c., S. 487) ergab aber die ausgezeichnet mit der Berechnung übereinstimmende Zahl 42,1 ccm und eine Verdauungszeit von etwa 5,5 Stunden, sowie eine Saftmenge in 3 Stunden von 31,3 ccm, welche Zahlen sehr gut mit den berechneten übereinstimmen, besonders da eine vereinzelt Bestimmung vorliegt, so daß die unvermeidlichen Fehler durch Berechnung eines Mittelwertes nicht teilweise entfernt sind. Diese Daten sind deshalb in der Tabelle ebenfalls eingeführt. Ich zweifle danach nicht, daß 200 für 400 g in den Tabellen auf S. 485 und 502 von Khigines Abhandlung durch ein Versehen geschrieben sind. Sieht man von dieser sicherlich fehlerhaften Angabe ab, so findet man, daß sowohl die abgesonderte Menge Magensaft als auch die Verdauungszeit bei Verwendung von gekochtem Fleisch geringer ist als bei rohem Fleisch d. h. daß jenes leichter verdaulich ist als dieses, was ja auch ganz natürlich erscheint.

Wenn die Beobachtung von Khigine sich bestätigt, daß

die totale vom «kleinen Magen» abgesonderte Menge von Magensaft der Menge Nahrung proportional ist, so steht zu erwarten, daß bei gemischter Nahrung, wie in den beiden letzten Beispielen, die totale Magensaftmenge gleich der Summe sei der Mengen, welche bei der Verdauung der gesonderten Komponenten abgegeben werden. Wenn demnach 52,5 ccm 600 g Milch, 20,7 ccm 100 g gekochtem Fleisch und 16,8 ccm 100 g Weißbrot entsprechen, so steht zu erwarten, daß eine Mahlzeit von diesen drei Komponenten eine Magensaftmenge von  $52,5 + 20,7 + 16,8 = 90$  ccm hervorrufen wird. Anstatt dessen sind 83,2 ccm gefunden. Ich habe in diesem Fall die Absonderung bei Gabe von Milch durch die Sonde bei der Berechnung als Ausgangsziffer angenommen. Nach den Angaben von Lönnquist, Khigine und Lobasoff ist die Absonderung nach einer Fleischmahlzeit etwas (25 %) größer, wenn die Mahlzeit durch den Mund als wenn sie durch eine Sonde gegeben ist. Nach Khigine sollte für die Milch das Umgekehrte zutreffen. Dies scheint nicht wahrscheinlich, und ich habe angenommen, daß in diesem Fall kein Unterschied für die beiden Fälle stattfindet und habe die Daten für durch die Sonde gegebene Milch als die genaueren der Berechnung zugrunde gelegt. Es stimmt auch die beobachtete Menge (83,2 ccm) viel besser mit der mit Hilfe von diesen Daten berechneten Zahl (90,0) als mit der aus den Daten für gefressene Milch berechneten (68,1). Auch für den letzten Fall der Tabelle ist die Übereinstimmung sehr befriedigend (41,3 gegen 45,0).

Was die Verdauungszeit betrifft, bemerkt Khigine, daß, wenn die Menge von Fleisch oder von gemischter Nahrung im Verhältnis 1 zu 2 zunimmt, die Verdauungszeit im Verhältnis 1,4 bzw. 1,5 oder im Mittel 1,45 wächst. Da ich nun bei der Berechnung von Londons Daten gefunden hatte, daß die Verdauungszeit der Quadratwurzel aus der Nahrungsmenge proportional ist, so lag es nahe, zu vermuten, daß diese Regelmäßigkeit auch hier obwaltet. Das genannte Verhältnis sollte dann 1,41 sein, was innerhalb der Beobachtungsfehler mit Khigines Angaben 1,4 bzw. 1,5 übereinstimmt.

Nach dieser Regel habe ich Khigines Daten berechnet

und eine ganz unerwartet gute Übereinstimmung mit den beobachteten Werten gefunden — es möge bemerkt werden, daß diese nicht auf mehr als eine Viertelstunde genau sind. Ferner ist zu bemerken, daß die Verdauungszeit (5,5 St.) von 600 ccm gefressener Milch außerordentlich nahe mit der für 600 ccm (5,4) durch Sonde gegebenen Milch übereinstimmt.

Bei gemischter Nahrung ist nach dieser Regelmäßigkeit zu erwarten, daß, wenn die Zeiten der Verdauung der Komponenten  $t_1$  und  $t_2$  bzw.  $t_3$  sind, die Verdauungszeit  $t$  der Mischung

$$t = \sqrt{t_1^2 + t_2^2 + t_3^2} \text{ ist.}$$

Wie aus den Daten der beiden letzten Zeilen der Tabelle ersichtlich ist, stimmt dieser Schluß in sehr befriedigender Weise mit der Erfahrung überein.

Wenn die totale abgesonderte Menge  $M$  von Magensaft der Menge  $P$  der Nahrung direkt proportional ist, und außerdem die Verdauungszeit  $t$  der Quadratwurzel  $\sqrt{P}$  proportional ist, so folgt daraus, daß die mittlere in einer Stunde abgesonderte Menge dem Quot.  $P : \sqrt{P}$ , d. h. ebenfalls der Quadratwurzel  $\sqrt{P}$  aus der Menge  $P$  proportional sein soll. Dies trifft auch zu, aber nicht ganz streng, weil die Absonderung von Magensaft gar nicht gleichmäßig während der ganzen Verdauungszeit vor sich geht. Bei einer mittleren Zeit von drei Stunden scheint diese Regelmäßigkeit am besten zuzutreffen, wie aus den Daten der beiden letzten Kolumnen hervorgeht. Die Übereinstimmung der berechneten Ziffern ist in diesem Fall ganz vorzüglich.

Diese Beobachtung ist von großer Bedeutung, denn in vielen Fällen, wie z. B. bei den meisten von Londons Versuchen, ist die in einer bestimmten Zeit von etwa 2—3 Stunden abgesonderte Saftmenge beobachtet worden. In diesem Fall hat man also zu erwarten, daß diese Menge der Quadratwurzel aus der verabreichten Menge Nahrungsmittel proportional sei, und nicht daß sie, wie die Totalmenge des abgesonderten Saftes in Khigines Versuchen, mit der Menge der gegebenen Nahrung direkt proportional sei.

Zur Beleuchtung dieser Regelmäßigkeit führen wir folgende

Daten von Khigine (l. c. S. 469 und 485) an, über die stündlich abgesonderte Menge von Magensaft bei verschiedenen Nahrungsmengen.

Menge Saft in der	Gemischte Nahrung		Rohes Fleisch.		
	800 g	400 g	400 g	200 g	100 g
1. Stunde	13,6	13,4	16,7	11,2	10,5
2. »	18,6	9,8	18,1	11,3	8,6
3. »	13,9	7,4	16,8	7,6	4,8
4. »	10,6	5,1	14,6	5,1	2,4
5. »	9,0	3,1	12,1	2,8	0,8
6. »	6,8	2,7	10,1	2,2	0

In der ersten Stunde ist die abgesonderte Magensaftmenge fast unabhängig von der gegebenen Menge der Nahrung. Es ist der psychische Reiz, welcher zum größten Teil diese Absonderung von «Appetitsaft» hervorruft, und diese Absonderung ist von der gegebenen Menge Nahrung ziemlich unabhängig. Später kommt eine Zeit, in welcher die abgesonderte Menge mit der gegebenen Menge von Nahrung fast proportional ist. Dies trifft für die gemischte Nahrung schon in der 2. Stunde zu und setzt sich in der 3. und 4. Stunde fort. Bei der Fleischverdauung tritt diese Proportionalität etwas später — in der 3. und 4. Stunde — ein, in der 2. Stunde finden wir ein Übergangsstadium, in welchem die abgesonderte Menge nahezu der Quadratwurzel aus der verabreichten Nahrungsmenge proportional ist. Nach der 4. Stunde, wenn bei geringen Nahrungsmengen der Verdauungsprozeß nahezu abgelaufen ist, kann natürlicherweise die Proportionalität zwischen Saftmenge und Nahrungsmenge nicht länger obwalten.

Aus diesen Erwägungen folgt, daß, wenn die letzterwähnte Regelmäßigkeit, wonach die in einer bestimmten Zeit abgesonderte Saftmenge der Quadratwurzel aus der gegebenen Nahrungsmenge proportional ist, für eine bestimmte Zeitlänge, wie im obigen Beispiel drei Stunden, zutrifft, bei kürzeren oder längeren Zeiten Abweichungen eintreten müssen. Im erst-

genannten Fall wächst die abgesonderte Saftmenge langsamer, im zweitgenannten schneller, als die erwähnte Regelmäßigkeit verlangt.

Bei gemischter Nahrung ist die in einer bestimmten Zeit, hier 3 Stunden, abgesonderte Saftmenge  $M$  durch die folgende Formel dargestellt:

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + M_3^2}$$

wo  $M_1$ ,  $M_2$  und  $M_3$  die in derselben Zeit nach Gabe der einzelnen Komponenten, welche in die gemischte Nahrung eingehen, abgesonderten Saftmengen darstellen.

Diese Regelmäßigkeit ist, ebenso wie die entsprechende für die Verdauungszeit, eine Folge von der jeweiligen Regelmäßigkeit bei verschiedenen Mengen derselben Nahrung.

Am einfachsten verhält sich die totale Menge von abgesondertem Magensaft, indem dieselbe gleich der Summe der den betreffenden Komponenten entsprechenden Einzelmengen ist.

Dieses Summationsgesetz erinnert an ein anderes, welches von Gigon<sup>1)</sup> bei der Resorption im Darm von gleichzeitig gegebenen Kohlehydraten und Eiweiß konstatiert wurde. Die resorbierte Menge war nämlich ganz einfach gleich der Summe der Mengen, welche resorbiert wurden, wenn die einzelnen Komponenten der Nahrung, jede für sich allein gegeben waren. In diesem Fall wird die Resorption aus der Kohlensäureabscheidung geschätzt, welche zufolge der Aufnahme der Kohlehydrate stattfindet — es gilt also hier die ganze resorbierte Menge.

Man kann nicht erwarten, daß bei natürlichem Fressen die Proportionalität zwischen der Menge von Nahrungsmittel und von Saft vollkommen exakt sei. Denn bei sogenannter «fiktiver Mahlzeit», wobei die Nahrung durch eine Fistel aus der Speiseröhre entweicht und also nicht in den Magen hineinkommt, werden nach Lobasoffs Messungen (A., Bd. V, S. 438, 1897) etwa 11 ccm von sehr fermentreichem Saft abgesondert, während die Proportionalität verlangt, daß keine Absonderung erfolgt. Dementsprechend hat Lobasoff ebenfalls

<sup>1)</sup> A. Gigon, Skand. Arch. f. Physiologie, Bd. XXI, S. 351, 1908.

gefunden, daß die Saftabsonderung bei Verabreichung von 400 g Fleisch auf 88,3 ccm stieg, wenn das Fleisch in vier gleichen Portionen mit Zwischenräumen von 1,5 Stunden gegeben wurde, während nur 73 ccm abgesondert wurden, wenn die ganze Fleischmenge auf einmal gegeben wurde, und wenn das Fleisch in den Magen durch eine Fistel eingelegt wurde, nur etwa 60 ccm. Der Fermentgehalt nahm ebenfalls von dem ersten bis zum letzten Fall ab, so daß die Totalmengen des Ferments in den drei Fällen im Verhältnis 4,6 : 3,3 : 1 standen.

Nach dieser Erfahrung müßte man erwarten, daß bei Khigines Versuchen die Saftmenge bei geringen Gaben von Nahrung zu groß ausfallen würde, weil der psychische Effekt sich dann in hohem Grade bemerklich machen würde. Ein Blick auf die Tabelle von Khigine zeigt, daß dies keineswegs der Fall ist. Was den Fermentgehalt betrifft, so zeigen Khigines Versuche mit Fleischnahrung oder gemischter Nahrung eine starke Zunahme des Fermentgehalts bei abnehmender Nahrungsmenge, dagegen trifft dies nicht bei der Verabreichung von Suppe oder Milch zu. Nach Lönnquists Versuchen, (l. c. S. 211 und 217), die sehr sorgfältig ausgeführt zu sein scheinen, ist kein nennenswerter Unterschied im Fermentgehalt des Magensaftes zu bemerken, wenn das Fleisch direkt in den Magen hineingelegt oder vom Tier gefressen wird.

Leider sind also auf diesem Gebiet die Aussagen recht verschieden. Jedenfalls dürfte die von Lobasoff versuchte Beweisführung (l. c. S. 449), daß die psychische Absonderung gleich dem Unterschied der Magensaftmengen, die in der ersten Stunde nach dem Fressen und nach Einlegung per fistulam von 400 g Fleisch abgesondert werden, sein sollte, wegen der großen Unsicherheit der dabei benutzten Daten nicht als endgültig betrachtet werden können. Vielmehr scheint eine bedeutende Zahl von Versuchen nötig zu sein, um über die verschiedenen Resultate auf diesem Gebiete Aufschluß zu geben und somit eine befriedigende Darstellung der Beobachtungen zu geben.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Pawlow führt den oben angeführten Fall (S. 327) an als Beispiel, daß die Magensaftsekretion (376 ccm) nach dem Fressen (von 200 g

Es ist ja wohlbekannt, daß bei Verdauungsversuchen, die außerhalb des Magens angestellt werden, die Reaktionsgeschwindigkeit sehr schnell abnimmt, indem die verdaute Menge, in Übereinstimmung mit der Schützschenschen Regel, der Quadratwurzel aus der Versuchszeit proportional ist. Diese mehrmals konstatierte Tatsache<sup>1)</sup> beruht darauf, daß die Verdauungsprodukte auf die reagierenden Körper einwirken und ihre wirksame Menge erniedrigen.<sup>2)</sup> Von dieser Wirkung hat man aber bei der natürlichen Verdauung nichts bemerkt. Dieser für den Ablauf der Verdauung höchst günstige Umstand beruht natürlicherweise darauf, daß die Verdauungsprodukte, nachdem sie entstanden, aus dem Magen ins Duodenum abgeführt werden.<sup>3)</sup>

Es ist also berechtigt, bei den im folgenden ausgeführten Rechnungen die Reaktionsgeschwindigkeit proportional der Menge von im Magen vorhandenen Nahrungsmitteln und proportional der Konzentration des verdauenden Fermentes zu setzen.

Der saure Magensaft wird vom Fundusteil des Magens abgesondert, und die oben genannten Versuche von Khigine und Lönnquist sind mit «kleinen Magen» ausgeführt worden, deren Wände vom Fundusteil genommen waren. Ganz anders liegen die Verhältnisse bei dem Pylorusteil des Magens, welcher von Schemiakina (A, Bd. 10, S. 87, 1904) mit Hilfe eines aus diesem Teil gebildeten «kleinen Magens» untersucht wurde. Der Hund, dessen er sich hauptsächlich bediente, wog 20 kg, also etwa soviel wie der obengenannte von Khigine benutzte.

Der Pylorusteil gibt eine starke spontane Absonderung von etwa 2 ccm pro Stunde, welche im Gegensatz zu derjenigen des Fundusteils durch mechanischen Reiz vergrößert wird. Der Saft ist alkalisch und etwa 0,01 normal, während der Pan-

---

Fleisch) gleich der Summe der Sekretion (242 ccm) nach Einlegen (von 150 g Fleisch) in den Magen und der psychischen Sekretion (128 ccm) sei. Korrigiert man aber die erste Zahl nach Khigines Gesetzmäßigkeit, so erhält man 282 ccm und die Übereinstimmung wird nicht besonders gut.

<sup>1)</sup> Vgl. z. B. Sjöqvist, Skand. Archiv, f. Physiologie, Bd. V, S. 317, 1895; Arrhenius, Immunochemie, S. 46, 47, 51, 56 und 83, Lpz. 1907.

<sup>2)</sup> Arrhenius, Meddelanden fr. Vetenskaps-Akads. Nobelinstitut. Bd. I, Nr. 9, 1908.

<sup>3)</sup> Vgl. Lönnquist, l. c., S. 257.

kreassaft nach Einnahme von Milch etwa 0,11 normal alkalisch und der Fundussaft etwa 0,14 normal sauer ist.

Die Saftabsonderung nahm nach Fütterung ab und war während einer gewissen Zeit, die der Quadratwurzel aus der Menge der Nahrung proportional war, herabgesetzt. Nach Fressen von 400, 300 bzw. 100 g Fleisch war diese Zeit 7, 6 bzw. 3,5 Stunden, die im Verhältnis von 2 : 1,71 : 1 stehen, während  $\sqrt{4} : \sqrt{3} : \sqrt{1} = 2 : 1,73 : 1$  ist. Nach Füttern mit 600, 400 bzw. 200 ccm Milch waren die Zeiten 6, 4,5 bzw. 3 Stunden, welche sich verhalten wie 2 : 1,5 : 1, während die Quadratwurzeln  $\sqrt{6}$ ,  $\sqrt{4}$  und  $\sqrt{2}$  im Verhältnis 1,73 : 1,41 : 1 stehen. 200 g Weißbrot geben eine Erniedrigung der Absonderung während etwa 6 Stunden. Schemiakín ist der Ansicht, daß die betreffenden Zeiten den von Khigine beobachteten Verdauungszeiten (vgl. S. 9) gleich kommen. Für 400 g Fleisch, 600 ccm Milch und 200 g Brot sind diese 8,75, 5,5 bzw. 8,5 Stunden, also 1,25, 0,9 bzw. 1,42mal länger als die von Schemiakín beobachteten, was nicht besonders gut mit der geäußerten Ansicht übereinstimmt.

Gleichzeitig mit der Abnahme der abgesonderten Menge nach Einnahme von Nahrung sinkt auch ihr Gehalt an peptischem Ferment. Die quantitativen Verhältnisse dieser Abnahmen sind nicht möglich aus den gegebenen Daten zu ermitteln, da dieselben allzu unregelmäßig verlaufen: so viel scheint aber aus denselben hervorzugehen, daß, wie zu erwarten steht, die Abnahmen um so bedeutender ausfallen, je größer die gegebenen Mengen von Nahrung sind.

Schemiakín führte auch einige Versuche aus, bei welchen er verschiedene Flüssigkeiten, wie Magensaft vom Fundusteil, Pankreassaft,  $\frac{1}{2}\%$ ige Salzsäure,  $\frac{1}{2}\%$ iges Natriumbicarbonat, Milch und Olivenöl während 10 Minuten im kleinen Magen ließ. Er beobachtete die danach folgende Absonderung und fand, daß sie stets größer ausfiel als die vorhergehende spontane Absonderung. Einführung von Chlornatriumlösung (0,8%) war ohne Wirkung.

Dagegen bewirkte eine Injektion durch Sonde von Chlorwasserstoff oder Olivenöl in den «großen Magen», daß die

Sekretion des kleinen Pylorusmagens herabgesetzt wurde. Sie wurde aber vergrößert, wenn  $1\frac{1}{2}\%$  ige Natriumbicarbonatlösung in den «großen Magen» eingeführt wurde. Der Befund über die Einwirkung des Chlorwasserstoffs, der ja immer im Magensaft vorhanden ist, steht in Einklang mit der Ansicht, daß der Fundusteil und der Pylorusteil in entgegengesetzter Richtung gegeneinander funktionieren.

#### IV. Verdauung in gegebener Zeit bei Verabreichung von verschiedenen Mengen Fleisch. (H. Bd. LIII, S. 240, 1907.)

Im folgenden sind fast ausschließlich Versuche von London und seinen Mitarbeitern behandelt — nur zum Vergleich sind einige andere Untersuchungen angeführt.

Einem Magenfistelhund wurden in verschiedenen Versuchen verschiedene Mengen, von 100 bis 1000 Gramm, feinverteilten Pferdefleisches zu fressen gegeben. Er nahm dieselben gerne ein, und sein Mageninhalt wurde nach 3 Stunden herausgenommen und analysiert, woraus die aus dem Magen entwichene Menge Stickstoff bestimmt werden konnte. Sie nahm mit der Menge des eingenommenen Pferdefleisches zu, erst fast proportional derselben, später langsamer, so daß, wenn sie bei 100 g Fleisch 2,95 g Stickstoff betrug, sie bei 1000 g Fleisch auf 11,85 g Stickstoff gestiegen war. Die abgeschiedene Menge Stickstoff scheint sich einem Maximum zu nähern, das bei der Gabe von 1000 g Fleisch fast erreicht war. Zwar wurde ein Versuch mit noch bedeutend größerer Nahrungszufuhr gemacht, indem der Hund, vom Gewicht 25,2 kg einmal freiwillig nicht weniger als 2,75 kg, d. h. 11% seines Eigengewichtes einnahm. Er wurde aber davon unwohl, indem er nach einer Stunde 255 g erbrach. London macht darauf aufmerksam, daß in dem vorliegenden Falle durch die Aufnahme von zu großen Nahrungsmengen die Beweglichkeit und die Verdauungstätigkeit des Magens gehindert wurden. Diesen Versuch lasse ich deshalb bei den folgenden Berechnungen, als nicht mit den anderen Versuchen vergleichbar, beiseite.

Um uns nun eine Vorstellung zu bilden, wieso es kommt, daß die in einer gegebenen Zeit verdaute Menge nicht propor-

tional der zugeführten Menge von Nahrung ausfällt, wollen wir folgende Äußerung von London anführen. «Wir konnten uns an zahlreichen Versuchen am Magenfistelhund überzeugen, daß bei mittleren Nahrungsmengen der Verdauungsprozeß im Magen nur an der Peripherie d. h. an Stelle der unmittelbaren Berührung des Mageninhalts mit der Magenschleimhaut zustande kommt. Beim Öffnen der Magenfistel fließt zunächst eine gewisse Quantität Flüssigkeit, ein Gemisch von Verdauungsprodukten mit dem Magensaft. Die folgenden Portionen des Speisebreies stellen ein leichtes, halb verdautes Fleisch dar, während die im Zentrum des Mageninneren sich befindenden Massen aus ganz unverändertem, nicht einmal durchwärmtem Fleisch zusammengesetzt sind. Bei ganz kleinen Fleischportionen, z. B. 100, 200 g, wo der gesamte Mageninhalt mit der Magenschleimhaut in Kontakt kommt, ändern sich die Verhältnisse insofern, als der größte Teil des Speisebreies vom Magensaft durchtränkt ist und einen größeren oder geringeren Grad der Erweichung und Verdauung darstellt.»<sup>1)</sup>

Wir können uns demnach die Sachlage folgendermaßen vorstellen. Nahe an der Magenwand liegen die ersten 100 g Fleisch in einer überall gleich dicken Schicht ausgebreitet. Innerhalb dieser liegt eine neue Schicht von 100 g Fleisch, deren Dicke etwas größer ist als diejenige der ersten Schicht, weil ihre Oberfläche ungefähr wie der Querschnitt eines Conus nach innen abnimmt. Dann kommen weitere Schichten von je 100 g Fleisch und immer zunehmender Dicke. In diese Schichten diffundiert der Magensaft von der Magenschleimhaut hinein. Die Menge von Magensaft in jeder Schicht nimmt schnell ab, und die Abnahme ist um so größer, je weiter hinein die Schichten liegen. Dies beruht teils auf ihrer zunehmender Dicke, teils auf den Diffusionsgesetzen, welche eine solche steigende Abnahme auch für gleich dicke Schichten verlangt.<sup>2)</sup> Die Menge von Magensaft in jeder Schicht ist schwer theoretisch zu er-

<sup>1)</sup> Dies entspricht vollkommen den älteren Befunden von Grützner (Pflügers Arch., Bd. CVI, S. 463) und von Ellenberger.

<sup>2)</sup> Vgl. Stefan, Sitzungsber. d. Wiener Ak., Abt. A, Bd. LXXIX, S. 161, 1879.

mitteln, und zwar auch weil hier wohl kein reiner Diffusionsprozeß stattfindet, sondern auch durch Bewegungen des Magens kleine Umrührungen stattfinden.

Auf alle Fälle, je weiter hinein die Schichten in dem Magen liegen, um so weniger Magensaft enthalten sie und um so weniger werden sie verdaut. Daher kommt es, daß die innersten Schichten nicht merkbar verdaut werden und die in einer gegebenen Zeit verdaute Menge mit der Menge der eingenommenen Nahrung nur bis auf ein Maximum zunimmt. Die totale verdaute Menge ist gleich der Summe der in den einzelnen Schichten verdauten Mengen, in denen die Verdauung unabhängig von derjenigen in den andern Schichten sich abspielt. Ich habe nun versucht, die von London gemessenen Mengen nach einer einfachen empirischen Formel zu berechnen und zwar unter der vereinfachenden Annahme, daß die Verdauung in der äußersten Schicht immer gleich groß ist, wie viele Schichten noch innerhalb derselben liegen mögen. Ähnliche Annahmen sind für die anderen Schichten gemacht. Natürlicherweise gilt dies nur bis zu einer gewissen Grenze, nämlich wenn nicht abnorm viel Nahrung (über 1000 g) eingenommen ist, wie die oben angeführte Erfahrung zeigt.

Ich habe nun gefunden, daß die beobachteten Daten folgendermaßen leicht wiederzugeben sind. Die Menge Stickstoff in 100 g Fleisch ist 3,206 g, dessen Logarithmus ist 0,5059. Liegt diese Fleischmenge dicht an der Magenschleimhaut, so wird sie vollkommen verdaut. Die ganze erste Schicht liegt aber nicht in unmittelbarem Kontakt mit der Schleimhaut, sie wird also nicht vollkommen verdaut, sondern nur zu etwa 92,2% wie London gefunden hat. Wir bilden jetzt eine Reihe von Zahlen  $Z$ , die den Schichten  $S$  (1, 2, 3 . . .) entsprechen, nach in folgender Tabelle angegebener Weise.

Die Zahlen unter  $D$  wachsen proportional mit der Nummer  $S$  der Schicht und so, daß  $D_n = 0,030775 S_n$ . Die Ziffern unter  $Z$  fangen mit dem  $Z_0 = \log 3,206 = 0,5059$  an. Dann folgt  $Z_1 = Z_0 - 0,0308$ ;  $Z_2 = Z_1 - 0,0616$ ;  $Z_n = Z_{n-1} - D_n$ . Hieraus folgt:

$$Z_n = Z_0 - \frac{n(n+1)}{2} \cdot k,$$

S	D	Z	M <sub>n</sub>	M ber.	M obs.	E
0	—	0,5059	3,206	—	—	—
1	0,0308	0,4751	2,986	2,986	2,954	+ 0,032
2	0,0616	0,4135	2,591	5,577	5,549	+ 0,028
3	0,0923	0,3212	2,096	7,673	7,735	— 0,062
4	0,1231	0,1981	1,578	9,251	9,249	+ 0,002
5	0,1539	0,0442	1,107	10,358	10,170	+ 0,188
6	0,1846	0,8596—1	0,724	11,082	11,389	— 0,307
7	0,2154	0,6442—1	0,441	11,523	—	—
8	0,2462	0,3080—1	0,250	11,773	11,779	— 0,006
9	0,2770	0,1210—1	0,132	11,905	—	—
10	0,3077	0,8133—2	0,065	11,970	11,846	+ 0,124
11	0,3385	0,4748—2	0,030	11,995	—	—
12	0,3693	0,1053—2	0,013	12,008	—	—
13	0,4002	0,7051—3	0,005	12,013	—	—
∞	—	—	—	12,016	—	—

wenn wir  $k = 0,030775$  setzen.  $M_n$  ist die Zahl, welche das  $Z_n$  zum Logarithmus hat, also:

$$\log M_n = Z_n = Z_0 - \frac{n(n+1)}{2} k.$$

$M_n$  gibt die in der Schicht  $n$  nach 3 Stunden verdaute bzw. ins Duodenum beförderte Menge von Stickstoff an. In der Schicht 0, d. h. unmittelbar an der Magenwand ist die ganze gegebene Menge Fleisch, 3,206 g Stickstoff entsprechend, verdaut. Die verdaute Menge nimmt erst langsam, dann immer schneller mit steigendem  $n$ , d. h. mit dem Abstand der Schicht von der Magenwand, ab. In der Schicht 4 ist die Verdauung nur halb so groß wie an der Magenwand, in der Schicht 6 nur ein Viertel, in der Schicht 7 nur ein Siebentel und in der Schicht 10 nur ein Fünfzigstel von der Verdauung an der Magenwand (vgl. die obenstehende Tabelle). Die inneren Schichten tragen nur äußerst wenig zur verdauten Menge bei.

Die totale verdaute Menge ist gleich der Summe der in den verschiedenen Schichten verdauten Mengen, also  $M = \sum M_n$ .

Bei der Gabe von nur 100 g Fleisch ist  $n = 1$ , also  $M = M_1$ , bei 200 g Fleisch ist  $n = 2$ , also  $M = M_1 + M_2$  usw. Nun hat London diese Menge direkt bestimmt und seine Zahl ist unter  $M$  obs. in der obenstehenden Tabelle eingeführt und mit der berechneten Menge  $M$  ber. verglichen. Unter  $E$  steht die Differenz dieser Zahlen.  $k$  ist so gewählt, daß die Summe der Differenzen  $E$  gleich Null ist.

Die Übereinstimmung der beobachteten Ziffern mit den berechneten ist als eine überraschend gute zu bezeichnen, besonders da die Formel nur *eine* empirische Konstante enthält. Die verdauten Mengen werden stoßweise durch sogenannte «Schüsse» aus dem Magen durch den Pylorus entfernt. Diese treffen recht unregelmäßig ein (H. Bd. XLIX, S. 341, 1906), und nur nach einer langen Zeit der Verdauung kann eine Ausgleichung der Zufälle erwartet werden. Die gleichmäßige Verteilung der positiven und negativen  $E$ -Werte an den beiden Enden der Beobachtungsreihe deutet an, daß die Abweichung  $E$  der Beobachtung von der Berechnung nicht auf einen Fehler in dieser letzteren beruht. Mit anderen Worten die Funktion, welche die Verdauung der verschiedenen Schichten darstellt, ist mit großer Annäherung durch die angegebene Berechnungsweise dargestellt. <sup>1)</sup>

Dies kann wiederum nur darauf beruhen, daß die gemachte Voraussetzung sehr nahe zutrifft, wonach die Verdauung einer Schicht im Fundusteil unabhängig von der Anwesenheit anderer Schichten ist. Zum Beispiel die an der Magenwand liegende äußerste Schicht von 100 g Fleisch wird genau in derselben Weise verdaut, wie viel Fleisch noch innerhalb derselben liegen mag, wenn es nur nicht eine gewisse Grenze überschreitet. Dies scheint von vornherein recht eigentümlich. Denn wenn der Mageninhalt groß ist, ist ohne Zweifel die Magenautoberfläche ausgedehnter, als bei geringem Mageninhalt. Deshalb ist auch die Dicke der Schicht um so größer, je geringer der Mageninhalt ist. Andererseits wird aber die Menge Magensaft, welche auf diese Schicht verteilt wird, wahrscheinlich

<sup>1)</sup>  $M_0$  ist durch die Versuchsbedingungen gegeben;  $k$  ist vermutlich von der Oberfläche und der Art des Magens abhängig.

größer, da kein Magensaft für die anderen Schichten in Anspruch genommen wird. Es ist aber auch aus dem oben Angeführten ersichtlich, daß die Menge Magensaft, welche pro Stunde geliefert wird, bei großem Mageninhalt größer ausfällt, als bei geringerem, so daß die gerade genannte Wirkung kompensiert wird. Jedenfalls lehrt die Erfahrung, daß innerhalb der Versuchsfehler die Verdauung einer gegebenen Schicht von den übrigen Schichten unabhängig ist. Dieser Satz ist, wie wir unten sehen werden, von der größten Bedeutung.

#### V. Der zeitliche Verlauf der Verdauung von Fleisch.

Mit Hilfe der letzterwähnten Erfahrung können wir jetzt den Verlauf der Verdauung nach Ablauf der 3 Stunden weiter verfolgen. Wir machen uns eine Tabelle über die in 3 Stunden verdaute Menge, die folgendermaßen aussieht:

S	M	V	W	T	D
—	25	100 %	100 %	25,0	—
—	50	98,3	98,3	49,1	—
1	100	93,3	93,3	93,3	6,7
2	200	80,8	87,1	174,1	6,2
3	300	65,4	79,8	239,5	7,3
4	400	49,2	72,2	288,7	7,6
5	500	34,5	64,6	323,2	7,6
6	600	22,6	57,6	345,8	7,0
7	700	13,7	51,4	359,5	6,3
8	800	7,8	45,9	367,3	5,5
9	900	4,1	41,3	371,4	4,6
10	1000	2,0	37,4	373,4	3,9

In der ersten Kolonne stehen unter M die gegebenen Mengen Nahrungsmittel (Pferdefleisch) in Gramm. Mit Hilfe der oben gegebenen Rechnungsweise wird die verdaute Menge, V, in jeder der entsprechenden Schichten, S, von 1 an, berechnet. Unter T steht die totale verdaute Menge in allen Schichten bis zu der betreffenden, also ist  $T_2 = V_1 + V_2$ ;  $T_3 = V_1 + V_2 + V_3$

usw. Die mittlere Verdauung  $W$  in Prozenten wird durch Division von  $T$  mit  $S$  erhalten, also  $W_n = T_n : S_n$ .

Will ich nun den zeitlichen Verlauf der Verdauung von beispielsweise 1000 g Fleisch ermitteln, so finde ich, daß nach 3 Stunden 373,4 g aus dem Magen verschwunden sind; demnach sind dann noch 626,6 g vorhanden. Aus der Kolumne  $W$  finde ich weiter, daß bei einem Mageninhalt von 626,6 g die in 3 Stunden verdaute Menge 55,9% beträgt — zur leichteren Ausführung ähnlicher Rechnungen sind in obenstehender Tabelle unter  $D$  die Differenzen der  $W$ -Werte eingeführt, diese haben einen sehr regelmäßigen Gang, so daß die Interpolation keine Schwierigkeiten bietet. Da also 44,1% von der 626,6 g, d. h. 276,3 g nach weiteren 3 Stunden, d. h. im ganzen 6 Stunden übrig sind, haben wir nachzusehen, wie weit diese nach dem Verlauf von 3 Stunden verdaut sind, und finden so, daß dann

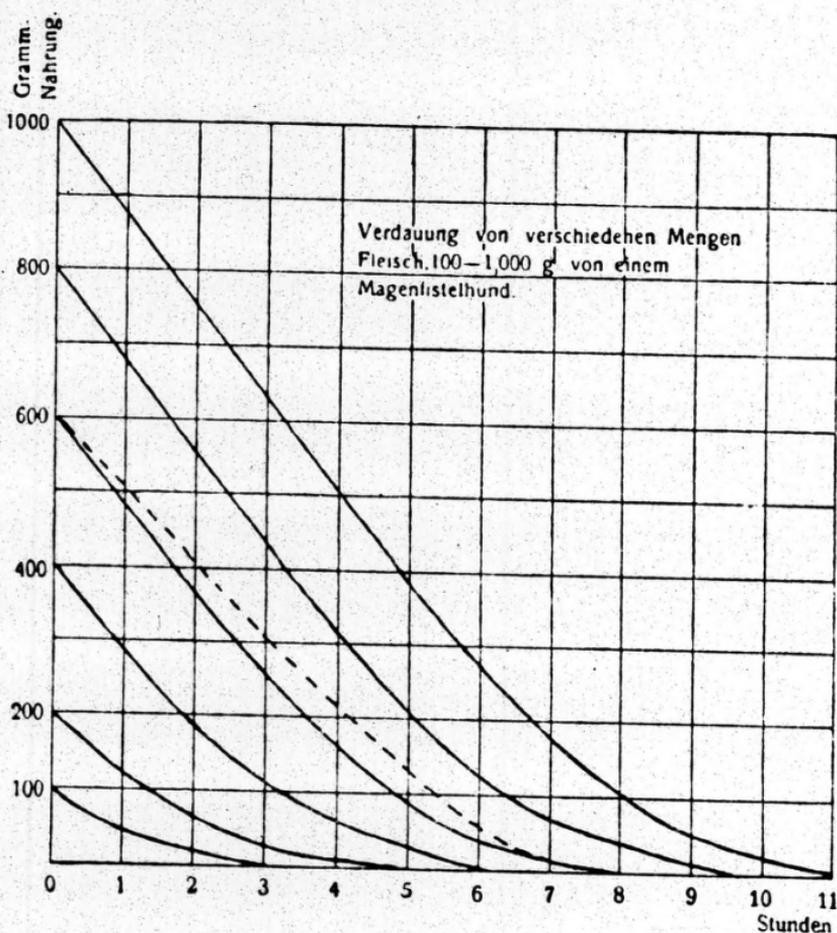


Fig. 3.

51 g noch übrig bleiben. Zur Berechnung der verdauten Menge, wenn weniger als 100 g im Magen vorhanden sind, habe ich durch Extrapolation für 25 und 50 g gewonnene Daten in die obige Tabelle eingeführt.

Auf diese Weise habe ich eine Tabelle über den zeitlichen Verlauf der Verdauung berechnet, welche unten wiedergegeben ist, und dieselbe graphisch in der obenstehenden Figur ausgeführt. Die in dieser Figur enthaltenen ausgezogenen Kurven können sämtlich aus der Kurve für 1000 g durch Verminderung des Abszissenwertes erhalten werden. Wenn z. B. die Kurve für 1000 g bei der Zeit 1,6 Stunden den y-Wert 800 g erreicht, so bedeutet dies nichts anderes, als daß die Kurve für 800 g erhalten wird, wenn man die Kurve für 1000 g um 1,6 Stunden nach links verschiebt.

Die numerischen Werte sind die folgenden:

Unverdaute Mengen

Anfängliche Menge	Nach 3 Stunden	Nach 6 Stunden	Nach 9 Stunden	Nach 12 Stunden
1000 g	626,5 (= 62,7%)	276,3 (= 27,6%)	51,0 (= 5,1%)	0,92 (= 0,09%)
800 »	433 (= 54,9%)	131,7 (= 16,4%)	12,5 (= 1,6%)	0
600 »	254 (= 42,4%)	42,2 (= 7%)	0,47 (= 0,08%)	0
400 »	111,3 (= 27,8%)	8,2 (= 2,0%)	0	0
200 »	25,9 (= 13%)	0	0	0
100 »	6,7 (= 6,7%)	0	0	0

Aus der Kurve für 1000 g habe ich die nach einer gegebenen Zahl von Stunden vorhandene Menge berechnet und in folgende Tabelle eingeführt:

Zeit in Stunden	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Unverdaute Menge	1000	875	750	627	507	390	276	180	100	51	24	7	1
Differenz pro St.		125	125	123	120	117	114	96	80	49	27	17	6

Die folgende Anzahl Gramm sind nach der unten angegebenen Zeit noch vorhanden:

Unverdaute Menge	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	50	3
Zeit in Stunden	0	0,80	1,60	2,41	3,23	4,06	4,90	5,77	6,76	8,05	9,10	11,5
Differenz pro 100 g		0,80	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,87	0,99	1,29	3,45	

Mit Hilfe dieser beiden Tabellen können wir den Verlauf der Digestion im Magen für jede beliebige Menge von gegebener Fleischnahrung leicht ermitteln. Wie ersichtlich, ist die verdaute bzw. bearbeitete und ins Duodenum beförderte Menge anfangs sehr nahe proportional der Zeit, um nachher langsam abzunehmen.

London hat eine andere Versuchsreihe mit demselben Hunde ausgeführt, wobei der Hund 600 g Fleisch erhielt und der Rückstand im Magen nach 2, 4, 6 und 8 Stunden untersucht wurde. Er fand folgende Zahlen (H., Bd. LVI, S. 385, 1908):

Nach	0	2	4	6	8 Stunden
Stickstoffmenge	19,23	12,95	6,91	1,85	0
Do. in Prozenten	100	67	36	10	0
Do. berechnet	100	61	27	7	0,7
Do. berechnet (750)	100	67	37	13	3

Wie aus diesem ersichtlich, ist die Verdauung des Hundes bei der späteren Gelegenheit etwas schwächer als bei der ersten und zwar etwa im Verhältnis 0,8 zu 1. Dies dürfte nicht auffallend sein. Wenn man aus der Kurve die Verdauung von 750 g Fleisch berechnet, finden wir die in der letzten Zeile verzeichneten Zahlen, welche fast vollkommen mit den beobachteten übereinstimmen. Der Hund verdaute demnach diesmal 600 g Fleisch mit derselben Geschwindigkeit wie vorher (nach der Kurve) 750 g. Die letzten berechneten Ziffern fallen über die beobachteten. Die genannten Versuche sind durch eine punktierte Kurve in der Figur dargestellt.

Die Beobachtung zeigt weiter, daß, wenn nach der Berechnung 0,7%, d. h. 4 g Fleisch, 0,13 g Stickstoff im Magen des Hundes entsprechend, anwesend sein sollten, Null gefunden wird, was vollständiger Verdauung entspricht. Diese Beobachtung, daß die Verdauung am Ende schneller als erwartet erfolgt, ist ganz allgemein. Die letzten unverdauten Mengen werden mit den verdauten abgeführt. Auch in anderen Fällen ist eine ähnliche Beobachtung gemacht worden. Wenn auch alles das zugeführte Fleisch verdaut worden ist, wird man immerhin etwas Stickstoff in der Magenflüssigkeit finden; wenn demnach die Stickstoffmenge im Magen sich dieser Grenze nähert, ist die Verdauung praktisch

genommen zu Ende. In Übereinstimmung mit einigen Angaben von London habe ich die betreffende Grenze zu 0,1 g Stickstoff oder 3 g Fleisch gesetzt. In der vorletzten Tabelle ist für die Erreichung dieser Grenze d. h. vollkommener Verdauung von 1000 g Fleisch 11,5 Stunden angegeben.

Mit Hilfe der oben gegebenen Tabelle läßt sich eine sehr wichtige Regelmäßigkeit auffinden. Berechnen wir nämlich die zur praktisch vollständigen Verdauung einer gegebenen Menge  $M$  nötige Zeit  $Z$ , welches sehr leicht geschieht, indem man von 11,5 Stunden die Zeit abzieht, welche nötig ist zum Verdauen der Menge  $(1000 - M)$  g Fleisch bei einer anfänglichen Menge von 1000 g, —, so erhält man folgende Tabelle, in welcher ein berechneter  $Z$ -Wert,  $Z = 0,342 \sqrt{M}$  neben dem beobachteten  $Z$  beob. geschrieben ist:

M	Z beob.	Z ber.	Differenz
1000	11,50	10,81	+ 0,69
900	10,70	10,26	+ 0,44
800	9,90	9,67	+ 0,23
700	9,09	9,05	+ 0,04
600	8,27	8,38	— 0,11
500	7,44	7,65	— 0,21
400	6,60	6,84	— 0,24
300	5,73	5,92	— 0,19
200	4,74	4,84	— 0,10
100	3,45	3,42	+ 0,03
50	2,40	2,42	— 0,02
25	1,55	1,71	— 0,16

Die Übereinstimmung der beobachteten mit den berechneten Ziffern fällt gänzlich innerhalb der Versuchsfehler. Man kann jedoch einen sehr ausgeprägten Gang der Differenz zwischen den beobachteten und den berechneten Zeiten wahrnehmen, indem bei den großen Mengen die zur vollständigen Verdauung nötige Zeit größer ausfällt, als die Berechnung angibt. Dies hängt vielleicht mit dem Umstand zusammen, daß bei noch

größeren Mengen Verdauungshindernisse entstehen, welche die Verdauung merklich verlangsamen. Bei 600 bis 700 g, welches als die gewohnte Ausfütterung des betreffenden Hundes (Gewicht 25 kg) angegeben wird, stimmt die Berechnung mit der Beobachtung vollkommen überein.

Die gefundene Regelmäßigkeit, daß die zur Verdauung nötige Zeit der Quadratwurzel aus der gegebenen Menge sehr nahe proportional ist, folgt also aus der oben gegebenen Formel für die Verdauung der verschiedenen Schichten des Mageninhalts. Sie ist von der größten Wichtigkeit für die Berechnung der Verdauung von Fleisch- oder Brotnahrung oder überhaupt von festen Nahrungsmitteln; sie trifft auch für die Verdauung von flüssigen Nahrungsmitteln nach den Versuchen von Khigine zu, wie aus seinen Daten für Milch, die jedoch im Magen koaguliert, und Fleischsuppe ersichtlich.

#### VI. Verdauung von direkt in den Magen durch Fistel eingeführtem Fleisch.

Ganz anders als bei der normalen Aufnahme der Nahrung durch den Mund verläuft die Verdauung, wenn die Fleischnahrung in den Magen durch die Fistel eingeführt wird (H., Bd. LVI, S. 384, 1908). Wie London angibt, beruht dies auf der in den beiden Fällen verschiedenen Absonderung von Magensaft (vgl. oben S. 329). Wird die Nahrung durch den Mund in normaler Weise eingenommen, so folgt — vermutlich zufolge der Geschmacksempfindung — eine reflektorische Absonderung von Magensaft, welche die Verdauung stark beschleunigt. Beim Hineinlegen des Fleisches durch die Fistel dagegen wird die Absonderung von Magensaft erst allmählich durch den Reiz des Fleisches auf die Magenwand hervorgerufen, und die Absonderung nimmt anfangs mit der Zeit zu und zwar ist, wie die folgende Rechnung zeigt, die Konzentration des Magensaftes etwa der Zeit nach der Einführung des Fleisches proportional.

Ist nämlich die Verdauung dieser Konzentration und diese wiederum der genannten Zeit proportional, so ist die pro Zeiteinheit verdaute Menge  $\frac{dx}{dt}$  teils der Zeit,  $t$ , teils auch der noch

vorhandenen Menge ( $M-x$ ) von Fleisch, wenn am Anfang des Versuches die Menge  $M$  zugeführt wurde, proportional oder in gewöhnlicher mathematischer Ausdrucksweise:

$$\frac{dx}{dt} = 2k \cdot t(M - x),$$

woraus folgt:

$$\log \frac{M}{M - x} = kt^2.$$

Nach dieser Formel habe ich die Versuche von London und Pewsner (l. c.) berechnet und, wie folgende Tabellen angeben, mit der Erfahrung gut übereinstimmende Daten erhalten.

#### A. Fütterung per fistulam mit bedeckten Augen und Schnauze.

t Stunden	Unverdaute Menge ( $M - x$ )	( $M - x$ ) ber.	Differenz
0	100	100	—
2	84	84,7	— 0,7
4	56	51,5	+ 4,5
6	20	22,5	— 2,5
8	7	7,0	0
9	0	3,5	— 3,5

#### B. Fütterung per fistulam mit unbedeckten Augen und Schnauze.

t Stunden	Unverdaute Menge ( $M - x$ )	( $M - x$ ) ber.	Differenz
0	100	100	—
2	84	83,7	+ 0,3
4	53	49,1	+ 3,9
6	18	20,1	— 2,1
8	5	5,8	— 0,8
9	0	2,7	— 2,7

Bei der Berechnung wurde mit gewöhnlichen Logarithmen

gerechnet. Die Konstante war in dem Versuch A:  $k = 0,0180$ , in dem Versuch B:  $k = 0,0193$ .

Danach verlief die Verdauung im Versuch B etwa 7% geschwinder, als im Versuch A. Vielleicht ist diese Verschiedenheit den verschiedenen Versuchsumständen zuzuschreiben, indem beim Versuch B der Hund einige Sinneseindrücke vermittelt seiner Seh- und Geruchsorgane von der Fleischnahrung erhalten konnte. Jedenfalls ist der Unterschied sehr unbedeutend, so daß er sehr wohl den unvermeidlichen Versuchsfehlern zugeschrieben werden kann.

Die Übereinstimmung der berechneten Ziffern mit den beobachteten ist als eine sehr befriedigende zu bezeichnen, und die Differenzen können sehr wohl Versuchsfehlern entsprechen. Der Gang der Ziffern deutet an, daß am Ende der Verdauung dieselbe beschleunigt wird im Vergleich zu dem angenommenen Verlauf. Dies stimmt mit den oben gewonnenen Erfahrungen sehr gut überein und beruht wohl darauf, daß am Ende des Versuches die geringen Mengen von im Magen übrig bleibenden unverdauten Nahrungselementen teilweise mit den für den weiteren Abbau im Darm verarbeiteten Mengen durch den Pylorus abgeführt werden.

Die zugeführte Menge M war in diesem Fall 600 g Pferdefleisch, 19,23 g Stickstoff entsprechend. In den Tabellen ist der Bequemlichkeit wegen die Menge in Prozenten von dieser Anfangsmenge angegeben. Die entsprechenden Ziffern für die viel geschwindere Verdauung von durch den Mund eingeführtem Fleisch sind oben (S. 347) gegeben.

Durch künstliche Reizung der Geschmacksorgane des Hundes mittels Sehnen und Fett, die gleich nach ihrem Verschlucken aus dem Magen durch die Fistel entfernt wurden, gelang es London, eine starke Magensaftabsonderung (232 g) hervorzurufen, die auf durch die Fistel eingeführte Fleischnahrung (600 g) so kräftig einwirkte, daß nach 4 Stunden nur 26% davon im Magen übrig waren; die Verdauung war also etwa doppelt so kräftig wie ohne Reizung und etwa 16% kräftiger als bei der Einnahme der Nahrung durch den Mund. Zu ähnlichem Resultat führten Versuche, bei welchen dem Hund 540 g durch

die Fistel und gleichzeitig 60 g in kleinen Portionen durch den Mund gegeben wurden. Der psychische Reiz bei der Zuführung der Nahrung durch den Mund ist also keineswegs der zugeführten Menge proportional. Wahrscheinlich ist sie von derselben ziemlich unabhängig (vgl. S. 335) — in dem vorliegenden Fall erfolgte die Verdauung etwa 23% geschwinder, wenn nur ein Zehntel (60 g) der Fleischnahrung durch den Mund zugeführt wurde und der Rest (540 g) durch die Fistel, als wenn die ganze Menge (600 g) durch den Mund verfüttert wurde.

#### VII. Versuche über die Verdauung von Gliadin (H., Bd. LVI, S. 394, 1908).

Bei den Versuchen mit gewöhnlicher Fleischnahrung ist es immer etwas mißlich, daß der von der Magenschleimhaut und dem Darm abgesonderte Saft etwas Stickstoff enthält, welcher nicht leicht von dem Stickstoff der zugeführten Nahrung unterschieden werden kann. In dieser Hinsicht verhält sich das Gliadin als Nahrungsmittel viel günstiger, indem der von diesem Körper herrührende Teil des Stickstoffs als Glutaminsäure bestimmt werden kann. Durch Abzug des vom Gliadin stammenden Stickstoffs vom Gesamtstickstoff gelingt es ebenfalls, den Stickstoff des vom Verdauungstraktus abgesonderten Saftes, und folglich die damit proportionale Menge dieses Saftes zu ermitteln.

Durch besondere Versuche überzeugten sich London und Sandberg, daß die Resorption des Gliadins «im allgemeinen parallel» mit der Resorption anderer stickstoffhaltiger Nahrung erfolgt. Es waren deshalb die Versuche mit Gliadin besonders beleuchtend für den Verlauf des Verdauungsprozesses von stickstoffhaltiger Nahrung im allgemeinen.

Die Versuche «wurden mit einem Hunde ausgeführt, bei dem die Fistel ungefähr 100 cm vom Coecum angelegt war». Das Gliadin wurde dem Hunde in Form von gekochtem Brei gegeben, die er mit größtem Appetit fraß. Die durch die Fistel ausfließende Flüssigkeit wurde gemessen und analysiert, ebenso wurde die Zeit annotiert, während welcher Verdauungsflüssigkeit durch die Fistel abgegeben wurde. Diese Zeit ist offenbar der zur Verdauung nötigen Zeit gleich zu setzen. Die unten

gegebenen Daten sind der Tabelle auf S. 401 entnommen, wobei besonders die Kolonnen III, II und XII in Betracht gezogen sind, welche die gegebene Menge M (in g) des Gliadins, die Dauer (t) der Absonderung durch die Fistel sowie die Menge N von Stickstoff (in g) in den abgesonderten Säften angeben. Dabei ist jedoch ein von London und Sandberg angegebener Fehler durch Interpolation korrigiert worden, indem im Versuch 6 die Menge von Glutaminsäure im Filtrat nicht gleich 9,72 g, sondern gleich 14 g gesetzt wurde. Wie aus dem Gang der Ziffern ersichtlich, kann dieser interpolierte Wert von dem wahrscheinlich richtigen nicht in nennenswertem Grad verschieden sein. Daraus folgt, daß die richtige Ziffer in Kolonne XII 0,927 anstatt dem angegebenen stark abweichenden 2,810 ist, woraus in Kolonne XIII die Prozentzahl 12,5 folgt, welche außerordentlich gut zwischen den beiden oben und unten stehenden Ziffern hineinpaßt.

Nachdem wir oben gefunden haben, daß die Zeit der Verdauung sehr nahe der Quadratwurzel aus der verabreichten Nahrungsmenge proportional ist, habe ich auch in diesem Fall diese einfache Berechnungsweise angewandt. Ebenfalls habe ich den Säftestickstoff nach derselben Regel berechnet, und zwar mit gutem Erfolg, wie die folgende Tabelle zeigt. Die berechneten Daten sind durch ein angefügtes «ber.» bezeichnet. Die Zeit ist in Minuten angegeben, die Stickstoffmenge in Gramm.

Gegebene Menge Gliadin M	Zeit der Absonderung t Minuten	Berechnete Zeit t <sub>1</sub> ber.	Differenz D	Säftestickstoff N	Berechneter Stickstoff N <sub>1</sub> ber.	Differenz E	Ausgeglichen E <sub>1</sub>
12,5	125	108	+ 17	—	—		
25	160	152	+ 8	0,61	0,41	+ 0,20	} + 0,09
50	205	215	— 10	0,58	0,58	— 0,01	
100	275	304	— 29	1,08	0,82	+ 0,26	} 0,00
150	350	372	— 22	0,74	1,00	— 0,26	
200	415	430	— 15	0,93	1,16	— 0,23	
300	520	527	— 7	1,01	1,42	— 0,41	} — 0,01
400	630	608	+ 22	2,02	1,64	+ 0,38	

Die berechnete Zeit der Absonderung stimmt sehr gut mit der Erfahrung. Die Absonderung geschieht nämlich häufig stoßweise, so daß es vorkommen kann, daß eine Zeit vor dem wirklichen Abschluß der Absonderung dieselbe während längerer Zeit einsetzt, 30—60 Minuten sagt London, wonach wieder eine kleine Absonderung stattfindet. Deshalb mußten London und Sandberg 75—90 Minuten nach der letzten wahrgenommenen Absonderung warten, ob nicht ein kleiner Rest der Verdauungsprodukte noch durch die Fistel hinaustreten würde. Offenbar beruht es auf einem Zufall, ob eine so große Menge von Verdauungsprodukten im Darm gesammelt wird, daß dieselben aus dem Darm durch die Fistel sich ausgießen. Es ist klar, daß unter solchen Umständen ein Fehler von 16 Minuten — der Mittelwert der Differenzen — nur als unbedeutend anzusehen ist, so daß wohl die Quadratwurzelregel als sehr nahe der Wirklichkeit entsprechend angesehen werden kann. Die berechnete Zeit ist nach der Formel

$$t = 30,4 \sqrt{M}$$

ermittelt worden.

Noch mehr unregelmäßig als die  $t$ -Werte scheinen die beobachteten  $N$ -Werte zu verlaufen. Die mittlere Abweichung zwischen den beobachteten und den berechneten Werten beläuft sich da auf nicht weniger als 0,25. Man muß erwarten, daß diese  $N$ -Werte mit der Menge des gefressenen Gliadins stetig zunehmen. Da dies nicht der Fall ist, sondern ein Wert, der größer sein sollte (wie im fünften Versuch 0,74), als der vorhergehende (1,08 beim vierten Versuch); im Gegenteil um 0,34 geringer als dieser ausfällt, ist es offenbar, daß der Fehler in einer Beobachtung mehr als 0,2 Einheiten erreichen kann. Diese Fehler werden aber stark ausgeglichen, wenn man die Beobachtungen zu zweien vereinigt — dabei habe ich den sechsten Versuch, in welchem die Originalbeobachtung nach Angabe der Verfasser sehr stark unrichtig ist, ausgeschlossen. Der Fehler sinkt dadurch auf 0,00 bis 0,09 Einheiten, ist also ganz unbedeutlich. Dieser Umstand deutet darauf hin, daß die Quadratwurzelregel doch die Wahrheit sehr nahe trifft. Die berechneten Werte entstammen der Formel:

$$N = 0,082 \sqrt{M}$$

Daß diese Beziehung so nahe erfüllt ist, verdient die größte Beachtung. Es ist nämlich N mit der totalen abgesonderten Saftmenge proportional. Die totale Saftmenge ist also im vorliegenden Falle der Quadratwurzel aus der eingenommenen Menge von Nahrungsmitteln proportional, wogegen bei Khigines Versuchen über Magensaftabsonderung die totale Saftmenge der Menge des Nahrungsmittels direkt proportional sich erwies. Es werden also die Saftabsonderungen in den beiden Fällen von ganz verschiedenen Gesetzmäßigkeiten geregelt. Vielleicht spielt in Londons Fall die teilweise Resorption der früher abgesonderten Säfte eine Rolle.

### VIII. Verdauung von Hühnereiweiß.

In einer späteren Mitteilung (H., Bd. LVI, S. 405, 1908) gibt London zwei Versuchsreihen mit dem vorhingenannten und einem anderen Hunde, denen ein sehr schwer verdaulicher Eiweißkörper, nämlich Hühnereialbumin gegeben wurde, während Gliadin äußerst leicht verdaulich ist. Trockenes Albumin wurde in lauwarmem Wasser gelöst und auf dem Wasserbade erhitzt, bis durch Koagulation ein einheitlicher Brei entstand. Auch in diesem Fall bewährt sich die Regel von der Proportionalität zwischen der Verdauungszeit und der Quadratwurzel aus der gegebenen Menge ganz gut. In diesem Fall war es möglich, die Zeit des Abschlusses der Ausscheidung mit Hilfe des weißgelben Aussehens des Speisebreies genau zu bestimmen. Der eine Hund war ein Ileumhund, der andere ein Ileocoecahund, bei welchem der Speisebrei auch das untere Ileum zu passieren hatte und deshalb kräftiger verdaut wurde; die Exkretionszeit war dem entsprechend verlängert. Die Ergebnisse der Berechnungen sind die folgenden (s. Tab. S. 357):

In dem einen Fall, beim Ileumhund, sind die Differenzen bei Verfütterung von großen Mengen stark positiv, bei geringen Mengen dagegen stark negativ. Bei dem Ileocoecahund dagegen sind die Verhältnisse genau die entgegengesetzten. Wahrscheinlicherweise sind diese Abweichungen zum größten Teil auf Versuchseigentümlichkeiten zurückzuführen, welche bei schwerver-

	Eiweiß- menge M	Zeit der Sekretion t	Berechnete Zeit t <sub>1</sub> ber.	Differenz D
Ileumhund	0,7	85	85	0
	1,4	90	120	— 30
	2,8	130	170	— 40
	5,6	225	241	— 16
	8,4	350	294	+ 56
	11,2	485	340	+ 145
Ileocoecahund	0,7	150	131	+ 19
	1,4	205	185	+ 20
	5,6	280	370	— 90

daulichen Nahrungsmitteln oft stark hervortreten, da die Hunde größere Mengen davon ungerne fressen. Jedenfalls könnte man nach diesen Erfahrungen vermuten, daß die Ausscheidungen bei einem Hund, bei welchem die Fistel eine mittlere Lage zwischen den beiden genannten einnahme, sich der Quadratwurzelregel recht genau nähern würden.

Bei einigen älteren Versuchen (vgl. S. 329) mit demselben Hund, der zu den Fleischverdauungsversuchen gedient hatte (H., Bd. XLVI, S. 209, 1905) wurden 200 g gekochtes Eiereiweiß in «möglichst großen Stücken» verabreicht. Diese Versuche sind also nicht ganz mit den vorhin angeführten vergleichbar, bei welchen die Nahrung in Form von Brei verabreicht wurde. Trotzdem läßt sich die Rechnung in ähnlicher Weise durchführen (vgl. S. 359).

Die folgende Tabelle (l. c. S. 217, Kolumne 20 und 21) zeigt die Menge (M) von im Magen nach einer bestimmten Zeit, t, noch vorhandenem Eiweiß in Prozent (von 200 g) an. In Anbetracht der Bemerkung von London (vgl. S. 341), daß Nahrungsmittelmengen von 200 g gänzlich vom Magensaft durchtränkt werden, und im Anschluß an die auf S. 351 benutzte Rechnungsweise habe ich in diesem Fall auch die Anwendbarkeit der Formel für monomolekulare Reaktionen:  $\log(100 : M) = kt$  versucht.

Verdauung von gekochtem Eiereiweiß, 200 g. $k = 0,1875$ .				Verdauung von Fleisch, 200 g. $k = 0,25$			
t	M	$M_1$ ber.	Differenz	t	M	$M_1$ ber.	Differenz
0	100	100	—	0	100	100	—
1	70	65	+ 5	1	60	56	+ 4
2	32	42	— 10	2	31	32	— 1
3	28	27	+ 1	3	15	18	— 3
4	18	18	0	4	5	10	— 5
5	15	12	+ 3	5	0	6	— 6
6	4	7	— 3				
(7	0	5	— 5)				

Die berechneten Ziffern unter  $M_1$  ber. stimmen sehr gut (innerhalb der recht großen Beobachtungsfehler) mit den beobachteten überein. Die Verdauung geht anfangs etwas langsamer, am Ende aber viel geschwinder, als die Berechnung ergibt. Nach derselben Formel kann man die Verdauung von geringen Mengen Fleisch berechnen, wie durch die nebengeschriebene Tabelle für die Verdauung von 200 g Fleisch hervorgeht, wobei die Daten aus der Tabelle auf S. 347 genommen sind.  $k$  ist in diesem Fall  $k = 0,25$  also gerade  $\frac{4}{3}$  so groß wie beim Eiweiß. Auch in diesem Falle verläuft die Verdauung anfangs langsamer als nach der monomolekularen Formel, am Ende aber außerordentlich viel geschwinder, als die monomolekulare Formel verlangt. Es herrscht also vollkommener Parallelismus zwischen den beiden Verdauungsprozessen, nur daß die Verdauung von Eiereiweiß um ein Drittel langsamer erfolgt.

Auch in diesem Fall ist, wie oben angedeutet, das Quadratwurzelgesetz für die zur Verdauung einer gegebenen Menge nötige Zeit recht nahe zutreffend, wie die folgenden Ziffern zeigen, welche die zur Verdauung von der Menge  $M$  (in Prozent von 200 g Eiweiß) nötige Zeit angibt:

M	t	t <sub>1</sub> ber.	Differenz
100	7	7,2	— 0,2
70	6	6	0
32	5	4,1	+ 0,9
28	4	3,8	+ 0,2
18	3	3,1	— 0,1
15	2	2,8	— 0,8
4	1	1,4	— 0,4

Die Konstante  $k$  in der Formel  $t = k \sqrt{M}$  ist gleich 0,72 gesetzt. Offenbar liegen große Versuchsfehler bei den  $M$ -Werten 32 und 15 vor. Dieselben passen nämlich sehr schlecht in die Reihe der übrigen Zahlen hinein.

Auf alle Fälle ist es auffallend, daß die Erscheinung in den beiden Fällen ganz denselben Gesetzen unterworfen ist, so daß man wohl vorläufig die Regeln, welche bei der gut studierten Fleischverdauung auf die weniger genau untersuchte Verdauung von koaguliertem Eiweiß verwenden kann. Die Unregelmäßigkeiten in der Versuchsreihe mit großen Klumpen von koaguliertem Eiweiß dürften ganz natürlich erscheinen.

#### IX. Verdauung von Brot

London und Polowzowa (H., Bd. XLIX, S. 359, 1906) haben auch eine vereinzelt Versuchsreihe über die Abscheidung von Magensaft bei Verfütterung von Brot an einen Pylorusfistelhund gegeben. Diese Versuche entsprechen fast vollkommen der Quadratwurzelregel, wie folgende Tabelle angibt, worin  $M$  die Menge (in Gramm) der Trockensubstanz im Brot,  $N$  die Menge (in Kubikzentimeter) von abgesondertem Magensaft und  $N_1$  ber. eine nach der Quadratwurzelregel berechnete Saftmenge darstellen.

M	N	N <sub>1</sub> ber.	Differenz
40	273	269	+ 4
43	289	279	+ 1
100	416	425	— 9

Der berechnete N-Wert geht aus der Formel  $N = 42,5 \sqrt{M}$  hervor.

Über die Verdauungszeit gibt es hier keine Angaben. Da auch andere Untersuchungen betreffs der Verdauung von Brot und von Stärke sehr wenig umfassend sind, wäre eine ausführliche Untersuchung auf diesem Gebiet in hohem Grade erwünscht.

#### X. Absonderung von Pankreassaft und Galle.

Bei Versuchen über die Einwirkung verschiedener Chemikalien auf die Absonderung von Pankreassaft fand Becker (A., Bd. II, S. 433, 1894), daß bei Einnahme einer Lösung von Kohlensäure die Absonderung dieses Saftes bedeutend befördert wird. Dieser Umstand veranlaßte Dolinsky (A., Bd. III, S. 399, 1895), zu versuchen, wie andere Säuren in dieser Beziehung sich verhalten.

Die Versuche wurden so ausgeführt, daß vermittelt einer Sonde 250 ccm einer Säurelösung von gegebener Stärke in den Magen des Versuchshundes (vom Gewicht 36 kg) eingeführt wurden. Bald danach fand eine reichliche Absonderung von Pankreassaft statt, welcher vermittelt einer Fistel aufgesammelt wurde. Die Absonderung schien während etwa 2 Stunden anzuhalten, wenn 0,5%ige Salzsäure, dagegen nur 40 Minuten, wenn 0,05%ige Salzsäure gegeben wurde. (Dabei wird die Absonderung als beendet angesehen, sobald sie auf 0,1 ccm in fünf Minuten sinkt, was etwa der spontanen Absonderung ohne Einfluß von Reizmitteln zu entsprechen scheint). Diese Zeiten verhalten sich wie 3 zu 1, also innerhalb der Versuchsfehler wie die Quadratwurzeln aus den gegebenen Mengen Salzsäure ( $\sqrt{10 : 1} = 3,16 : 1$ ).

Dolinsky hat weiter die Menge der Absonderung während der ersten Stunde nach Gabe von Salzsäure gemessen. Er findet folgende Daten (l. c., S. 402, Bd. V, S. 150):

Eine Bestätigung dieser Daten hat Walter (A., Bd. VII, S. 53, 1899) gegeben. Einem Hunde von 24 kg Gewicht wurden 200 ccm einer 0,05 oder 0,5%igen Salzsäure gegeben. Die Absonderungen von Pankreassaft sind unten zusammengestellt.

Die berechneten Ziffern  $M$  sind nach der Formel ermittelt ( $C$  = Konzentration in Prozent).

$$M = 100 \sqrt{C}$$

Die benutzte Zeit ist etwas zu lang, da die Absonderung im letzten Fall nur während 40 Minuten dauerte — daraus folgt, daß die Dauer bei 0,1%iger HCl etwa 56,5 Minuten anhielt, also auch keine volle Stunde. Die Folge davon ist, daß die Daten für die geringeren Konzentrationen ein wenig zu niedrig ausfallen. In Anbetracht dieses Umstandes ist die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung sehr befriedigend.

	0,5% HCl ccm	0,1% HCl ccm	0,05% HCl ccm
	70,8	—	—
	79,5	25,7	—
	82,5	26,8	20,5
	89,4	32,5	—
Mittel . . . . .	80,5	28,3	20,5
» berechnet . . . . .	70,7	31,6	22,4

Säure	Saftmenge	Mittel	Absonderungszeit	Mittel
0,05% HCl	10,8 bis 23,8	17,8	35 bis 45 Min. <sup>1)</sup>	40 Min.
0,5% »	79,0 » 154,8	124,0	75 » 140 »	112 »

Die Saftmengen verhalten sich wie 7 : 1 anstatt 10 : 1, die Absonderungszeiten wie 2,8 : 1 anstatt 3,16 : 1. Jedenfalls sind die Versuchsfehler so groß, daß die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung innerhalb der Versuchsfehler fällt. Danach scheinen dieselben Gesetze für die Pankreassaftabsonderung wie für die Absonderung vom Fundusteil des Magens zu gelten.

<sup>1)</sup> In der Tabelle auf S. 53 l. c. steht 1 St. 35 Min. bzw. 1 St. 45 Min., was offenbar ein Druckfehler ist, wie auch die Angaben über die Geschwindigkeit der Absonderung zeigen, die 35 bzw. 45 Min. fordern.

Auch Einführung von reinem Wasser in den Magen vergrößert die Absonderung. Zwei Einzelversuche gaben für 600 bzw. 200 ccm Wasser 4,5 bzw. 1,75 ccm Saft, welche Mengen innerhalb der Versuchsfehler im Verhältnis der gegebenen Wassermengen stehen. Dagegen waren die Absonderungszeiten, 25 bzw. 20 Minuten, zu kurz, um das Quadratwurzelgesetz prüfen zu lassen, sie sind nämlich nur auf 5 Minuten genau, da nicht öfter abgelesen wurde. Wenn die oben gegebenen Daten von Walter für die Wirkung des Wassers korrigiert werden, stimmen die Verhältniszahlen (7,6 : 1 bzw. 3 : 1) besser mit dem Gesetz von Khigine und dem Quadratwurzelgesetz überein.

Dolinsky hat außerdem einige andere Säuren, nämlich Phosphorsäure und Milchsäure in 0,3% iger Lösung, sowie Essigsäure in 0,1% iger Lösung untersucht. Seine diesbezüglichen Daten sind unten zusammengestellt. Daneben habe ich die Normalität der betreffenden Lösung geschrieben und darunter die entsprechende Zahl für Chlorwasserstoff von derselben Normalität, wobei ich zur Umrechnung das Quadratwurzelgesetz benutzt habe:

	Phosphorsäure 0,031 n.	Milchsäure 0,0333 n.	Essigsäure 0,0167 n.
	42 ccm	45,8 ccm	27,0 ccm
HCl würde geben . .	30,1 "	31,2 "	22,6 "

Nach diesen Angaben sind Phosphorsäure und Milchsäure etwa gleich stark wirksam, Essigsäure kommt ein wenig nach ihnen, aber bedeutend vor Salzsäure bei gleicher Normalität. Eigentlich müßte man die Dauer der Sekretion in den verschiedenen Fällen untersuchen, denn diese kann vielleicht verschieden sein. Auf alle Fälle zeigen die Daten, daß es sich hier nicht um eine katalytische Erscheinung handelt, bei welcher die Wirkung proportional der Konzentration der Wasserstoffionen ausfällt.

Diese Absonderung, deren praktische Bedeutung für die Verdauung von Stärke und Fett enthaltender Nahrung Dolinsky hervorhebt, verdient mit großer Genauigkeit untersucht zu werden. Sie scheint denselben Regelmäßigkeiten wie die Magen-

saftabsonderung unterworfen zu sein, wogegen teilweise andere Verhältnisse sich bei der Absonderung von Darmsaft geltend machen, wie die oben gemachten Erfahrungen betreffs der Verdauung von Gliadin andeuten.

Bei der Pankreassaftabsonderung hat Walter ebenfalls eine psychische Einwirkung der Scheinfütterung wahrgenommen. Daß eine solche vorkommen muß, geht daraus hervor, daß der durch Scheinfütterung hervorgelockte Magensaft eine Absonderung von Pankreassaft hervorruft.

Zum Schluß mögen die Mengen und Absonderungszeiten des Pankreassaftes mit den entsprechenden Daten für Magensaft und Galle (nach Bruno) zusammengestellt werden.

		Pankreassaft		Magensaft		Galle
		Menge	Zeit	Menge	Zeit	Menge
Fleisch	100 g	131,6	4,2	132,5	4,5	40
Weißbrot	250 "	162,4	7,7	210	9,4	75
Milch	600 ccm	45,7	4,5	170 (240?)	5,5	70
HCl 0,5%	200 "	124,0	1,9	—	—	—

Die Absonderungszeiten laufen in den zwei Fällen nahezu parallel, so daß diejenige für Pankreassaft etwa um 20% größer ist, als die für Magensaft. Was die Menge betrifft, habe ich die Khiginesche Zahl mit 5 multipliziert, um vergleichbare Zahlen zu haben (die wirkliche Absonderung im «großen Magen» war etwa doppelt so groß); man erhält nämlich dann fast dieselbe Zahl für Fleisch in den zwei Fällen. Milch zeichnet sich durch eine sehr schwache Pankreassaftabsonderung aus (eigentümlicherweise gibt Babkine (A., Bd. XI, S. 231, 233 und 235, 1905) an, daß 600 ccm Milch mehr Saft hervorlocken als 100 g Fleisch). Fette rufen eine schwache Saftabsonderung hervor, so z. B. fließen nur etwa 10 ccm Pankreassaft nach Gabe von 100 ccm Olivenöl.

Einige quantitative Versuche über Gallenabsonderung sind von Bruno (A., Bd. VII, S. 87, 1899) ausgeführt worden. Er bediente sich dabei einer Gallenfistel. Die Absonderung von Galle erfolgt nur, wenn der Magen Nahrung enthält. In diesem

Fall wirken auch die Fette kräftig. 100 g Olivenöl in den Magen eingeführt geben etwa 55 ccm Galle. Bei den gewöhnlichen Nahrungsmitteln, Fleisch, Brot und Milch, ist die Gallenabsonderung nahezu der Magensaftabsonderung proportional. Die von Bruno gefundenen Werte (l. c., S. 120) sind in die letzte Tabelle eingeführt.

Bruno änderte die dargereichte Fleischmenge im Verhältnis von 100 zu 50 g. Dabei nahm die abgesonderte Menge Galle von 51 auf 27 ccm ab, also innerhalb der Versuchsfehler wie die gegebenen Mengen. Die Absonderungszeiten waren 303 bzw. 187 Minuten, standen also im Verhältnis 1,6 : 1 anstatt 1,4 : 1, wie das Quadratwurzelgesetz verlangt, erzielten also ganz befriedigende Übereinstimmung.

Was die Exkretionszeit betrifft, so gibt Bruno verschiedene Daten, die aber recht wenig genau zu sein scheinen. Nach der Einnahme der Nahrung herrscht eine Latenzperiode von 15 Minuten nach Gabe von Milch, 41 Minuten für Fleisch und 38 Minuten für Brot. Die Gallenabsonderung scheint so lange fortzusetzen, als der Magen nicht leer ist, d. h. während der ganzen Zeit der Digestion im Magen. Da nun für diese Zeit das Quadratwurzelgesetz zutrifft, so wird es auch annäherungsweise für die Zeit der Gallenabsonderung richtig sein, da die Latenzzeit relativ kurz ist, verglichen mit der stomachalen Verdauungszeit. Übrigens teilt Bruno keine Daten mit, wonach man beurteilen könnte, ob die Latenzzeit von der gegebenen Menge unabhängig ist. Vermutlich beziehen sich seine Versuche auf 300 ccm Milch, 100 g Fleisch und 100 g Brot und nicht auf andere Quantitäten, obgleich Angaben darüber fehlen, wie über so viele andere Versuchsdaten in dieser Arbeit.

Überhaupt scheinen die Absonderungen von Pankreassaft und von Galle hauptsächlich von den Verhältnissen im Magen beherrscht zu werden, welche die Absonderung von Magensaft bedingen. Wenn diese bekannt ist, werden auch die anderen Absonderungen relativ leicht zu überblicken sein.

#### **XI. Resorption von Dextrose.** (H., Bd. LXVII, S. 529, 1908).

Die Versuche wurden mit einem Resorptionshunde ausgeführt, bei dem zwei Fisteln, eine Duodenalfistel und eine

Jejuno-ileumfistel, in einer Entfernung von etwa 1,5 m voneinander angebracht waren. Die einzuführende Flüssigkeit betrug meistens 200 ccm, hatte eine Temperatur von 37—39° C. und wurde langsam (im Verlauf von 2 Minuten) in Dosen von etwa 20 ccm in die erste Fistel hineingespritzt. Zuzufolge der peristaltischen Bewegungen des Darmes schied sich die Flüssigkeit allmählich, und wie die Versuche zeigen (l. c. S. 540) in äußerst unregelmäßiger Weise, aus der zweiten Fistel ab und wurde wiederum durch die erste Fistel alle 10 bis 15 Minuten in den Darm eingeführt. Der ganze Versuch nahm etwa 2 Stunden in Anspruch. Bisweilen dauerte der Versuch nur 1 St. 45 Min. oder 1 St. 50 Min. Die Resorption ist jedoch in den letzten 10 oder 15 Minuten in den angeführten Fällen nur recht unbedeutend, so daß diese Versuche ohne Korrektur eingeführt sind. Der erste Versuch, mit 200 ccm Wasser, wurde von Hrn. London auf mein Verlangen ausgeführt und seine Ergebnisse sind mir brieflich mitgeteilt worden. In zwei Fällen (Nr. 3 und 4) wurden 800 bzw. 500 ccm Dextroselösung angewandt, ich habe dabei angenommen, daß die Stickstoffausscheidung von der Menge der Flüssigkeit unabhängig, dagegen die resorbierte Menge der Dextrose damit proportional war.<sup>1)</sup> Dasselbe gilt für ein paar Versuche mit 100 ccm Dextroselösung. Die Versuchsergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengestellt. Darin steht zuerst die Nummer des Versuches und zwar unter A die laufende Nummer, die nach der mittleren Konzentration (in Gramm pro 100 ccm) geordnet ist, unter L dagegen die entsprechende Nummer in der Originaltabelle von London und Polowzowa (l. c. S. 534). Danach kommt eine Kolumne, die mittlere Dauer (t) der Versuche angehend, danach Kolumnen, die anfängliche Konzentration ( $C_a$ ) der Lösung und die Endkonzentration ( $C_e$ )

<sup>1)</sup> In einem späteren Aufsätze (H., Bd. LX, S. 270, 1909) findet London, daß nach Einführung per os von verschiedenen Mengen (10 bis 500 ccm) einer Erythroextrinlösung von 4% in den Magen und den Darm, woraus die Lösung mittels einer Fistel an der Mitte des Dünndarms herausfloß, der verdaute und der resorbierte Anteil des Dextrins konstante Bruchteile, 67 bzw. 61%, ausmachte. Nur bei der geringsten Menge, 10 ccm, traten erhebliche Abweichungen hervor.

Nr. des Versuches	A	L	Dauer t	Anfangs-Konz. Ca	End-Konz. Ce	Mittl. Konz. C	Resorb. Zucker M	Ber. M <sub>1</sub> ber.	Differenz D	Abgesch. Stickstoff N	Ber. N <sub>1</sub> ber.	Differenz E	Menge Flüssigkeit F
1	—	1	2 St.	0	0	0	0	0	0	57	0	+ 57	200
2	1	1	1 45'	4,6	2,7	3,6	8,8	(11,4)	(— 2,6)	213	266	— 53	200
3	20	20	2	5,7	2,7	4,2	9,8	12,3	(— 2,5)	308	287	+ 21	800
4	21	21	2	7,7	4,0	5,8	12,2	14,4	— 2,2	322	337	— 15	500
5	2	2	1 50	11,8	3,9	7,8	22,0	16,8	+ 5,2	—	—	—	200
6	4	4	1 50	13,1	4,5	8,8	16,9	17,8	— 1,0	—	—	—	200
7	3	3	2	13,3	4,6	8,9	19,3	18,0	+ 1,3	504	418	+ 86	200
8	6	6	2	20,4	5,8	13,1	19,7	21,8	— 2,1	402	509	— 107	200
9	7	7	1 15	21,6	5,2	13,4	(27,8)	21,9	+ 5,9)	—	—	—	100
10	5	5	2	17,2	9,8	13,5	19,7	22,0	— 2,3	582	514	+ 68	200
11	9	9	2	36,9	6,4	21,7	25,6	28,0	— 2,4	806	652	+ 154	200
12	8	8	1 45	36,2	7,4	21,8	17,6	28,0	— 10,4	638	653	— 15	200
13	10	10	2	43,1	6,9	25,0	28,5	30,0	— 1,5	706	700	+ 6	200
14	11	11	2	45,8	6,5	26,2	28,0	30,7	— 2,7	756	717	+ 39	200
15	12	12	2 50	52,4	5,8	29,1	(41,8)	32,4	+ 9,4)	666	755	— 89	200
16	13	13	2	52,7	7,0	29,9	34,7	32,8	+ 1,9	691	766	— 75	200
17	14	14	2	53,1	7,3	30,2	45,9	33,0	+ 12,9	818	769	+ 49	200
18	15	15	2	61,1	10,5	35,8	41,1	35,9	— 5,2	619	838	— 219	200
19	17	17	1 50	65,5	8,1	36,8	(45,2)	36,2	+ 9,0)	(575)	849	— 274)	100
20	16	16	1 50	65,8	8,6	37,2	36,5	36,6	— 0,1	857	854	+ 3	200
21	18	18	2	67,9	7,1	37,5	39,4	36,7	+ 2,7	826	857	— 31	200
22	19	19	2	79,7	13,5	46,6	35,6	40,8	— 5,2	1022	956	+ 66	200

der aus der Fistel ausgeschiedenen Flüssigkeit in bezug auf Dextrose angehend, sowie das Mittel derselben C. Danach kommt die resorbierte Zuckermenge M, sowie eine nach der Quadratwurzelregel aus C berechnete Menge des resorbierten Zuckers (in g) und die entsprechende Differenz D. Die folgenden drei Kolumnen N,  $N_1$  ber. und E haben entsprechende Bedeutung in bezug auf ausgeschiedenen Stickstoff.

Die resorbierte Menge des Zuckers kann nur eine Funktion sein des Zuckergehaltes der eingespritzten Flüssigkeit, wenn man nämlich voraussetzt, daß die Menge der zugeführten Flüssigkeit (meistens 200 ccm) und die Zeit der Einwirkung (meistens 2 Stunden) unverändert sind. Wie wohl fast selbstverständlich, nimmt die resorbierte Zuckermenge mit dem Gehalt der eingespritzten Lösung zu. Dies geschieht sehr nahe nach der Quadratwurzelregel, so daß die resorbierte Menge proportional der Quadratwurzel aus der mittleren Konzentration ist.<sup>1)</sup> Es ist ja natürlich anzunehmen, daß die resorbierte Menge nur von der Konzentration der in dem Darm zirkulierenden Flüssigkeit abhängig ist, wenn nur der ganze Darm von dieser Flüssigkeit gespült ist. Denn von den weiter hinein in dem Darm gelegenen Flüssigkeitsteilchen kann der Darm nichts heraufnehmen; nur die an die Darmwand unmittelbar angrenzende Flüssigkeitsschicht kann Zucker an den Darm abgeben. Diese Rechnung entspricht auch der Erfahrung, wie die oben stehenden Daten zeigen. Bei größeren Flüssigkeitsmengen als 200 ccm ist die Resorption fast proportional der Flüssigkeitsmenge, wie die Versuche 3 und 4 zeigen, in welchen tatsächlich 39,2 bzw. 30,6 g Zucker resorbiert wurden, woraus nach Proportionalität mit der Flüssigkeitsmenge für 200 ccm 9,8 bzw. 12,2 g berechnet werden, welche Ziffern sehr gut in ihre Umgebung hineinpassen.

<sup>1)</sup> Nach den Versuchen von J. E. Johansson (Skand. Archiv für Physiologie, Bd. XXI, S. 1, 1908) gibt es eine maximale Resorption von Zucker, welche beim Menschen etwa 80 g pro Stunde beträgt. Vermutlich gilt etwas Ähnliches für den Hund. Bei den hier erwähnten Versuchen überstieg die stündliche Resorption niemals 23 g, so daß vermutlich das Maximum nicht erreicht war. Nahe dem Maximum muß das Quadratwurzelgesetz fehlschlagen.

Dagegen trifft dies nicht gut für geringere Flüssigkeitsmengen zu (vgl. Fußnote S. 365). Im Versuch 9 sind 21,6 g Dextrose in 100 ccm vorhanden; aus den 100 ccm wurden 13,9 g während 1<sup>h</sup>,15<sup>m</sup> herausgenommen. Wenn Proportionalität herrschte, würden demnach 27,8 aus 200 ccm resorbiert werden. Das paßt offenbar in die Reihe gar nicht hinein, die Zahl muß viel geringer sein. Etwas Ähnliches gilt für den Versuch 19.

Die Stickstoffmenge wurde in ähnlicher Weise berechnet. Die Konstante  $k$  der Formel:

$$N = k \sqrt{C}$$

ist hier  $k = 14$  mg, während die entsprechende Konstante für die resorbierte Zuckermenge gleich 5,99 ist. Bei den Versuchen 2 und 3 ergibt die Berechnung eine höhere absorbierte Zuckermenge als die beim Versuch vorhandene, die Formel kann natürlicherweise in solchen Fällen nicht ihre Gültigkeit behalten. Etwas Ähnliches trifft natürlicherweise nicht für den Stickstoff zu, weil die stickstoffhaltige Flüssigkeit hier vom Körper geliefert wird. Beim Stickstoff passen die beiden Versuche 3 und 4 ausgezeichnet in die Reihe hinein, wenn man mit der ganzen aufgesammelten Stickstoffmenge rechnet, und nicht wegen des größeren durchgetriebenen Volumens korrigiert. Dagegen stimmt der Versuch 19 sehr schlecht, wozu vermutlich auch die kurze Zeit etwas beiträgt. Die Abweichungen sind ja nicht unbedeutend, was sich leicht durch die verschiedenartige Einwirkung der ungewohnten Zuckerkonzentrationen auf die resorbierende bzw. sezernierende Darmmucosa erklären läßt. Wenn man aber den unregelmäßigen Gang der Ziffern mit steigender Konzentration sowie die recht gleichmäßige Verteilung der positiven und negativen Abweichungen in verschiedenen Teilen der Reihe in Betracht zieht, so gewinnt man doch den Eindruck einer sehr befriedigenden Übereinstimmung. Dieser Eindruck wird durch den  $N$ -Wert für die Konzentration Null, welcher Null sein sollte und in der Tat sehr gering ist — wahrscheinlich entspricht er einer geringen spontanen Ausscheidung von Darmsaft — erheblich verstärkt. Es scheint mir deshalb unzweifelhaft, daß das Quadratwurzelgesetz hier sehr gut zutrifft, und es steht diese Tatsache unzweifelhaft

damit in Zusammenhang, daß dasselbe Quadratwurzelgesetz für die resorbierte Menge des Zuckers zutrifft. Daß die Absonderung der stickstoffhaltigen Säfte nicht von der Totalmenge der Flüssigkeit (bei großen Mengen), sondern von deren Gehalt abhängig ist, hängt mit der Versuchsanordnung zusammen, denn bei den großen Mengen wurde ein Bruchteil der Flüssigkeit jedesmal durch den Darm getrieben und jeder Teil passierte nur einmal den Darm, während bei geringen Mengen die ganze Flüssigkeit jedesmal eingespritzt wurde und wiederholt (8mal oder mehr) den Darm passierte. Man kann dann — bei gleicher mittlerer Konzentration — gleiche totale Stickstoffabsonderung erwarten unabhängig vom Totalvolumen. Bei dem Versuch 15 wurde die Flüssigkeit ebenfalls in 10 Teile von je 20 ccm geteilt und jeder nur einmal durchgetrieben. Deshalb gibt dieser Versuch eine zu niedrige Stickstoffmenge, obgleich er ungewöhnlich lange dauerte.

Im allgemeinen kann man sagen, daß das Quadratwurzelgesetz sich sehr gut bewährt, und daß demnach die Wirksamkeit des Darmes sowohl bei Resorption als auch bei Ausscheidung diesem Gesetz unterworfen ist. Es möge dabei berücksichtigt werden, daß die hohen Zuckerkonzentrationen ganz anomal sind für den Darm, sowie daß die Konzentration sich während des Versuchs in ganz komplizierter Weise ändert, indem teils der Zucker resorbiert wird, teils Wasser durch die Darmwand diffundiert. Es kann deshalb die Rechnung mit Zugrundelegung des Mittelwerts der Anfangs- und Endkonzentrationen nur annähernd richtige Resultate ergeben.

## **XII. Der zeitliche Verlauf der Verdauung von löslichen Kohlehydraten.**

In vielen Beziehungen verhält sich die Verdauung von löslichen Kohlehydraten anders wie diejenige von festen (Brot). Herr London hat eine Reihe von Versuchen zu meiner Verfügung gestellt, bei welchen Amylodextrin in (nahezu) konstanter Menge (4,8 g) einem «Resorptionshund» gegeben wurde, der zwei Fisteln besaß. Nachdem die Flüssigkeit eine bestimmte Zeit im Darne verweilt hatte, wurde sie teilweise sezerniert

und teilweise ausgespült und die Menge des darin befindlichen Stickstoffes, sowie die Menge des unverdauten und des resorbierten Amylodextrins (alle beide in Prozenten der gegebenen Menge) ermittelt. Die nicht verdaute sowie die nicht resorbierte Menge (L und M) des Kohlenhydrates nahmen mit der Zeit (t) ab, die Menge des Stickstoffs (N) dagegen allmählich zu. Die Daten zusammen mit berechneten Werten sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

t (Min.)	L	L <sub>1</sub> ber.	M	M <sub>1</sub> ber.	N	N <sub>1</sub> ber.	P
8	88,5	89,7	93,4	93,2	61	44	4,9
15	62,2	81,6	79,1	87,7	97	59	16,9
30	55,1	66,5	71,5	76,9	105	96	16,4
50	54,5	50,7	64,2	64,6	117	110	9,7?
75	39,5	36,1	53,7	51,9	102	135	14,2
90	34,1	29,4	46,4	45,5	105	148	12,3
120	21,1	19,6	39,2	34,2	178	171	18,1
140	24,8	14,9	31,3	29,4	—	—	6,5
155	10,0	12,2	25,1	25,8	142	194	15,1
240	5,1	3,8	12,4	12,2	266	242	7,3

Die berechneten L- und M-Werte sind nach der Formel für monomolekulare Reaktionen ermittelt, also:

$$\log \frac{100}{L} = kt \text{ und } \log \frac{100}{M} = k_1 t$$

wo  $k = 0,0059$  und  $k_1 = 0,0038$  ist. (Bei der Berechnung der Konstanten für L, M und N habe ich die beobachteten Werte für  $t = 15$  nicht mitberücksichtigt, da sie sehr schwer in eine regelmäßige Reihe einzupassen sind).

Offenbar stimmt der zweite L-Wert nur äußerst schlecht mit der Rechnung. Dies beeinflusst auch den M-Wert, denn die nicht resorbierte Menge, M, ist gleich der Summe der nicht verdauten Menge, L, des Amylodextrins, welches als nicht reduzierendes Kohlenhydrat bestimmt wird, und der aus dem Darmlumen ausgespülten Menge P von völlig abgebauten, d. h. reduzierenden, aber nicht resorbierten Kohlenhydraten. Trotz-

dem ist der L-Wert für 15 Minuten ein Mittelwert von nicht weniger als fünf Einzelbestimmungen, von denen eine (81,7) wohl mit dem theoretischen Wert (81,6) fast vollkommen zusammenfällt, ein anderer aber bis zu 39,7 heruntergeht. Dies zeigt, wie schwer es ist, aus Einzelbestimmungen die genauen Gesetze dieser Erscheinungen zu ermitteln. Danach dürfte auch der, nach den Nachbarziffern zu urteilen, ganz unmögliche L-Wert 24,8 für  $t = 140$  nicht allzu befremdlich erscheinen.

Wie es sich nun auch mit diesen großen Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung verhalten mag, so zeigt doch der allgemeine Gang der Daten, daß ohne Zweifel eine einfache monomolekulare Reaktion hier stattfindet, die proportional der Menge von anwesendem Amylodextrin erfolgt. Dies trifft mit größerer Genauigkeit für die Resorption zu. Daß hier Störungen eintreten, dürfte schon daraus ersichtlich sein, daß durch den Hinzutritt des Darmsaftes, von dessen Menge die Kolumne N wohl eine Vorstellung geben mag, das Volumen der Lösung allmählich verändert wird. Der Umstand, daß die berechneten Werte anfangs meistens unter, nach längeren Zeiten (75 Minuten und mehr) meistens über den berechneten Werten liegen, deutet auf eine allmähliche Zunahme des Volumens, die mit einer Verdünnung des wirksamen Enzyms verbunden ist. Sehr bedeutend scheint jedenfalls diese Zunahme des Volumens nicht gewesen zu sein.

Betreffs der Mengen des hinzugeflossenen Darmsaftes werden diese durch die Mengen N des Stickstoffs in der Fistelsekretion gemessen. Die Mengen nehmen offenbar mit der Zeit zu, aber viel langsamer als derselben proportional. Da die Quadratwurzelregel in so vielen anderen ähnlichen Fällen auf diesem Gebiet große Dienste erwiesen hat, so habe ich dieselbe auch im vorliegenden Falle und, wie es speziell in Anbetracht der offenbar sehr großen unvermeidlichen Versuchsfehler scheint, nicht ohne Erfolg angewendet. Jedoch dürfte man kaum aus diesen Daten berechtigt sein, zu schließen, daß nicht eine andere Funktion als die Quadratwurzel die genannte Erscheinung ebensogut und vielleicht noch besser darstellen kann; diese Frage steht der künftigen näheren Untersuchung offen.

Die Konstante  $k$  in der benutzten Formel:  $N = k \sqrt{t}$  ist gleich 15,6 gefunden. Die Menge  $N$  ist in Milligrammen bestimmt.

Offenbar gilt die Formel für monomolekulare Reaktionen mit recht großer Genauigkeit für den Verdauungsprozeß, welcher hier in einer Umwandlung von Amylodextrin in Dextrose besteht. Auch am Ende des Verdauungsprozesses stimmt die Formel sehr gut mit der Erfahrung und die Verdauung wird hier nicht wie bei der Verdauung von festen Körpern stark beschleunigt.

Die Resorption geschieht natürlicherweise hier nach den oben gefundenen Regelmäßigkeiten, d. h. etwa der Quadratwurzel der vorhandenen resorbierbaren Zuckermenge proportional. Die Resorption geschieht aber im großen und ganzen so schnell, daß der langsam verlaufende Prozeß der Verdauung die Menge des resorbierten Zuckers bestimmt. Infolgedessen folgt auch die Menge von resorbiertem Zucker sehr nahe der Formel für monomolekulare Reaktionen.

Die in jedem Moment vorhandene nicht resorbierte, aber resorbierbare Menge  $P$  von Zucker nimmt anfangs schnell zu, da viel neuer resorbierbarer Zucker durch die Verdauung produziert wird, erreicht dann ein Maximum und nimmt später ab. Diese Erscheinung erinnert sehr an die Bildung von intermediären radioaktiven Körpern, z. B. Radium A usw., aus einem gegebenen Substrat, wie Rutherfords meisterhafte Untersuchungen nachgewiesen haben.<sup>1)</sup> Es bildet sich auch hier ein bestimmtes Produkt aus einem Ausgangsmaterial, welches Produkt dann allmählich sich zersetzt. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse für die Ausscheidungen aus weiter von dem Magen entfernten Teilen des Darms, wovon London mehrere lehrreiche Beispiele gegeben hat (H., Bd. XLIX, S. 328, 1906).

### XIII. Ausscheidung von Wasser bei Resorptionsversuchen.

Wenn eine Zuckerlösung in den Darm verlegt wird, so nimmt der Darm daraus Wasser auf, falls die Lösung verdünnt ist, gibt der Lösung aber Wasser ab, wenn dieselbe konzentriert ist. Dies geschieht in einer recht regelmäßigen Weise, so daß es möglich ist, diese Wassermenge, welche von

<sup>1)</sup> Rutherford, Radioactivity. 2<sup>nd</sup> edition 1905, S. 331.

London und Polowzowa (H., Bd. LVII, S. 534, 1908) ermittelt wurde, annähernd zu berechnen. Bei steigender Konzentration der Zuckerlösung nimmt die abgegebene Wassermenge, wie London bemerkt, bis zu einem Maximum zu, welches der Fähigkeit des Körpers, Wasser abzugeben, entspricht. Dieses Maximum habe ich in der Rechnung gleich 900 ccm gesetzt. Die Konzentration, bei welcher kein Wasser abgegeben wird, habe ich gleich 10,5% gefunden.

Die folgende Tabelle enthält die beobachteten und die berechneten Ziffern.

Nr.	t	C	C-10,5	W	W <sub>t</sub> ber.	Differenz
1	2	0	- 10,5	- 191	- 200	+ 9
2	1,75	3,6	- 6,9	- 190	- 200	+ 10
3	2	4,2	- 6,3	- 574	- 429	- 145
4	2	5,8	- 4,7	- 280	- 320	+ 40
5	1,83	7,8	- 2,7	- 160	- 170	+ 10
6-7	1,92	8,8	- 1,7	- 17	- 109	+ 92
8-10	1,75	13,3	+ 2,8	+ 57	+ 152	- 95
11-12	1,88	21,7	+ 11,2	+ 547	+ 494	+ 53
13-14	2	25,6	+ 15,1	+ 707	+ 614	+ 93
15-18	2,21	31,5	+ 21,0	+ 727	+ 745	- 18
20-22	1,94	40,4	+ 29,9	+ 805	+ 800	+ 5

Diese Versuche sind dieselben, wie in der Tabelle auf S. 366. Wie die Ziffern unter Nr. angegeben, sind, um die Unregelmäßigkeiten auszugleichen, Mittelwerte aus verschiedenen Versuchen genommen. Da die Wasseraufnahme W aus dem Darm dem Konzentrationsüberschuß über 10,5% proportional ist, so gilt folgende Differentialgleichung:

$$\frac{dW}{dt} = K (900 - W) (C - 10,5)$$

worin W die aufgenommene Wassermenge und (900.-W) die zur Aufnahme disponible Wassermenge bedeutet; K ist eine Konstante und (C - 10,5) der Konzentrationsüberschuß über 10,5%. Die Lösung der Gleichung ist:

$$\log \frac{900}{900 - W} = K_1 (C - 10,5) t$$

Die Konstante ist  $K_1 = 0,01646$  gefunden.

Die berechneten Zahlen stimmen im allgemeinen ganz befriedigend mit den gefundenen überein. Für Werte von  $C$  unter 10,5 habe ich linear aus der Kurve extrapoliert, und die Wasserabnahme im Darm durch ein —-Zeichen angedeutet: eine Einheit von  $Ct$  entspricht 34 ccm. Auch da ist die Übereinstimmung befriedigend. Außerdem möge man die Anmerkung auf S. 367 betreffs der Berechnungsweise beachten.

In den beiden ersten Versuchen ist ohne Zweifel der Wasservorrat der Lösung so gut wie vollständig erschöpft, wie die Rechnung andeutet; es wurden nur 9 bzw. 10 ccm in dem Darm vorgefunden, was innerhalb der Versuchsfehler fällt — dieser kleine Rest entspricht ohne Zweifel der Ausscheidung von stickstoffhaltigem Darmsaft.

Im allgemeinen kann man sagen, daß die Berechnung zeigt, daß unsere Vorstellungen, durch obige Differentialgleichung ausgedrückt, innerhalb der Beobachtungsfehler der Wirklichkeit entsprechen.

Eigentümlicherweise besitzt eine Lösung von 10,5 g Dextrose in 100 ccm Lösung einen Gefrierpunkt von  $-1,18^\circ \text{C}$ ., während der Gefrierpunkt von Hundebutserum bei  $-0,6^\circ$  liegt.<sup>1)</sup>

#### XIV. Zusammenstellung.

Im Obigen habe ich versucht die quantitativen Regelmäßigkeiten abzuleiten, welche den im K. Institut für experimentelle Medizin zu St. Petersburg ausgeführten Versuchen abzuleiten sind.

Die Absonderungsgeschwindigkeit von Magensaft nach Einnahme von verschiedenen Nahrungsmitteln ist besonders genau von Herrn Lönnquist ermittelt worden. Aus den Versuchen von London scheint es hervorzugehen, daß die Menge des Magensaftes nach Fressen von Fleisch in den ersten Stunden fast konstant bleibt, um am Ende der Verdauung schnell herabzusinken. Nach Einführung der Nahrung mittels Sonde nimmt die Magensaftmenge schnell mit der Zeit zu und zwar zeigt

<sup>1)</sup> Hamburger, Osmotischer Druck und Ionenlehre, Bd. I, S. 497, Wiesbaden 1902.

der zeitliche Verlauf der Verdauung, daß ihre Konzentration anfänglich der Zeit ungefähr proportional zunimmt.

Die Beobachtungen von Khigine deuten darauf hin, daß die totale abgesonderte Menge von Magensaft der Menge der zugeführten Nahrung proportional ist. Dies gilt für dieselbe Art von Nahrung, bei verschiedenen Nahrungsmitteln ist die totale Saftmenge sehr verschieden. Bei Verabreichung von gemischter Nahrung ist deshalb die totale abgesonderte Menge von Magensaft gleich der Summe von den Magensaftmengen, welche nach Gabe der einzelnen Komponenten, jede für sich, abgesondert werden.

Für die Zeit der Verdauung gilt mit großer Annäherung, daß sie der Quadratwurzel aus der Menge Nahrung proportional ist. Daraus folgt eine entsprechende Regel für gemischte Nahrung, welche Regel ebenfalls sehr nahe zutrifft.

Die mittlere pro Zeiteinheit abgesonderte Menge ist nach diesen beiden Regelmäßigkeiten ebenfalls der Quadratwurzel aus der Menge von verabreichter Nahrung proportional. Dies stimmt bei den Versuchen von Khigine sehr gut für eine Verdauungszeit von drei Stunden. Auch bei gemischter Nahrung stimmen die Beobachtungen sehr gut mit den nach dieser Regel berechneten Ziffern.

Die Versuche von London über Verdauung bei Gabe von sehr verschiedenen Mengen von Fleisch zeigen, daß die am nächsten nach der Darmwand befindlichen Schichten der Nahrung am stärksten von dem Magensaft angegriffen werden und daß sehr tief hinein in dem Magen liegende Schichten fast unberührt gelassen werden. Die Verdauung von einer der verschiedenen Schichten ist unabhängig von derjenigen der anderen: sie läßt sich durch eine empirische Formel mit nur einer einzigen experimentell zu bestimmenden Konstanten darstellen. Auf diese Weise läßt sich der zeitliche Verlauf der Verdauung rechnerisch verfolgen und es zeigt sich, daß die Verdauungszeit recht nahe der Quadratwurzel aus der Menge von gefressenem Fleisch proportional ist.

Wenn die verabreichte Menge nicht allzu groß ist (300 g für einen Hund von 25 kg), kann man die Mischung von Fleisch

und Magensaft als gleichmäßig ansehen und demnach die Reaktionsgeschwindigkeit als diejenige eines monomolekularen Prozesses berechnen.

Bei direktem Einlegen der Nahrung in den Magen erhält man sehr nahe mit der Erfahrung übereinstimmende Resultate, wenn man annimmt, daß die Konzentration des Magensaftes anfangs proportional der Zeit zunimmt.

Die Verdauung von Brot und koaguliertem Hühnereiweiß scheint, nach den wenigen vorliegenden Versuchen zu urteilen, nach ähnlichen Regeln wie diejenige von Fleisch zu verlaufen.

Wenn eine Säurelösung in den Magen hineingebracht wird, so erleidet die Pankreasdrüse dadurch einen starken Reiz, welcher Saftabsonderung bewirkt. Diese Absonderung, die Dolinsky untersuchte, scheint nach ähnlichen Gesetzen, wie die Magensaftabsonderung, zu verlaufen. Die Wirkungszeit ist proportional der Quadratwurzel aus der wirkenden Menge, ebenso ist die pro Stunde abgesonderte Saftmenge dieser Quadratwurzel proportional. Diese Resultate werden durch Walters Versuchen bestätigt. Ähnliche Ergebnisse für die Gallenabsonderung scheinen aus Versuchen von Bruno hervorzugehen.

Bei Versuchen über Verdauung und Resorption von Gliadin, wobei die Verdauungsprodukte durch eine Fistel 100 cm vor dem Coecum gesammelt wurden, zeigte sich ebenfalls die Verdauungszeit als der Quadratwurzel aus der Gliadinmenge proportional. Die totale Menge von in den Verdauungsprodukten aufgefundenen Säften erwies sich auch als dieser Quadratwurzel proportional — es gilt also hier ein anderes Gesetz als für die Absonderung von Magensaft (Pankreassaft und Galle), was vielleicht darauf beruht, daß ein Teil der abgegebenen Säfte in tieferen Teilen des Darmes wieder resorbiert wird.

Bei Versuchen über die Verdauung von Amylodextrin im Darm erwies sich das Gesetz für monomolekulare Reaktionen als zutreffend. Dasselbe gilt auch für die resorbierte Menge. Die Daten deuten darauf hin, daß die Resorption so schnell vor sich geht, daß die resorbierte Menge nur wenig von der verdauten verschieden ist.

Bei der Resorption von Dextrose während einer bestimmten

Zeit (2 Stunden) erwies sich die resorbierte Menge als nahezu der Quadratwurzel aus der mittleren Konzentration proportional. Ein ähnliches Gesetz gilt für die Menge von in derselben Zeit abgesondertem Darmsaft.

Bei diesen Versuchen trat auch Wasser durch die Darmwand und zwar wanderte es in den Körper hinein, wenn die mittlere Konzentration der im Darm zirkulierenden Dextroselösung weniger als 105 g pro Liter ausmachte, in umgekehrter Richtung aber bei höheren Konzentrationen. Wenn der Körper Wasser zum Darminhalt abgab, war die maximale Leistung 900 ccm und die Wasserabgabe geschah proportional dem noch nicht abgegebenen Teil der disponiblen Wassermenge. Die Kurven, welche die Wasserabgabe bzw. Wasseraufnahme des Darminhalts in der Nähe von der Konzentration 105 g pro Liter darstellen, gehen kontinuierlich ineinander über.

Überhaupt scheint das Quadratwurzelgesetz eine dominierende Rolle bei allen den betreffenden Prozessen zu spielen: es regelt die Verdauungszeit bei festen Nahrungsmitteln, die während einer gegebenen Zeit abgesonderte Körpersaftmenge als Funktion von der Menge Nahrung oder Reizmittel, die Absonderungszeit als Funktion der Menge von Nahrungs- oder Reizmittel. Die totale abgesonderte Menge von Magen- oder Pankreassaft oder Galle ist dagegen der Menge von Nahrungs- oder Reizmittel proportional. Dasselbe gilt aber nicht für die totalen Mengen von Körpersaft, welche bei der Verdauung von Gliadin im Darne gefunden wurden, sondern da herrschte die Regel der Quadratwurzel.

Die obenstehenden Berechnungen sind durch eine freundliche Aufforderung Herrn Londons, seine Versuchsdaten rechnerisch zu behandeln, veranlaßt. Der Erfolg gibt den besten Beweis für die geschickte Planlegung und Ausführung seiner Untersuchungen.

Die Versuchsergebnisse von einigen anderen hervorragenden, im Pawlowschen Institut ausgeführten, Arbeiten sind erwähnt und kritisch bearbeitet, damit die vorliegende Frage eine vollere und vielseitigere Beleuchtung erhalte.

Stockholm, Experimentalfältet, Oktober 1909.