

(Aus dem physiologischen Institut der westfälischen Wilhelms-Universität Münster.)

Beiträge zur Physiologie der Verdauung.

VII. Mitteilung.

Die Wasserstoffionen-Konzentration des Magensaftes.

Von

R. Rosemann.

Die Wasserstoffionen-Konzentration des Magensaftes wird von Höber¹⁾ zu $1 \cdot 10^{-2}$ — $7 \cdot 10^{-2}$, von Michaelis²⁾ zu $1,7 \cdot 10^{-2}$ angegeben. Diesen Angaben liegen zugrunde die Untersuchungen von Fraenckel³⁾, Foà⁴⁾, Tangl⁵⁾, Michaelis und Davidsohn⁶⁾. Der Maximalwert von $7 \cdot 10^{-2}$ erscheint auffallend niedrig, wenn man bedenkt, dass der Magensaft des Menschen wie der des Hundes 0,45—0,58 % HCl enthält, also eine 0,123—0,159 n. Salzsäure darstellt. Nimmt man als Dissoziationsgrad einer solchen Salzsäure rund 0,9 an, so sollte man eine Wasserstoffionen-Konzentration von $1,1$ — $1,4 \cdot 10^{-1}$ erwarten, also einen beträchtlich höheren Wert, als er in den bisher vorliegenden Untersuchungen bei normalen Verhältnissen, ja sogar bei Hyperazidität gefunden worden ist; nach Michaelis entspricht eine Wasserstoffionen-Konzentration von $4 \cdot 10^{-2}$ bereits einer starken Hyperazidität. Neben der Salzsäure

1) R. Höber, Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe, 4. Aufl., S. 197. Leipzig und Berlin 1914.

2) L. Michaelis, Die Wasserstoffionen-Konzentration S. 109. Berlin 1914.

3) P. Fraenckel, Die H-Konzentration des reinen Magensaftes und ihre Beziehungen zur elektrischen Leitfähigkeit und zur titrimetrischen Azidität. Zeitschr. f. exper. Pathol. u. Therapie Bd. 1 S. 431. 1905.

4) C. Foà, La réaction du suc gastrique, étudiée par la méthode électrométrique. Compt. rend. de la soc. de biol. t. 59, II, p. 2. 1905.

5) F. Tangl, Untersuchungen über die Hydrogenionen-Konzentration im Inhalt des nüchternen menschlichen Magens. Pflüger's Arch. Bd. 115 S. 64. 1906.

6) L. Michaelis und H. Davidsohn, Die Bedeutung und die Messung der Magensaftazidität. Zeitschr. f. exper. Pathol. u. Therapie Bd. 8 S. 398. 1911.

kommen im Magensaft nur noch geringe Mengen von organischen Substanzen und Chloriden vor; wenn diese auch die Dissoziation der Salzsäure beeinflussen mögen, so kann dies doch nicht in dem Maasse der Fall sein, wie die beobachteten Maximalwerte es verlangen würden. Geht man näher auf die vorliegenden Untersuchungen ein, so fällt sofort auf, dass hier — wie leider auch sonst häufig — kein Unterschied zwischen dem Ausdruck „Magensaft“ und „Mageninhalt“ gemacht wird. Die Arbeit von Michaelis und Davidsohn bezieht sich nicht auf Magensäfte, sondern auf den Mageninhalt gesunder und kranker Menschen, $\frac{3}{4}$ Stunde nach einem Ewald'schen Probefrühstück. Es ist aber ohne weiteres selbstverständlich, dass der Mageninhalt, d. h. ein Gemisch von Speise, Speichel und Magensaft, eine geringere Wasserstoffionen-Konzentration besitzen muss als der reine Magensaft, einmal wegen der Verdünnung, die der Magensaft bei der Vermischung mit den Speisen und dem verschluckten Speichel erfährt, sodann wegen der Umsetzungen, die zwischen den Bestandteilen des Magensaftes und denen der Speisen und des Speichels entstehen werden. Gewiss wird es von Interesse sein, die Wasserstoffionen-Konzentration eines solchen Mageninhaltes kennen zu lernen; für die Beurteilung der Frage aber, wie hoch die Wasserstoffionen-Konzentration des reinen Magensaftes ist, können diese Beobachtungen nicht benutzt werden. — Tangl untersuchte den Mageninhalt von 13 magengesunden Menschen, der 10–12 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme mittels der Boas'schen Expression durch eine Magensonde gewonnen wurde. Der Magensaft war, wie Tangl selbst hervorhebt, natürlich mit mehr oder weniger verschlucktem Speichel vermischt und stammte aus dem nüchternen Magen, war also bei einer schwachen Sekretionstätigkeit abgesondert. Die gefundenen Werte der Wasserstoffionen-Konzentration sind daher auch durchweg sehr niedrig, die meisten Mageninhalte hatten eine Wasserstoffionen-Konzentration von $2-3 \cdot 10^{-2}$, entsprechend etwa 0,1 % HCl. In einem einzigen Falle, der aber von den übrigen Beobachtungen weit absteht, erreichte die Wasserstoffionen-Konzentration den Wert $8,5 \cdot 10^{-2} = 0,33$ % HCl. Auch diese Untersuchungen geben daher keinen Aufschluss darüber, wie hoch die Wasserstoffionen-Konzentration des reinen Magensaftes unter den günstigsten Umständen einer lebhaften Sekretionstätigkeit ansteigt. — Die Untersuchungen von Foà betreffen allerdings reine Magensäfte von Hunden; bei der mangelhaften Beschreibung aber, die schon Tangl sehr mit Recht

betont hat, kann man weder über die Methodik der Versuche noch über die Resultate ein klares Bild gewinnen. Die von Foà angegebenen Werte für $\log C_H$ liegen zwischen $-1,6472$ und $-1,1755$, daraus ergibt sich eine Wasserstoffionen-Konzentration von $2,3-6,7 \cdot 10^{-2}$. Als „solution correspondante de HCl“ gibt Foà die Werte $\frac{n}{61} - \frac{n}{19}$, also $0,016-0,053$ n. HCl $= 0,06-0,19\%$ HCl; ich vermag allerdings keine Korrespondenz zwischen diesen Werten und denen der Wasserstoffionen-Konzentration zu finden. Jedenfalls sind auch hier die maximalen Werte auffallend niedrig. — Fraenckel benutzte für seine Untersuchungen Magensäfte, die aus einem sogenannten „kleinen Magen“ nach Pawlow von vier Hunden stammten. Die Wasserstoffionen-Konzentration war nur dreimal unter 27 Messungen geringer als $5 \cdot 10^{-2}$ ($2,2-3,9 \cdot 10^{-2}$), bei einem Hunde betrug sie $1,2 \cdot 10^{-1}$, in allen anderen Fällen lag sie zwischen $5,1$ und $9,6 \cdot 10^{-2}$, wie Fraenckel sagt, „mit deutlicher Annäherung an die Konzentration $1 \cdot 10^{-1}$ “. Fraenckel hebt selbst hervor, dass in seinen Versuchen die Werte für die titrierte freie Säure ebenso wie die gemessene Wasserstoffionen-Konzentration stark hinter den von Pawlow selbst gefundenen Werten ($0,5-0,6\%$ freie HCl) zurückbleiben; er ist geneigt, diesen Unterschied auf individuelle Verschiedenheiten der Hunde zurückzuführen. Heute besteht wohl allgemein kein Zweifel daran, dass der bei lebhafter Sekretionstätigkeit abgesonderte reine Hundemagensaft normalerweise regelmässig $0,5-0,6\%$ HCl enthält; es müssen also bei den Fraenckel'schen Hunden besondere Bedingungen vorgelegen haben, die die sekretorische Tätigkeit beeinträchtigten. Dafür spricht auch, dass Fraenckel unter Pilocarpin-Wirkung Magensäfte mit einer Wasserstoffionen-Konzentration von $1,1-1,2 \cdot 10^{-1}$ erhielt, also Werte, die sich den zu erwartenden deutlich nähern. Fraenckel hat auch menschlichen Magensaft von einem 10jährigen Mädchen untersucht, dem wegen völliger Undurchlässigkeit der Speiseröhre infolge von Laugenverätzung eine Magenfistel sowie ausserdem eine Ösophagusfistel angelegt worden war. Die Sekretion wurde hervorgerufen, indem man das Kind Zuckerwerk kauen liess. In zwei Versuchen wurde die Wasserstoffionen-Konzentration zu $6,3$ und $8,3 \cdot 10^{-2}$ gefunden. Man kann aber wohl zweifelhaft sein, ob der Magen sich wirklich in lebhafter sekretorischer Tätigkeit befunden hat; auch ist ein Verschlucken von

Speichel durch den für Speisen unwegsamen Ösophagus wohl kaum mit Sicherheit auszuschliessen¹⁾).

Bestimmungen der Wasserstoffionen-Konzentration in Magensäften, die beim Hunde mit Speiseröhren- und Magenfistel durch Scheinfütterung nach Pawlow gewonnen worden sind, liegen, soweit ich sehe, in der Literatur überhaupt noch nicht vor. Es ist aber wohl unzweifelhaft, dass gerade diese Versuchsanordnung uns in den Stand setzt, den völlig intakten Magen durch normale Reize zu lebhaftester Tätigkeit zu bringen, so wie das jedenfalls beim Beginn der normalen Nahrungsaufnahme regelmässig geschieht. Eine Ergänzung der bisher vorliegenden Beobachtungen durch Bestimmungen der Wasserstoffionen-Konzentration solcher durch Scheinfütterung gewonnener Magensäfte erscheint daher sehr notwendig. Leider ist es unter den heutigen Verhältnissen kaum möglich, für Hunde mit Magen- und Speiseröhrenfistel die genügende Nahrung zu bekommen. Ich habe daher eine Reihe solcher Bestimmungen an Magensäften ausgeführt, die ich von meinen früheren Untersuchungen her aufbewahrt habe. Diese Magensäfte haben 9—10 Jahre im Laboratorium in Glasflaschen gestanden. Sie weisen durchweg dieselben Veränderungen auf: sie haben eine deutlich gelbe bis stark braune Färbung angenommen und enthalten einen Bodensatz, der meist ziemlich fest an der Wand des Gefässes anhaftet, zum Teil aber auch in der Flüssigkeit suspendiert ist. Der Geruch ist (mit einer Ausnahme, die nicht zu weiteren Untersuchungen verwandt wurde) niemals faulig, sondern eigentümlich brenzlich, an den Geruch von Zichorie erinnernd. Die peptische Kraft ist stark herabgesetzt oder völlig verschwunden. Der Magensaft von Versuch 26 (7. März 1907. 1 + 2) gab die folgenden Reaktionen: sehr deutliche Biuretreaktion, aber im Gegensatz zu früher²⁾ keine Millon'sche Reaktion, auf Zusatz von Salpetersäure keine Fällung, beim Kochen mit Salpetersäure Gelbfärbung, die beim Übersättigen mit NH_3 in Orange überging, keine Fällung beim Neutralisieren, beim Kochen, auch nicht beim Kochen nach Neutralisation, keine Fällung bei Zusatz von Alkohol, bei Halbsättigung und bei Ganssättigung mit Ammonsulfat. Auffallend ist es, dass bei allen diesen Magensäften die Azidität, gemessen durch

1) Vgl. meine Bemerkungen zu diesem Falle Pflüger's Arch. Bd. 118 S. 487—489. 1907.

2) Pflüger's Arch. Bd. 118 S. 495. 1907.

Titrierung mit $\frac{1}{10}$ n-Natronlauge und Phenolphthalein, deutlich zugenommen hat (vgl. die Tabelle auf S. 196 Spalte 6 und 7). Die niedrigste Zunahme war von 0,3577 auf 0,3614 = 0,0037 %, die höchste von 0,5110 auf 0,6680 = 0,1570 %; meist liegen die Zunahmen zwischen 0,02 und 0,06 %. Es liegt nahe, als Grund dieser Erscheinung an eine falsche Einstellung der benutzten Natronlauge zu denken; gegen diese Erklärung spricht aber, abgesehen davon, dass alle von mir benutzten Normallösungen von mir selbst angefertigt und sorgfältig eingestellt sind, der Umstand, dass der Grad der Aziditätssteigerung bei den einzelnen Magensäften ganz verschieden war. Wenn man die von mir untersuchten Magensäfte danach auch nicht ohne weiteres mit frisch gewonnenen gleichsetzen darf, so sind die Veränderungen, die sie durch das Aufbewahren erfahren haben, doch kaum derartige, dass sie die Wasserstoffionen-Konzentration im wesentlichen Maasse beeinflussen können.

Meine Versuchsanordnung war die folgende. Es wurde die elektromotorische Kraft gemessen zwischen einer Quecksilber-Calomel-Elektrode in einer 0,1 n-Kaliumchloridlösung und einer Platin-Wasserstoff-Elektrode in der zu untersuchenden Flüssigkeit. Zwischen die Elektrodenflüssigkeiten wurde eine 3,5 n- bzw. 1,75 n-Kaliumchloridlösung eingeschaltet und aus den beiden Beobachtungen die wahre elektromotorische Kraft durch Extrapolation nach Bjerrum¹⁾ bestimmt. Das Wasserstoff-Elektrodengefäß war das von Hasselbalch²⁾ angegebene; da jedoch bei den hier zu erwartenden Wasserstoffionen-Konzentrationen ein etwaiger CO₂-Gehalt der Flüssigkeit keine Rolle spielen konnte, so wurde durch die Elektrodenflüssigkeit dauernd Wasserstoff durchgeleitet; nur im Moment der Messung selbst wurde der Gasstrom abgestellt. Der Wasserstoff wurde elektrolytisch aus Kalilauge hergestellt und mit einer alkalischen Pyrogallollösung und destilliertem Wasser gewaschen; ehe er in das Elektrodengefäß eintrat, wurde er durch eine geringe Menge einer 0,1 n-Salzsäure, also eine Flüssigkeit von etwa demselben HCl-Gehalt wie die zu untersuchende, geleitet. Die Quecksilber-Calomel-Elektroden waren

1) N. Bjerrum, Über die Elimination des Diffusionspotentials zwischen zwei verdünnten wässrigen Lösungen durch Einschalten einer konzentrierten Chlorkaliumlösung. Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 53 S. 428. 1905.

2) K. A. Hasselbalch, Elektrometrische Reaktionsbestimmungen CO₂-haltiger Flüssigkeiten. Biochem. Zeitschr. Bd. 30 S. 317. 1911.

aus chemisch reinen Substanzen hergestellt; ich benutzte zwei solcher Elektroden und habe mehrfach die Messungen zum Vergleich mit der einen und der anderen Elektrode ausgeführt: die Elektroden stimmten stets vollkommen überein. Als Null-Instrument diente ein kleines Edelmann'sches Saitengalvanometer, das sich hierfür als ausserordentlich geeignet erwies. Vor dem Kapillarelektrometer hat es mehrfache Vorteile; besonders angenehm ist es, dass man durch entsprechende Spannung der Saite jede gewünschte Empfindlichkeit einstellen kann. Leitet man zunächst keinen Strom durch den Elektromagneten, so behält dieser immer noch so viel Magnetismus, dass das Instrument mit verhältnismässig sehr geringer Empfindlichkeit arbeitet; dies ist zweckmässig, wenn die Grösse der zu messenden elektromotorischen Kraft ganz unbekannt ist. Man kann dann zunächst bei geringer Empfindlichkeit des Instrumentes eine ungefähre Einstellung vornehmen; dann schliesst man den Strom des Elektromagneten und beendet die Einstellung bei der nunmehr erreichten Empfindlichkeit. Als Normalelement diente ein von mir hergestelltes Cadmiumelement; seine elektromotorische Kraft wurde von Zeit zu Zeit mit einem von der physikalisch-technischen Reichsanstalt geprüften Weston-Element verglichen und erwies sich als konstant bei 18° C. zu 1,0188—1,0189 V.

Leider war die Temperatur in dem Zimmer, in welchem die Bestimmungen ausgeführt wurden, nicht konstant zu erhalten, sie schwankte an verschiedenen Tagen zwischen 17,7—20,4° C. Sie wurde jedesmal mit einem in $\frac{1}{10}$ Grad geteilten Normalthermometer bestimmt und bei der Berechnung der Werte berücksichtigt.

Zwischen den einzelnen Bestimmungen der Wasserstoffionen-Konzentration der Magensäfte habe ich von Zeit zu Zeit eingeschaltet Untersuchungen an einer 0,1 n-Salzsäure oder an Mischungen von Salzsäure und Natriumchlorid, in denen die Konzentration der Gesamtchloride = 0,1 n war (vgl. Sørensen¹). Der Dissoziationsgrad der Salzsäure ist in allen diesen Mischungen derselbe, nämlich 0,9165. Die folgende Tabelle gibt die erhaltenen Werte.

1) S. P. L. Sørensen, Über die Messung und die Bedeutung der Wasserstoffionen-Konzentration bei enzymatischen Prozessen. Biochem. Zeitschr. Bd. 21 S. 154. 1909. — Über die Messung und Bedeutung der Wasserstoffionen-Konzentration bei biologischen Prozessen. Ergebn. d. Physiol. Bd. 12 S. 393. 1912.

Pflüger's Archiv für Physiologie. Bd. 169.

| 1. 2. | | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. |
|--|--------|--|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---|
| Zusammensetzung der Versuchslösung | | Wasserstoffionen- Konzentration C_H | 0,0001983 T. $\frac{1}{\log C_H}$ | π (1,75 n KCl- Lösung) | π (3,5 n KCl- Lösung) | Differenz zwischen 5. und 6. | π (extrapoliert) | π_0 Differenz zwischen 8. und 4. |
| HCl | NaCl | | | | | | | |
| 0,1 n | — | 0,091 65 | 0,0603 | 0,4041 | 0,4003 | 0,0038 | 0,3965 | 0,3362 |
| 0,06 n | 0,04 n | 0,054 99 | 0,0732 | 0,4145 | 0,4117 | 0,0028 | 0,4089 | 0,3357 |
| 0,05 n | 0,05 n | 0,045 83 | 0,0776 | 0,4189 | 0,4164 | 0,0025 | 0,4139 | 0,3363 |
| 0,04 n | 0,06 n | 0,036 66 | 0,0830 | 0,4231 | 0,4213 | 0,0018 | 0,4195 | 0,3365 |
| 0,02 n | 0,08 n | 0,018 33 | 0,1004 | 0,4385 | 0,4378 | 0,0007 | 0,4371 | 0,3367 |
| — | — | — | — | — | — | — | — | 0,3363 |

Spalte 3 gibt die Wasserstoffionen-Konzentration der untersuchten Lösung, wie man sie durch Multiplikation des Normalitätsfaktors der Salzsäure mit dem Dissoziationsgrad erhält; dieser Wert dient dann zur Berechnung der Werte in Spalte 4. Spalte 5 und 6 gibt die beobachteten Werte der elektromotorischen Kraft, Spalte 8 die durch Extrapolation daraus berechneten Werte. Durch Subtraktion der Werte in Spalte 4 von denen der Spalte 8 ergeben sich die Werte für die elektromotorische Kraft einer Quecksilber-Calomel-Elektrode in einer 0,1 n-Kaliumchloridlösung gegen eine Platin-Wasserstoff-Elektrode in einer 1-Normallösung von Wasserstoffionen bei 18° C., die man in Spalte 9 findet. Die einzelnen Werte stimmen gut miteinander überein, das Mittel ist 0,3363. Dieser Wert ist allerdings etwas kleiner als der von Sørensen¹⁾ angegebene (0,3377), er stimmt aber nahe überein mit dem Werte von Wilsmore²⁾ (0,3360 bei 25° C.) und Bjerrum³⁾ (0,3366 bei 0° C.; 0,3367 bei 25° C.); ich habe ihn für die weiteren Berechnungen zugrunde gelegt.

1) S. P. L. Sørensen, Über die Messung und die Bedeutung der Wasserstoffionen-Konzentration bei enzymatischen Prozessen. *Biochem. Zeitschr.* Bd. 21. S. 154. 1909. — Über die Messung und Bedeutung der Wasserstoffionen-Konzentration bei biologischen Prozessen. *Ergb. d. Physiol.* Bd. 12 S. 393. 1912.

2) N. T. M. Wilsmore, Über Elektroden-Potentiale. *Zeitschr. f. physik. Chemie* Bd. 35 S. 291. 1900.

3) N. Bjerrum, Über die Elimination des Diffusionspotentials zwischen zwei verdünnten wässrigen Lösungen durch Einschalten einer konzentrierten Chlorkaliumlösung. *Zeitschr. f. physik. Chemie* Bd. 53 S. 428. 1905. — Studien über Chromchlorid. *Zeitschr. f. physik. Chemie* Bd. 59 S. 336. 1907.

Die Tabelle auf S. 196 und 197 gibt eine Übersicht über sämtliche von mir ausgeführten Bestimmungen, geordnet nach dem Werte der Wasserstoffionen-Konzentration. Die einzelnen Magensäfte, die ich untersucht habe, stammen natürlich von sehr verschiedenen Versuchen; Spalte 2 gibt die Nummern der Versuche, wie ich sie in meinen früheren Mitteilungen¹⁾ bezeichnet habe; Spalte 3 gibt das zugehörige Datum und eine Zahl, welche angibt, aus welcher Stunde des Versuchs der Magensaft stammt. Meine Scheinfütterungsversuche dauerten im allgemeinen $3\frac{1}{4}$ Stunde, mit 0 ist der Mageninhalt bezeichnet, der bei Eröffnung der Magenfistel, also vor Beginn der Scheinfütterung, aus dem Magen ausfloss, mit $\frac{1}{4}$ der Magensaft in der ersten Viertelstunde, der getrennt aufgefangen wurde, um etwa vorhandenen Mageninhalt, Schleim usw. auszuspülen, mit 1, 2, 3 die Magensäfte aus den darauf folgenden vollen Stunden.

Spalte 12 gibt die Werte der Wasserstoffionen-Konzentration, Spalte 13 die entsprechenden Werte für den Wasserstoffionen-Exponenten nach Sørensen²⁾. Die Wasserstoffionen-Konzentration schwankt von $2,96 \cdot 10^{-2}$ — $1,59 \cdot 10^{-1}$, der Wasserstoffionen-Exponent von 0,80—1,53. Nach der Art der Versuchsbedingungen kann man die Werte in drei Gruppen anordnen. Die erste Gruppe umfasst die Magensäfte 1—7. Sie enthält zunächst alle Magensäfte, die bei normaler Ernährung des Tieres, gutem Ernährungszustande (vgl. das Körpergewicht, Spalte 4) und lebhafter Sekretionstätigkeit gewonnen worden sind. Ausserdem finden sich hier zwei Magensäfte (1 und 3) vom 4. und 10. Hungertage. In einer früheren Mitteilung³⁾ habe ich gezeigt, dass allerdings der Hungerzustand die Magensaftsekretion ungünstig beeinflusst, dass aber doch der Hunger an sich ein sehr viel weniger schädliches Moment darstellt als die Chlorentziehung. Bei dem Versuch 15 (Magensaft 1) bestand der Hungerzustand erst

1) R. Rosemann, Die Eigenschaften und die Zusammensetzung des durch Scheinfütterung gewonnenen Hundemagensaftes. Pflüger's Arch. Bd. 118 S. 467. 1907. — Die Magensaftsekretion bei Verminderung des Chlorvorrates des Körpers. Pflüger's Arch. Bd. 142 S. 208. 1911.

2) S. P. L. Sørensen, Über die Messung und die Bedeutung der Wasserstoffionen-Konzentration bei enzymatischen Prozessen. Biochem. Zeitschr. Bd. 21 S. 159. 1909. — Über die Messung und Bedeutung der Wasserstoffionen-Konzentration bei biologischen Prozessen. Ergeb. d. Physiol. Bd. 12 S. 401. 1912.

3) R. Rosemann, Die Magensaftsekretion bei Verminderung des Chlorvorrates des Körpers. Pflüger's Arch. Bd. 142 S. 219 und 228. 1911.

| 1. Lauf. Nummer | 2. Nummer des Versuchs in den früheren Mit- teilungen | 3. Datum und Versuchs- stunde | 4. Kör- per- ge- wicht kg | 5. Bemerkungen | 6. | 7. | 8. |
|--------------------|--|---|--|---|---|-----------------------|-------|
| | | | | | HCl | | |
| | | | | | Be- stimmung gleich nach der Ab- sonderung % | jetzige Bestimmung | |
| | | | | | | % | norm. |
| 1. | 15. | 15. Dez. 1906 3 | — | 4. Hungertag. Zwei vor- hergehende Schein- fütterungen, dann Zu- fuhr von 2 Lit. 1%iger NaCl-Lösung | 0,5110 | 0,6680 | 0,183 |
| 2. | 20. | 26. Jan. 1907 3 | 25,8 | In der letzten Woche vorher reichliche Er- nährung, dabei Zu- nahme des Körperge- wichtes um 3,7 kg | 0,5311 | 0,6242 | 0,171 |
| 3. | 26. | 7. März 1907 1 + 2 | 22,6 | 10. Hungertag. Erster Scheinfütterungsver- such während des Hungers | 0,5439 | 0,5658 | 0,155 |
| 4. | 23. | 9. Febr. 1907 1 | 27,7 | Normale Ernährung | — | 0,5439 | 0,149 |
| 5. | 20. | 26. Jan. 1907 1 | 25,8 | Vgl. Nr. 2 | 0,5201 | 0,5512 | 0,151 |
| 6. | 23. | 9. Febr. 1907 3 | 27,7 | Vgl. Nr. 4. | 0,4891 | 0,5183 | 0,142 |
| 7. | 24. | 16. Febr. 1907 2 | 27,6 | Normale Ernährung | 0,4745 | 0,5001 | 0,137 |
| 8. | 18. | 15. Jan. 1907 1/4 | 21,9 | Normale Ernährung | — | 0,5658 | 0,155 |
| 9. | 21. | 1. Febr. 1907 1/4 | — | Normale Ernährung | 0,4380 | 0,4855 | 0,133 |
| 10. | 23. | 9. Febr. 1907 0 | 27,7 | Normale Ernährung | 0,4070 | 0,4672 | 0,128 |
| 11. | 29. | 11. März 1907 1 | 22,1 | 14. Hungertag. Drei vor- hergehende Schein- fütterungen, reichliche Cl-Zufuhr | 0,4088 | 0,4417 | 0,121 |
| 12. | 28. | 9. März 1907 1 | 22,1 | 12. Hungertag. Zwei vor- hergehende Schein- fütterungen, reichliche Cl-Zufuhr | 0,4125 | 0,4453 | 0,122 |
| 13. | 29. | 11. März 1907 2 | 22,1 | Vgl. Nr. 11 | 0,4161 | 0,4526 | 0,124 |
| 14. | 28. | 9. März 1907 2 + 3 | 22,1 | Vgl. Nr. 12 | 0,3577 | 0,3614 | 0,099 |
| 15. | 29. | 11. März 1907 3 | 22,1 | Vgl. Nr. 11 | 0,4088 | 0,4344 | 0,119 |

| 9. π 1,75 n KCl | 10. π 3,5 n KCl | 11. π korrig. | 12. [H ⁺] | 13. p_H | 14. | 15. | 16. Differenz zwischen 7. und 14. |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|---|-------|--|
| | | | | | HCl berechnet aus [H ⁺] | | |
| | | | | | % | norm. | |
| 0,3917 | 0,3872 | 0,3827 | $1,59 \cdot 10^{-1}$ | 0,80 | 0,6448 | 0,177 | 0,0232 |
| 0,3935 | 0,3889 | 0,3843 | $1,48 \cdot 10^{-1}$ | 0,83 | 0,6002 | 0,164 | 0,0240 |
| 0,3968 | 0,3924 | 0,3880 | $1,28 \cdot 10^{-1}$ | 0,89 | 0,5191 | 0,142 | 0,0467 |
| 0,3965 | 0,3929 | 0,3893 | $1,21 \cdot 10^{-1}$ | 0,92 | 0,4907 | 0,134 | 0,0532 |
| 0,3963 | 0,3931 | 0,3899 | $1,18 \cdot 10^{-1}$ | 0,93 | 0,4786 | 0,131 | 0,0726 |
| 0,3977 | 0,3947 | 0,3917 | $1,10 \cdot 10^{-1}$ | 0,96 | 0,4461 | 0,122 | 0,0722 |
| 0,4002 | 0,3965 | 0,3928 | $1,06 \cdot 10^{-1}$ | 0,97 | 0,4299 | 0,118 | 0,0702 |
| 0,4003 | 0,3971 | 0,3939 | $1,01 \cdot 10^{-1}$ | 1,00 | 0,4096 | 0,112 | 0,1562 |
| 0,4013 | 0,3979 | 0,3945 | $9,81 \cdot 10^{-2}$ | 1,01 | 0,3979 | 0,109 | 0,0878 |
| 0,4035 | 0,4003 | 0,3971 | $8,85 \cdot 10^{-2}$ | 1,05 | 0,3589 | 0,098 | 0,1083 |
| 0,4088 | 0,4060 | 0,4032 | $6,92 \cdot 10^{-2}$ | 1,16 | 0,2806 | 0,077 | 0,1611 |
| 0,4094 | 0,4065 | 0,4036 | $6,82 \cdot 10^{-2}$ | 1,17 | 0,2766 | 0,076 | 0,1687 |
| 0,4180 | 0,4164 | 0,4148 | $4,40 \cdot 10^{-2}$ | 1,36 | 0,1784 | 0,049 | 0,2742 |
| 0,4181 | 0,4189 | 0,4173 | $4,04 \cdot 10^{-2}$ | 1,39 | 0,1638 | 0,045 | 0,1976 |
| 0,4279 | 0,4263 | 0,4247 | $2,96 \cdot 10^{-2}$ | 1,53 | 0,1200 | 0,033 | 0,3144 |

4 Tage, und die Wirkung der vorausgegangenen Scheinfütterungen war durch reichliche Chlorzufuhr völlig aufgehoben worden; bei dem Versuch 26 (Magensaft 3) bestand allerdings der Hungerzustand schon 10 Tage, der Versuch war aber die erste während des Hungers angestellte Scheinfütterung, die den Körper noch bei völlig ausreichendem Chlorgehalt traf. Die Magensaftsekretion war daher auch in Versuch 15 (Magensaft 1) qualitativ wie quantitativ völlig normal; in Versuch 26 (Magensaft 3) war sie qualitativ ebenfalls normal und nur der Menge nach etwas herabgesetzt. Sehr wahrscheinlich dürfte die Anregung zur Sekretion in diesen beiden Versuchen gerade wegen des bestehenden Hungerzustandes besonders stark gewesen sein. Diese Versuche schliessen sich daher auch hinsichtlich der Wasserstoffionen-Konzentration völlig denen an, bei welchen in jeder Beziehung normale Verhältnisse bestanden; die Wasserstoffionen-Konzentration zeigt hier durchweg hohe Werte zwischen $1,06$ und $1,59 \cdot 10^{-1}$. — Die zweite Gruppe wird von den Magensäften 8—10 gebildet. Die Ernährung des Tieres war hier normal, die untersuchten Magensäfte stammten aber entweder aus der ersten Viertelstunde der Scheinfütterung, oder es handelte sich (Nr. 10) um den Inhalt des nüchternen Magens, die Sekretionstätigkeit war also in diesen Fällen nur gering, die Werte der Wasserstoffionen-Konzentration bleiben daher unter denen der vorigen Gruppe. — Die letzte Gruppe (11—15) enthält Magensäfte, die bei vorgerücktem Hunger und bei ersichtlicher Schädigung der Magensaftsekretion abgesondert worden sind, hier sinkt die Wasserstoffionen-Konzentration allmählich bis zu den niedrigsten beobachteten Werten.

Die Wasserstoffionen-Konzentration des durch Scheinfütterung gewonnenen Hundemagensaftes beträgt also bei normalen Verhältnissen und lebhafter Sekretionstätigkeit $1,06$ — $1,59 \cdot 10^{-1}$. Das sind Werte, wie man sie nach den bekannten Werten für den Salzsäuregehalt des Hundemagensaftes erwarten musste. Eine niedrigere Wasserstoffionen-Konzentration findet sich bei geringerer Sekretionstätigkeit oder allgemeiner Schädigung des Versuchstieres. Da heute kein Zweifel mehr daran besteht, dass auch der Magensaft des Menschen denselben Salzsäuregehalt wie der des Hundes besitzt, so halte ich es für sicher, dass auch reiner menschlicher Magensaft auf der Höhe der Sekretion dieselbe hohe Wasserstoffionen-Konzentration aufweisen wird. Wenn in der Literatur bisher fast ausschliesslich nur geringere Werte für

die Wasserstoffionen-Konzentration des Magensaftes angegeben worden sind, so erklärt sich das entweder daraus, dass an Stelle von Magensaft mit Speichel und Speiseresten vermischter Mageninhalt untersucht worden ist, oder in den Fällen, in denen wirklich Magensaft zur Untersuchung benutzt worden ist, daraus, dass der Magensaft bei mangelhafter Sekretionstätigkeit abgesondert worden war.

Aus der Wasserstoffionen-Konzentration kann man unter Berücksichtigung des Dissoziationsgrades der Salzsäure die zugehörigen HCl-Werte berechnen. Nach Kohlrausch und Holborn¹⁾ ist das Äquivalentleitvermögen für eine 0,1 n-Salzsäure 351, für eine 0,2 n-Salzsäure 342 und bei unendlicher Verdünnung 383; daraus ergibt sich der Dissoziationsgrad für eine 0,1 n-Salzsäure = 0,9165, für eine 0,2 n-Salzsäure = 0,8930. Legt man danach für die Rechnung einen mittleren Dissoziationsgrad von rund 0,9 zugrunde, so findet man die in Spalte 14 und 15 angegebenen Werte für den HCl-Gehalt der Magensäfte. Vergleicht man sie mit den Werten, wie sie durch Titration mit $\frac{1}{10}$ n-Natronlauge und Phenolphthalein gewonnen worden sind (Spalte 7 und 8), so erweisen sich die letzteren regelmässig als höher; dasselbe Verhalten haben auch schon Fraenckel und Tangl beobachtet. In Spalte 16 habe ich die Differenzen zwischen dem durch Titration gefundenen und dem aus der Wasserstoffionen-Konzentration berechneten prozentischen Salzsäuregehalt zusammengestellt. Bei den Magensäften mit hoher Wasserstoffionen-Konzentration und hohem Salzsäuregehalt ist die Differenz fast verschwindend, sie wächst aber bei den in der Reihe folgenden Magensäften fast ganz regelmässig und erreicht bei den unter abnormen Verhältnissen abgesonderten Magensäften sehr erhebliche Beträge. Wie ist dieses Verhalten zu erklären? Man muss natürlich zunächst berücksichtigen, dass der bei der Rechnung zugrunde gelegte Dissoziationsgrad nur für reine wässrige Salzsäurelösungen gilt, dass aber die Dissoziation durch die Anwesenheit anderer organischer und anorganischer Substanzen zurückgedrängt werden kann. Ich habe gezeigt, dass der Gesamtchlorgehalt des Magensaftes annähernd konstant ist, d. h. mit anderen Worten, dass bei abnehmendem Gehalt an Salzsäure die Menge der gleichzeitig vorhandenen Chloride steigt²⁾.

1) F. Kohlrausch u. L. Holborn, Das Leitvermögen der Elektrolyte. 1898.

2) R. Rosemann, Die Eigenschaften und die Zusammensetzung des durch Scheinfütterung gewonnenen Hundemagensaftes. Pflüger's Arch. Bd. 118 S. 509 und 520. 1907.

Nun wird durch die Anwesenheit von Chloriden in der Lösung natürlich die Dissoziation der Salzsäure zurückgedrängt, das Verhalten der Differenz zwischen titrierter und aus der Wasserstoffionen-Konzentration berechneter Azidität würde damit durchaus in Übereinstimmung stehen. Denn bei geringerer Dissoziation ergibt sich aus derselben Wasserstoffionen-Konzentration ein höherer Gehalt an Säure. Gleichwohl kann die beobachtete Differenz hierdurch nur zum geringsten Teile erklärt werden. Denn die Menge organischer wie unorganischer Bestandteile, die neben der Salzsäure im Magensaft vorkommen, ist doch immer nur so gering, dass dadurch nur eine unwesentliche Verringerung der Dissoziation bedingt sein könnte. Es muss hier also noch ein anderes Moment mitwirken. Wenn man annehmen könnte, dass die durch Titration bestimmte Menge Säure nicht einzig und allein durch Salzsäure gebildet würde, sondern dass neben der Salzsäure noch eine andere schwache, d. h. wenig dissoziierte Säure, etwa eine organische Säure im Magensaft vorhanden sei, und zwar um so mehr, je weniger Salzsäure vorhanden ist, so wäre alles erklärt. Man hat ja früher vielfach angenommen, dass neben Salzsäure auch Milchsäure im Magensaft enthalten ist. Diese Annahme gilt heute wohl allgemein als veraltet; nach unserer heutigen Anschauung kommt Milchsäure nur gelegentlich im Mageninhalt vor, nicht als Produkt der Magendrüsen, sondern als rein zufälliger Bestandteil, sei es, dass sie aus der Fleischnahrung ausgelaugt oder durch Gärungsvorgänge entstanden ist. Ich selbst habe mehrfach den durch Scheinfütterung erhaltenen Magensaft auf Milchsäure untersucht¹⁾, aber stets mit negativem Resultat. Diese Untersuchungen müssten aber doch noch einmal wiederholt werden mit Magensäften, die bei beeinträchtigter Magentätigkeit abgesondert sind, da ja unter diesen Umständen die vermutete organische Säure in grösserer Menge auftreten müsste. Endlich wäre es natürlich auch möglich, dass irgendeine andere organische Säure (oder überhaupt Na-bindende Substanz) in Frage käme. Ich beabsichtige jedenfalls, diese Dinge weiterzuverfolgen, sobald die Verhältnisse es wieder gestatten, Hunde mit Magen- und Speiseröhrenfistel zu halten.

1) Pflüger's Arch. Bd. 118 S. 502. 1907.