

lischen Fetten enthält nur das Butterfett Phytosterin. Cholesterin schmilzt bei 146—147.5°, Phytosterin bei 132—134°.

III. Die Verdauung, die Verdauungssäfte und ihre Einwirkung auf die Nährstoffe.

Die im vorigen Kapitel besprochenen Nährstoffe gehen, in den Organismus aufgenommen, nicht direkt in die Säfte über; sie müssen noch gewisse (mechanische und chemische) Prozesse durchmachen, um assimilationsfähig zu werden. Die Gesamtheit aller derjenigen Prozesse nun, welche dazu dienen, den rohen Nährstoff in das für die Ernährung geeignete Material überzuführen, heißt die Verdauung. Die Veränderung der Nahrungsstoffe im Verdauungsapparat, der vom Mund bis zum After reicht, sind mechanischer und chemischer Natur. Der mechanische Prozess umfaßt die Zerkleinerung und innige Mischung derselben mit den sie chemisch vorbereitenden Flüssigkeiten (die Arbeit des Kauens und der Darmbewegung); der chemische Prozess besteht in der Löslichmachung (hydrolytischen Spaltung) und Lösung der Stoffe durch die sog. Verdauungssäfte: den Mundspeichel, den Magensaft, den Darmsaft, die Galle und den Pankreassaft (Bauchspeichel).

1. Mundspeichel. Derselbe ist ein gemischtes Sekret der großen Speicheldrüsen, welche sich in den Mund ergießen (glandula parotis, submaxillaris und sublingualis), außerdem noch mehrerer kleinerer Drüsen der Mundhöhle (glandulae buccales und labiales). Der Speichel reagiert schwach alkalisch; zuweilen, nach Mahlzeiten, im Fieber, bei Diabetes wird auch eine neutrale oder saure Reaktion beobachtet. Die Menge desselben ist schwankend, da jeder Reiz der Mundschleimhaut eine erhöhte Absonderung bewirkt; im Mittel sollen in 24 Stunden ca 1500 g Speichel abgesondert werden (F. Bidder und C. Schmidt¹), Fr. Tuzek²).

Auch die Zusammensetzung des Speichels ist verschieden, je nachdem die einen oder die anderen Drüsen sich mehr oder weniger an der Absonderung beteiligen. Nach Fr. Hammerbacher³ enthielt menschlicher Speichel 0.5797% feste Bestandteile, nach Bidder und Schmidt (l. c.) 0.484%. Als chemische Bestandteile des Mundspeichels sind aufzuführen: 1. Wasser, 2. anorganische Salze (besonders Calciumbikarbonat, Chloralkalien und phosphorsaure Alkalien), 3. geringe Mengen von Eiweiß, 4. Mucin, 5. Ptyalin (der digestiv wirksame Bestandteil des Speichels), 6. Kalium-rhodanid (bei Tieren meistens nicht gefunden (W. Ellenberger und V. Hofmeister⁴), 7. Gase: freier Sauerstoff (nach E. Pflüger⁵ etwa 0.5 Vol.-%), Stickstoff und Kohlensäure.

¹ Die Verdauungssäfte und der Stoffwechsel. Mitau und Leipzig. 1852. —

² Ztschr. f. Biologie. 1876. 12, 534. — ³ Ztschr. physiol. Chem. 1881. 5, 302. —

⁴ Vergl. Physiologie der Haussäugetiere. Berlin 1890, 495. — ⁵ Pflügers Arch. 1868. 1, 686; vergl. R. Külz, Ztschr. f. Biologie 1887. N. F. 5, 321.

C. F. Schönbein¹, auch P. Gries² haben im Speichel salpetrige Säure nachgewiesen, Heyward fand Ammoniak.

Die Sekrete der verschiedenen Mundspeicheldrüsen sind nicht gleichartig: die Parotis sondert beim Menschen kein Mucin ab, wogegen die gl. sublingualis und die meisten kleineren Drüsen Mucin liefern; die gl. submaxillaris bildet sowohl Mucin als auch Eiweiß. Das Ptyalin findet sich beim Menschen sowohl im Parotidenspeichel als auch besonders im Sekret der gl. submaxillaris (P. Grützner³)⁴. Infolge der Anwesenheit von Eiweiß und Mucin gibt der Speichel die Biuret-, die Millonsche, die Xanthoprotein-Reaktion. Invertin ist im Speichel nicht vorhanden.

Die **Wirkung des Speichels** bei dem Verdauungsprozeß besteht darin, daß derselbe die Bissen durchfeuchtet und so das Schlucken erleichtert; daß derselbe der Nahrung mehr Wasser zuführt, wodurch er einerseits auf die Nahrungsstoffe lösend wirkt, anderseits eine leichtere Verarbeitung der nun zu einem mehr oder weniger wäßrigen Extrakt gewordenen festen Nahrung ermöglicht; endlich, daß das in ihm befindliche amylolytische Ferment, das Ptyalin, eine Zersetzung der in der Nahrung enthaltenen Stärke und des Glykogens (unter Wasseraufnahme) und eine Überführung in Zucker einleitet.

Bei der Einwirkung des Ptyalins auf Stärke entsteht, wie bei der Behandlung mit siedendem Wasser oder verdünnten Mineralsäuren, zunächst das einfache Hydrat, die lösliche Stärke (Amidulin, Amylodextrin); diese spaltet sich nach C. Lintner und G. Düll⁵ in drei Moleküle Erythro-dextrin, das wieder in drei Moleküle Achroodextrin zerfällt. Aus dem Achroodextrin entsteht zunächst Isomaltose, dann Maltose, das letzte Glied der enzymatischen Umwandlung, während bei Behandlung mit Schwefelsäure das Achroodextrin noch weiter zersetzt, in Glykose umgewandelt wird. Es wird aber nicht etwa erst alle Stärke in Amylodextrin, dieses dann vollständig in Erythro-dextrin übergeführt, sondern während einzelne Moleküle bereits am Ende des Zersetzungsprozesses angekommen sind, befinden sich andere in Zwischenstadien, wieder andere sind noch unzersetzt.

Vergl. F. Musculus u. D. Gruber, Ztschr. physiol. Chem. 1878. **2**, 177; J. von Mering, das. 1881. **5**, 185; C. Scheibler und V. Mittelmeyer, Berl. Ber. 1893. **26**, 2935.

Das Ptyalin des Mundspeichels kann also die Stärke und das Glykogen der Nahrung in Zucker verwandeln, allein nach den Unter-

¹ Journ. f. pr. Chem. 1862. **86**, 151. — ² Jahresber. f. Tierchem. 1878. **8**, 72. — ³ Pflügers Arch. 1876. **12**, 287. — ⁴ Es wird jetzt allgemein angenommen, daß alle Verdauungssekrete in den absondernden Drüsenzellen nicht schon vorgebildet und gelöst sind, sondern daß dieselben erst während der Sekretion gebildet werden; die Drüsenzellen enthalten also nicht Ptyalin, sondern das Zymogen des Ptyalins, nicht Mucin, sondern Mucinogen, nicht Trypsin, sondern Trypsinogen (cf. Neumeister l. c.). — ⁵ Berl. Ber. 1893. **26**, 2533.

suchungen von O. Hammarsten¹ ist die Zeit seiner Einwirkung während des Kauens für eine erhebliche Zuckerbildung zu kurz, denn sobald die stärkehaltige Substanz in den Magen gelangt ist, wird die Wirkung des Ptyalins durch den sauren Magensaft abgeschwächt und dann unterbrochen, um später durch das im Pankreassaft viel reichlicher enthaltene Ptyalin wieder aufgenommen zu werden.

Hammarsten (l. c.) konstatierte bei Einwirkung von Speichel auf verschiedene Stärkesorten eine eingetretene Zuckerbildung bei

Kartoffelstärke	nach	2—4	Stunden
Erbsenstärke	„	1 ³ / ₄ —2	„
Weizenstärke	„	1 ¹ / ₂ —1	„
Gerstenstärke	„	10—15	Minuten
Haferstärke	„	5—7	„
Roggenstärke	„	3—6	„
Maisstärke	„	2—3	„

Die chemische Funktion des Speichels kommt demnach beim Menschen nur wenig in Betracht. Die Eiweißstoffe erfahren durch den Mundspeichel keine Veränderung.

2. Magensaft. Dieser ist das Sekret zweier Drüsenarten.

1. der Pylorusdrüsen, zylindrischer, am Grunde z. T. etwas verzweigter, mit zylindrischen Zellen ausgekleideter Schläuche;

2. der Fundusdrüsen, zylindrisch, am Grunde verzweigt, und mit zwei Zellenarten versehen,

a) den Hauptzellen, zylindrisch, den Zellen der Pylorusdrüsen ähnlich, in allen Teilen der Drüse und im Drüsenhalse ausschließlich vorhanden,

b) den Belegzellen (früher Labzellen genannt) rundlich im Drüsenkörper wandständig hinter den Hauptzellen liegend, keine kontinuierliche Schicht bildend (Heidenhain).

Der Magensaft ist eine klare, farblose Flüssigkeit von stark saurer Reaction, welche bei mechanischem Reiz (der Nahrung) auf die Magenschleimhaut von dieser ausgeschieden wird. Bei leerem Magen ruht die Absonderung des Magens oder ist nur sehr gering. Die saure Reaktion desselben wurde eine Zeitlang auf die Gegenwart von Milchsäure zurückgeführt; F. Bidder und C. Schmidt² aber haben nachgewiesen, daß die saure Reaktion von freier Salzsäure herrührt, da die Chlormenge des Saftes größer ist als das Äquivalent sämtlicher gefundenen Basen. Neuere Untersuchungen haben einen Salzsäuregehalt des menschlichen Magensaftes von 0.2—0.3 % ergeben (Dionys Szabó³). Die freie Salzsäure des Magensaftes nimmt ihre Entstehung aus den Chloriden des alkalisch reagierenden Blutes, wie Versuche von C. Voit⁴ und A. Kahn⁵

¹ Jahresber. f. d. ges. Medizin (Virchow-Hirsch). 1871. 6, 95. — ² Die Verdauungssäfte und der Stoffwechsel. Mitau und Leipzig 1852. — ³ Ztschr. physiol. Chem. 1877. 1, 155. — ⁴ Sitzungsber. d. bayr. Akad. d. Wissensch. 1869. 2, 506. — ⁵ Ztschr. physiol. Chem. 1886. 10, 522.

dargethan haben. R. Maly¹ hat diese merkwürdige Erscheinung zu erklären versucht. Bringt man zwei auch im Blute vorkommende Salze, das alkalische Dinatriumphosphat und neutrales Calciumchlorid zusammen, so tritt auffallenderweise freie Salzsäure auf; diese diffundiert aber bedeutend schneller als lösliche Salze, 34 mal so schnell als Kochsalz. Eine andere Annahme von Maly ist diese, daß die Kohlensäure beim Zusammentreffen selbst mit Sulfaten oder Chloriden einen Teil der Basen binde und die stärkere Säure von diesen fortdränge. Die Möglichkeit dieser Reaktion wurde von ihm nachgewiesen, allein es ist schwer einzusehen, warum bei der Möglichkeit einer Salzsäurediffusion nicht auch die Kohlensäure diffundiert, ferner ist es nicht verständlich, weshalb die Salzsäure immer nur nach der einen Seite, in das Lumen der Drüse, das gebildete Natriumkarbonat aber stets in das Blut befördert wird (G. Bunge).² Nach Bunge ist die Hauptaufgabe der Salzsäure, die Nahrung vor Fäulnis und abnormer Gärung zu schützen.

Durch die Wirkung der Salzsäure werden mit der Nahrung in den Körper eingewanderte Fermentorganismen größtenteils getötet und dadurch der Gefahr, daß diese im Darm giftige Produkte, Indol, Skatol, besonders Toxine bilden, vorgebeugt. Enzyme, mit Ausnahme des Pepsins, werden durch Salzsäure zerstört; der Milchsäurebazillus, gewisse pathogene Bakterien widerstehen ihrer zerstörenden Wirkung; der Cholerabazillus dagegen kann getötet werden. Nach N. Nenki, N. Sieber und E. Schoumow-Simanowski³ werden gewisse Toxalbumine (das Tetano- und Diphtherietoxin) abgeschwächt oder vernichtet.

Der menschliche Magensaft enthält ca. 0.5 % Trockensubstanz. Bidder und Schmidt (l. c.) geben folgende quantitative Zusammensetzung des menschlichen Magensaftes an:

Wasser	99.44 %
Salzsäure	0.20 „
Organ. Bestandt. (Pepsin)	0.32 „
Salze	0.22 „

In dem Magensaft finden sich außer der Salzsäure noch weitere wirksame Bestandteile, das Pepsin (ein Eiweiß und Leim verdauender) und das Lab oder Chymosin (ein Milch koagulierender Körper). Invertin ist im menschlichen Magensaft nicht vorhanden (J. Worm-Müller⁴). Die sich häufig findende Milchsäure ist kein Produkt der Drüsensekretion (E. v. Brücke⁵), sondern entstammt der eingeführten Nahrung (bakterielle Gärung von Kohlehydraten), wie C. A. Ewald und J. Boas⁶ gezeigt haben. Die verschiedenen Drüsensekrete sind nicht gleichartig: nur die Belegzellen der Fundusdrüsen (Labzellen) liefern Salzsäure, während die Hauptzellen Pepsin und Lab liefern; ebenso geben

¹ Liebigs Annal. 1874. 173, 250. — ² Lehrb. d. physiol. Chem. 1889, 149; vergl. Neumeister l. c. 165. — ³ Centralbl. f. Bakter. 1898. 23, 840. 880. — ⁴ Pflügers Arch. 1884. 34, 576. — ⁵ Vorlesungen über Physiologie 1885. 1, 305. — ⁶ Virchows Arch. 1885. 101, 325 u. 1886. 104, 271.

die Pylorusdrüsen, welche lediglich aus Hauptzellen bestehen, nur Pepsin und Lab (R. Heidenhain¹, H. v. Swiecicki², E. Sehrwald³).

Das im Magensaft enthaltene Mucin stammt aus den Becherzellen, welche die Drüsenzellen umkleiden.

Wirkung des Magensaftes auf die Nährstoffe.

1. Viele vom Speichel noch nicht aufgelöste Substanzen werden durch den sauren Magensaft gelöst (auch Karbonate und Phosphate).

2. Die vom Ptyalin des alkalischen Mundspeichels eingeleitete Umwandlung der Stärke in Zucker wird im Magen fortgesetzt und durch die erhöhte Temperatur beschleunigt, bis die saure Reaktion des Magensaftes überhand nimmt und das Ferment zerstört; Cellulose wird durch den Magensaft nicht verändert.

3. Ein im Magensaft noch nicht isoliertes Ferment verwandelt Milchzucker in Milchsäure.

4. Die echten Eiweißstoffe, welche noch nicht gelöst sind, wie das Fibrin, gekochtes Eiereiweiß, Kasein des Käse etc., werden durch die Wirkung der Salzsäure und des Pepsins zunächst aufgelöst — Pepsin ist in neutraler oder alkalischer Lösung unwirksam —, dann denaturiert, d. h. in Syntonin (Acidalbumin) übergeführt. Der Denaturierung folgt, unter Wasseraufnahme, die allmähliche Spaltung des Eiweißmoleküls; das erste Spaltungsprodukt sind die Albumosen, bei weiterer Einwirkung des Magensaftes entstehen die Peptone, die Endpunkte der Magenverdauung.⁴

5. Von den Proteiden erfährt das Kasein der Milch vor der Pepsinverdauung noch eine eigentümliche Veränderung im Magensaft. Dasselbe wird aus der Milch nicht durch die freie Salzsäure gefällt, sondern durch das Labferment (als Käse, Parakasein), nachdem die Salzsäure zuvor den neutralen Kaseinkalk in das entsprechende saure Kalksalz verwandelt hat. Auf dies nunmehr in den festen Zustand übergeführte Kasein (Parakasein) wirkt jetzt die Pepsinsalzsäure und spaltet es in Nuklein und Eiweiß; ersteres ist im Magensaft unlöslich, letzteres geht als Syntonin in Lösung und wird nun weiter in Albumosen (Kaseosen) und schließlich in Peptone (Amphopeptone) gespalten (H. Thierfelder⁵, N. Chittenden und H. M. Painter⁶).

6. Auch die übrigen Proteide werden durch den Magensaft zunächst in ihre Komponenten gespalten: Hämoglobin in Eiweiß und Hämatin, die Glycoproteide in Eiweiß und Kohlehydrate.

7. Von den Albuminoiden werden nur das Kollagen und das Elastin (letzteres sehr schwer) gelöst; das Keratin widersteht der ver-

¹ Pflügers Arch. 1878. 18, 169 u. 1879. 19, 148. — ² Das. 1876. 13, 444. —

³ Münchener med. Wochenschr. 1889, 177. — ⁴ Über den Vorgang der Umwandlung siehe d. Ansicht von Th. Chandelon, Berl. Ber. 1885. 18, 1999; ferner M. Pfaundler, Ztschr. physiol. Chem. 1900. 30, 90. — ⁵ Ztschr. physiol. Chem. 1886. 10, 577. — ⁶ Kasein und dessen erste Spaltungsprodukte, New-Haven, 1887, ref. in Hermanns Jahresber. üb. d. F. d. Phys. 15, 254.

dauenden Wirkung des Magensaftes. Das Kollagen geht zunächst in sein Hydrat, das gelatinöse Glutin über, bei weiterer Einwirkung in nicht mehr gelatinierende Protogelatose (entsprechend den Proto-proteosen). Das Elastin liefert zunächst Protelastose, dann Deuteroelastose.

8. Die Fette, Nuklein und Lecithin, werden durch den Magensaft nicht verändert.

Selbstverdauung des Magens. Nach dem Tode tritt zuweilen bei langsamer Abkühlung des Körpers, besonders nach einem plötzlichen Tode eine Selbstverdauung des Magens ein; ein Stück ausgeschnittener Magenschleimhaut wird mit 0.2 proz. Salzsäure bei 40° C. behandelt, in kurzer Zeit zerstört. Die sich nun aufdrängende Frage, wie sich der lebende Magen gegen die protoplasmaschädigende Wirkung der Salzsäure schütze, hat man mehrfach zu beantworten versucht. Tatsache ist, daß alle proteolytische Enzyme der lebenden Zelle gegenüber unwirksam sind, aber der Grund für diese Widerstandsfähigkeit des lebenden Protoplasmas ist bis heute nicht aufgefunden. Vergl. R. Neumeister, *Lehrb. d. physiol. Chem.* 1897, 183.

Die sub 4 erwähnten **Albumosen und Peptone** bedürfen einer eingehenderen Besprechung.

Peptone nennt man die Endprodukte der Spaltung nativer Eiweißstoffe durch Fermente, durch Einwirkung verdünnter Säuren oder gespannter Wasserdämpfe, insofern diese Produkte sich durch ihr Verhalten als noch zur Gruppe der Eiweißkörper gehörig erweisen, also noch nicht durch weiteren Zerfall in ganz andere einfache Körper (Amidosäuren etc.) zerfallen sind.

Albumosen oder Propeptone nennt man die bei der Peptonisierung von Eiweiß entstehenden Zwischenprodukte.

Wie aus nachstehendem ersichtlich, ist es jedoch schwer, eine strenge Grenze zwischen den hierher gehörigen Körpern und ihren zahlreichen Übergangsprodukten zu ziehen, und in praxi unterscheidet man daher nach W. Kühnes Vorschlag: Peptone werden durch Sättigung ihrer Lösungen mit Ammonsulfat ausgesalzen, Albumosen nicht.¹

Die quantitative Zusammensetzung der hierher zu ziehenden Produkte ist nicht sehr verschieden von derjenigen der Eiweißstoffe, ein Beweis, daß die Wasseraufnahme bei der hydrolytischen Spaltung nur eine geringe ist; immerhin ist aber eine solche nachgewiesen, wie die Analysen von W. Kühne und N. Chittenden zeigen.²

Die Albumosen und Peptone besitzen noch die chemische Struktur ihrer Muttersubstanzen, der Eiweißkörper; sie enthalten noch die beim Kochen mit Säuren Leucin und Tyrosin gebenden Atomkomplexe und geben daher auch die durch die Gegenwart dieser Atomgruppen bedingten Farbenreaktionen der Eiweißstoffe, besonders die Biuretreaktion. Sie vereinigen sich wie die Eiweißstoffe mit Basen wie mit Säuren zu

¹ Vergl. auch E. P. Pick, Ein neues Verfahren zur Trennung der Albumosen und Peptone; *Ztschr. physiol. Chem.* 1897. 24, 246. — ² Die Arbeiten von W. Kühne und N. Chittenden finden sich in der *Ztschr. f. Biologie* 1883. 19, 159; 1884. 20, 11; 1886. 22, 423; 1893. 29, 1. W. Kühne, Albumosen und Peptone. *Verh. d. naturhist. Vereins zu Heidelberg* 1885. N. F. 3, 286.

salzähnlichen Verbindungen und werden daher auch mehr oder weniger durch die Alkaloidreagentien sowie durch Metallsalze gefällt. Die Lösungen der Albumosen und Peptone sind wie die der Eiweißstoffe optisch linksdrehend. Bezüglich des Schwefelgehaltes zeigen die Albumosen und Peptone ein verschiedenes Verhalten; die Albumosen enthalten leicht abspaltbaren Schwefel, das Amphopepton enthält keinen.¹ Nach neueren Forschungen von H. Schrötter², S. Fränkel³ und O. Folin⁴ fehlt den Peptonen wahrscheinlich überhaupt der Schwefel.

Die Albumosen, je nach ihrer Herkunft aus Fibrin, Globulin etc. als Fibrinosen, Globulosen, Vitellosen, Kaseosen, Myosinosen etc. bezeichnet,⁵ stehen den Eiweißstoffen näher, als die durch weitere Spaltung entstandenen Peptone. Die Eiweißkörper diffundieren nicht, das Diffusionsvermögen der Albumosen ist gering, die Peptone diffundieren leicht. Die Albumosen sind wie die Eiweißkörper durch Alkohol fällbar, dagegen werden die Albumosen und auch die Peptone weder durch Aufkochen ihrer schwach alkalischen oder schwach sauren Lösungen, noch durch längere Einwirkung von Alkohol koaguliert, d. h. der Niederschlag ist auch nach längerer Einwirkung noch in Wasser löslich. Die Albumosen sind im allgemeinen leichter löslich als die Eiweißstoffe, die Löslichkeit der ersteren nimmt zu, je weiter sie sich in ihrer Zusammensetzung von den Muttersubstanzen entfernen, den Peptonen nähern. Daher werden die Albumosen durch Neutralsalze, besonders Ammonsulfat, schwerer ausgesalzen als die Eiweißkörper; die Peptone lassen sich nicht mehr aussalzen.

Die Eiweißkörper wie die Albumosen werden gefällt durch Metallsalze (Eisenchlorid, neutrales und basisch essigsaures Blei, Quecksilberchlorid, Platinchlorid); die Niederschläge sind im Überschuße des Fällungsmittels mehr oder weniger löslich. Kupferacetat und Kupfersulfat fällen nur die primären, nicht die sekundären (Deutero-) Albumosen (Trennung derselben!). Ferner werden die Eiweißkörper und Albumosen gefällt

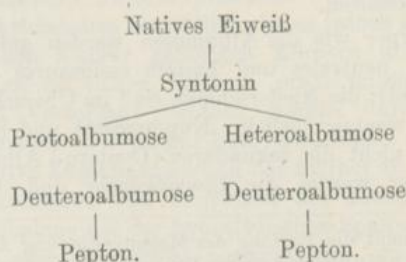
¹ W. Kühne nennt die Peptone der Magenverdauung Amphopeptone im Gegensatz zu den Antipeptonen der Pankreas- bzw. Trypsinverdauung. Er nimmt an, daß in den bei der Pepsinverdauung entstandenen Peptonen zwei Hauptgruppen von Eiweißstoffen, und zwar hier noch vereint, vorhanden sind, ein Anti- und ein Hemipecton. Während das Antipepton einer weiteren Einwirkung von Säuren oder Enzymen widersteht, wird das Hemipecton bei der Trypsinverdauung in Leucin, Tyrosin etc. zerlegt. Nach neueren Untersuchungen ist es fraglich geworden, ob die Antipeptone noch als wahre Eiweißstoffe anzusehen sind (Siegfried u. A.); vergl. O. Cohnheim, Chem. d. Eiweißkörper 1900, 117. — ² Monatsh. f. Chem. 1895, 16, 609; Ztschr. f. physiol. Chem. 1898, 26, 338. — ³ Zerfallsprodukte des Eiweiß, Wien 1896. — ⁴ Ztschr. f. physiol. Chem. 1898, 25, 152; vergl. d. widersprechende Ansicht von R. Neumeister, Lehrb. d. physiol. Chem. 1897, 237. — ⁵ Streng genommen heißen nur die Spaltungsprodukte des Eier- und Serumalbumins Albumosen; diese Bezeichnung wird jedoch auch allgemein für die gleichen Produkte der anderen Eiweißstoffe gebraucht; Chittenden faßt die Körper unter dem Namen Proteosen zusammen.

durch Salpetersäure, Essigsäure + Ferrocyanalkali, Sublimat, Phosphorwolframsäure bei Gegenwart von Salzsäure, durch Gerbsäure, Pikrinsäure, Trichloressigsäure,¹ Jodquecksilberjodkali; doch erfolgt die Fällung der Albumosen wegen ihrer leichteren Löslichkeit im allgemeinen schwieriger; sie erfordert eben meist eine höhere Konzentration der Lösungen und ist außerdem von der Temperatur abhängig, ein Umstand, der zum Nachweis der Albumosen neben Eiweißkörpern benutzt wird (R. Neumeister²).

Die Peptone werden nur gefällt durch absoluten Alkohol, aus neutraler Lösung durch Gerbsäure (im Überschuß löslich), durch Phosphorwolfram- und Phosphormolybdänsäure und durch Sublimat und zwar nur durch letzteres vollständig.

Nicht mehr gefällt werden die Peptone durch Salpetersäure (auch nicht in salzgesättigter Lösung), durch Essigsäure + Ferrocyanalkali, Pikrinsäure, Trichloressigsäure, Jodquecksilberjodkali und Salzsäure; Kupfer- und Eisensalze fällen die Peptone nicht, Bleisalze nur wenig.

Die Albumosen werden eingeteilt in primäre und sekundäre. Durch Spaltung des Eiweißmoleküls entstehen aus dem Syntonin zunächst zwei verschiedene („primäre“ Albumosen) die Protoalbumose, in reinem Wasser löslich, und die Heteroalbumose, nur bei Gegenwart von Salzen in Wasser löslich. Aus jeder dieser primären Albumosen bildet sich bei weiterer Einwirkung des Magensaftes je eine (sekundäre) Deuteroalbumose, die unter sich nur unwesentliche Differenzen zeigen. Die Deuteroalbumosen werden sodann in völlig gleiche Peptone gespalten. Also:



Die primären und sekundären Albumosen unterscheiden sich nach R. Neumeister durch folgende Reaktionen:³ Die primären Albumosen lassen sich durch Sättigung ihrer neutralen Lösung mit Kochsalz ausfällen, die sekundären nicht, diese bleiben gelöst und scheiden sich erst auf Zusatz einer Säure aus. Die primären Albumosen werden von Salpetersäure in salzfreier, die sekundären erst in salzhaltiger Lösung gefällt. Eine 2proz. Kupfersulfatlösung fällt die primären, nicht aber die sekundären Albumosen. Essigsäure + Ferrocyanalkali fällen die primären Albumosen leicht, die sekundären nur langsam und unvollständig.

¹ Einige Eiweißstoffe werden durch Trichloressigsäure nicht gefällt (frisches Eiereiweiß, Fleischbrei); R. Neumeister, *Lehrb. d. physiol. Chem.* 1897, 39. — ² *Ztschr. f. Biologie*, 1900. N. F. 8, 335. — ³ *Lehrb. d. physiol. Chem.* 1897, 232.

3. Die Verdauungssäfte des Darmes sind die Galle, der Pankreassaft und der Darmsaft.

a) Die **Galle** ist das Sekret der Leber. Die aus der Gallenblase geschlachteter Tiere gewonnene Galle bildet eine schleimige Flüssigkeit von gelbbrauner, grüner bis schwarzer Farbe und von bitterem Geschmack; sie reagiert alkalisch, da sie ca. 0.2% Natriumkarbonat und gleichviel tertiäres Natriumphosphat enthält.

Die Hauptbestandteile der Galle, welche sich nur in der Leber vorfinden und in ihr gebildet werden, sind die gallensauren Salze und die Gallenfarbstoffe; in der Galle der Rinder findet sich ein mucinähnliches Nukleoalbumin, das derselben die schleimige Beschaffenheit verleiht (kein Mucin), wogegen die menschliche Galle echtes Mucin enthält (L. Paykull¹); die Galle enthält ferner Cholesterin, Lecithin, Fette, Seifen, Spuren von Harnstoff, etwas Ptyalin, endlich Mineralstoffe (Chloride und Phosphate von Calcium, Magnesium und Eisen).²

Die Gallensäuren: Glykocholsäure ($C_{26}H_{43}NO_6$) und Taurocholsäure ($C_{26}H_{45}NSO_7$) sind an Natrium gebunden, in Wasser und in Alkohol leicht löslich, unlöslich in Äther. Beide Säuren sind Abkömmlinge der Cholsäure ($C_{24}H_{40}O_5$), Verbindungen der Cholsäure (Cholalsäure) mit Glykokoll (Amidoessigsäure, $CH_2(NH_2)COOH$) bzw. Taurin (Amidoäthylsulfosäure, $C_2H_4\begin{smallmatrix} NH_2 \\ \diagup \\ SO_3H \end{smallmatrix}$), zweier Stoffe, welche zweifellos den Proteinsubstanzen der Nahrung entstammen. Wie die Cholate gebildet werden, ist bis dahin unbekannt.

Die Farbstoffe der normalen Galle sind das gelbe Bilirubin und dessen Oxydationsprodukt, das grüne Biliverdin; durch das Vorwalten des einen oder des anderen Farbstoffs sind die verschiedenen Färbungen der Galle bedingt. Diese Farbstoffe sind Abkömmlinge des Blutfarbstoffs (Hämoglobins). Man nimmt an, daß der Blutfarbstoff, welcher beim Zerfall der roten Blutkörperchen frei wird, in die Leber übergeht, dort festgehalten und in Eiweiß und Hämatin gespalten wird, wovon letzteres nach M. Nenki und N. Sieber³ unter Abspaltung des Eisens und gleichzeitiger Wasseraufnahme in Bilirubin übergeht.

Das Ptyalin kommt in der Galle nicht regelmäßig vor, es ist kein Produkt der Leber, sondern wird als Ptyalinzymogen aus der Pankreasdrüse resorbiert, durch die Galle (wie durch den Harn) aus dem Organismus entfernt.

b) Das **Pankreas** scheidet sein Sekret, den Pankreassaft (Bauchspeichel) nur während der Verdauung, nach dem Eintritt der Nahrung in den Dünndarm ab. Der Pankreassaft, eine klare, schleimige Flüssig-

¹ Ztschr. f. physiol. Chem. 1887. 12, 196. — ² In der Galle sind auch Spuren von Kupfer und Zink gefunden worden. Analysen von unter pathologischen Verhältnissen sich ausscheidenden Gallensteinen siehe Ritter, Jahresb. f. Tierchemie 1872. 2, 246. — ³ Berl. Ber. 1884. 17, 2275.

keit von alkalischer Reaktion (0.2—0.4% Natriumkarbonat enthaltend) ist reich an Eiweißstoffen; ferner finden sich in dem Sekret wenig Fett, Seifen und geringe Mengen von Zersetzungsprodukten der Eiweißkörper Leucin und Tyrosin (Produkte der Selbstverdauung des eiweißhaltigen Saftes); an Fermenten enthält der Pankreassaft das diastatische Ptyalin, das eiweißverdauende Trypsin und das fettspaltende Steapsin.

c) Der **Darmsaft** ist das Sekret der Darmschleimhaut, welche zwei Drüsenarten besitzt: 1. kleine, traubenförmige sog. Brunnersche Drüsen mit zylindrischen Zellen im obersten Teil des Duodenums, angrenzend an den Pylorus, und 2. die sog. Lieberkühnschen Drüsen, welche die Wand des Dünndarms wie auch des Dickdarms bekleiden. Die Brunnerschen Drüsen stehen in ihrem Bau wie in ihrer Funktion den Pylorusdrüsen sehr nahe.

Der hellgelbe Darmsaft (aus sog. Thiry-Vellaschen Fisteln gewonnen) enthält etwa 0.5% Kochsalz und ebensoviel Natriumkarbonat, besitzt daher alkalische Reaktion. Er enthält Eiweiß und Mucin, ein diastatisches und wahrscheinlich mehrere invertierende Fermente.

Verdauungsvorgänge im Darm. Im Darm kommt der sauer reagierende Speisebrei wieder mit alkalischen Sekreten in Berührung, und zwar im Duodenum mit Galle und Pankreassaft, im ganzen Darm mit dem Darmsaft.

Die Bedeutung der **Galle** bei der Verdauung ist früher hoch eingeschlagen; neuere Forschungen haben jedoch ergeben, daß dieselbe nur insofern zu den Verdauungsflüssigkeiten zu zählen ist, als sie bei der Resorption der Fette eine Rolle spielt, im übrigen aber an den chemischen Vorgängen bei der Assimilation der Nährstoffe sich nicht beteiligt. Die Galle muß in erster Linie als ein Exkret betrachtet werden, als eine Flüssigkeit, in welcher gewisse Endprodukte des Stoffwechsels zur Ausscheidung gelangen (R. Neumeister). Nach Versuchen von Voit¹ und von F. Röhm² wird Fleisch, Leim, Traubenzucker und Brot ohne Galle ebensogut verdaut, wie mit derselben; die Resorption von Fetten dagegen erleidet erhebliche Einbuße. Neumeister begründet die Anschauung, daß die Galle im allgemeinen ein Exkret sei noch weiter: die Menge des Gallenpigments ist viel zu gering,³ als daß man von ihm einen wesentlichen Einfluß auf die Vorgänge im Darm erwarten könnte; die Gallenfarbstoffe, in das Blut gespritzt, wirken giftig (L. de Bruin⁴); die Gallenfarbstoffe werden größtenteils mit den Fäces entleert. Die Cholesterine sind nach Hoppe-Seyler als Spaltungsprodukte aufzufassen, die bei Umsetzungen des lebenden Protoplasmas

¹ Voit, Üb. d. Bedeutung d. Galle f. d. Aufnahme d. Nahrungsm. im Darmkanal. Festschrift, München, 1882. — ² Pflügers Arch. 1883. **29**, 509. — ³ Stadelmann fand in der innerhalb 24 Stdn. von Hunden ausgeschiedenen normalen Galle nur 0.16 g Bilirubin. — ⁴ Üb. die giftige Wirkung des Bilirubins bei der Gelbsucht. 1889; Ctrbl. f. klin. Med. **11**, 491.

gebildet werden; dieselben sind im tierischen Organismus schwer zersetzlich, in wäßrigen Flüssigkeiten und im Harn unlöslich und werden deshalb, wenigstens teilweise, durch die Galle entfernt. Die gallensauren Salze dagegen werden, wie aus vielen Beobachtungen geschlossen werden muß, im Darmkanal größtenteils resorbiert, sie können nicht als Exkretstoffe angesehen werden; ihnen muß eine Rolle bei den Vorgängen im Darm zugeschrieben werden, und diese ist wohl darin zu suchen, daß die Cholate als Transportmittel für die aus der Leber fortzuführenden Cholesterine zu dienen haben, welche nur bei Gegenwart von gallensauren Alkalien in der Galle löslich sind; außerdem sind die Cholate wahrscheinlich bei der Aufsaugung der Fette seitens der Darmwandung insofern beteiligt, als sie die Oberfläche der Epithelzellen für Fette benetzbar machen, vielleicht auch die Emulgierung der Fette begünstigen.

Die Bedeutung der geringen Menge Fett, Lecithin und Seifen, welche in der Galle sich vorfinden, ist unbekannt.

Wichtiger sind die Veränderungen, welche das **Pankreassekret** auf die Nährstoffe ausübt. Das Sekret des Pankreas enthält bekanntlich drei wirksame Fermente, das diastatische Ptyalin, das eiweißzersetzende Trypsin und das fettspaltende Steapsin.

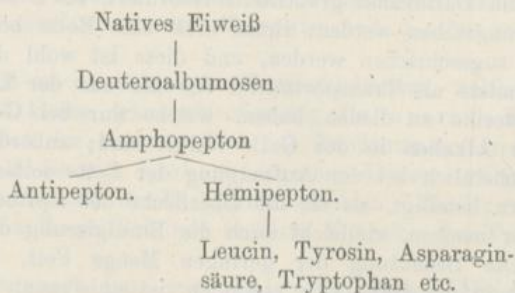
Das Ptyalin des Speichels ist durch die Salzsäure des Magensaftes zerstört worden; allein reichlicher noch als im Speichel findet sich Ptyalin im Pankreassaft. Die Bedingungen seiner Wirkungsweise sind durch den Zufluß alkalischer Säfte wieder hergestellt, und die im Munde begonnene, anfangs noch im Magen weiter bewirkte Umwandlung stärkehaltiger Nährstoffe in Isomaltose und Maltose wird nun hier fortgesetzt. Die Maltose wird dann durch das im Pankreassaft, besonders aber im Darmsaft vorhandene Invertin weiter in Traubenzucker übergeführt.

Das Trypsin wirkt gleich dem Magensaft, wenn auch in etwas anderer Weise, lösend auf die genuinen Eiweißkörper; die festen Eiweißkörper quellen nämlich nicht auf, sondern werden mürbe und zerfallen (*θρύνεσθαι* = zerfallen), bis sie sich schließlich verflüssigen. Milch wird vorher wie im Magensaft durch ein Labferment koaguliert. Nun folgt aber keine Überführung in Syntonin (welche durch die Anwesenheit der freien Salzsäure im Magensaft bedingt war), sondern das Eiweißmolekül wird sofort weiter gespalten und zwar entstehen Deuteroalbumosen (J. Otto¹, R. Neumeister²). Durch weitere Einwirkung des Saftes werden dann Peptone gebildet, und zwar nach Kühnes Untersuchungen³ zwei Arten von Peptonen, von welchen die eine Art, das Hemipepton weiter in Leucin, Tyrosin, Asparaginsäure, Tryptophan⁴ etc. zerfällt,

¹ Ztschr. f. physiol. Chem. 1883. 8, 133. — ² Ztschr. f. Biologie. 1887. 23, 398 u. 1890. 26, 345. — ³ Virchows Arch. 1867. 39, 130; Jahresber. d. ges. Med. 1867. 1, 183; W. Kühne u. R. H. Chittenden, Ztschr. f. Biol. 1884. 20, 46. — ⁴ Das Tryptophan ist ein Chromogen, das in essigsaurer Lösung mit Chlor- oder Bromwasser einen violetten Farbstoff liefert, der in Amylalkohol aufgenommen werden kann. Mit Hilfe dieser Reaktion kann man leicht den

während die andere Art, das Antipepton, durch das Trypsin nicht weiter in Amidosäuren gespalten wird.

Die Zersetzung des Eiweißes durch das Trypsin geht also nach folgendem Schema vor sich:



M. Siegfried¹ hält das Antipepton Kühnes, wie dieser, für ein einheitliches Individuum, das mit der von ihm (Siegfried) im Fleischextrakt, in der Milch u. s. w. entdeckten Fleischsäure wenigstens nahe verwandt, wenn nicht ident ist.

Nach Fr. Kutschers² Untersuchungen ist das Antipepton keine einheitliche Substanz, sondern ein Gemenge heterogener Körper, aus dem die Hexonbasen Hystidin, Arginin, sowie Lysin abgeschieden werden konnten. Bei energischer Trypsinverdauung des Eiweißes treten als Endprodukte dieselben Körper auf, welche bei der Einwirkung starker Schwefelsäure entstehen, während die Peptone nur Zwischenstufen bilden.

Die Proteide werden durch Einwirkung des Trypsins zunächst in ihre Komponenten zerlegt; dann erfolgt die weitere Zersetzung des abgespaltenen Eiweißes wie gewöhnlich. Von den Albuminoiden werden nur das Kollagen und das Elastin durch das Pankreassekret verändert, ersteres jedoch nur, wenn es schon in Leim übergeführt ist, was durch die Einwirkung der Säure im Magensaft geschieht (C. Ludwig und M. Ogata³). Die weiteren Veränderungen des Leims (Glutins) sind dann denen im Magensaft völlig gleich, es entsteht zunächst Protogelatose, dann Deutergelatose, endlich Gelatinpepton, das nach A. Ewald und W. Kühne durch Trypsin nicht weiter in Amidosäuren gespalten wird.

Das Elastin dagegen wird durch das Pankreassekret direkt gelöst und liefert die auch bei der Magenverdauung entstehenden Elastosen, aber wie dort so auch hier kein Elastinpepton (R. H. Chittenden und A. S. Hart⁴).

Eintritt tiefer Eiweißzersetzung nachweisen, ohne die Amidosäuren selbst zu isolieren. M. Nenki (Berl. Ber. 1895. 28, 560) hält dies Chromogen für die Muttersubstanz verschiedener tierischer Farbstoffe. — ¹ Arch. f. Anat. u. Phys., physiol. Abt. 1894, 401; Ztschr. f. physiol. Chem. 1899. 27, 335. — ² Endprodukte der Trypsinverdauung. Habilitationsschr., Marburg 1899; Ztschr. f. physiol. Chem. 1899. 28, 88; vergl. O. Cohnheim, D. Chemie der Eiweißkörper 1900, 115. — ³ Arch. f. Anat. u. Physiol. 1883, 91. — ⁴ Ztschr. f. Biologie 1889. 25 (N. F. 7), 388.

Die stets fettsäurehaltigen Fette der Nahrungsstoffe, welche in dem sauren Speisebrei des Magens unverändert bleiben, werden durch den Saft der Galle und des Pankreas neutralisiert und dann alkalisch gemacht; die freien Fettsäuren bilden mit dem Alkalikarbonat Seifen, so daß sich überall zwischen den Fettmolekülen in Wasser lösliche Seifenmoleküle befinden. Die ganze Fettmasse erleidet nun, wesentlich gefördert durch die sich entwickelnde Kohlensäure, eine Zerstäubung in feinste Partikelchen (J. Gad¹). Die Fette werden emulgiert. Dieser Vorgang wird wesentlich unterstützt und gefördert durch die Wirkung des fettspaltenden Enzyms des Pankreassaftes, durch das Steapsin, welches Fette in Glycerin und freie Fettsäuren zerlegt.

Die Nukleine werden durch den Pankreassaft und den alkalischen Darmsaft, wie es scheint, ohne Veränderung gelöst und wenigstens teilweise resorbiert (G. Gumlich²).

Die Lecithine werden durch Steapsin in Glycerinphosphorsäure, freie Fettsäuren und Cholin gespalten.

Die Veränderungen, welche schließlich der Darmsaft noch auf die Nahrungsstoffe auszuüben vermag, sind nur sehr geringe. Der Darmsaft verändert weder Eiweißstoffe noch Fette; letztere werden emulgiert, wie von jeder anderen alkalischen Flüssigkeit. Der Darmsaft enthält neben Ptyalin nur noch Invertin, welches die durch das Ptyalin aus der Stärke und dem Glykogen entstandene Maltose in Traubenzucker überführt und die mit der Nahrung direkt eingeführten Doppelzucker, Rohr- und Milchezucker, in die betreffenden Monosaccharide spaltet. Durch seinen Mucinegehalt begünstigt er die Bewegung des Chymus und die Kotbildung.

IV. Veränderungen der Nährstoffe durch die Wirkung von Mikroorganismen.

Von den Umwandlungen, welche die Nahrungsstoffe durch die Verdauungssäfte bzw. deren Enzyme erleiden, sind wohl zu unterscheiden die Gärungs- und Fäulnisvorgänge, welche durch gewisse Darmbakterien (Fermentorganismen) bedingt sind.

Mit den Nahrungsmitteln werden gleichzeitig eine große Menge von Mikroorganismen verschluckt, welche ihre Tätigkeit bereits im oberen Teile des Dünndarms beginnen, wo die ihnen in ihrer Entwicklung hinderliche Salzsäure neutralisiert wird; ihr eigentliches Wirkungsgebiet ist der untere Teil des Dünndarms, wo die von den Säften noch nicht umgewandelten Reste von Nährstoffen von ihnen verarbeitet und zur Resorption geeignet gemacht werden; im Dickdarm wird ihre Entwicklung durch die hier erfolgende Resorption der fertigen Nährstoffe und des Wassers bereits wieder eingeschränkt. Auch die von den

¹ Arch. f. Anat. u. Physiol. 1878, 187. — ² Ztschr. physiol. Chem. 1893. 18, 508.