VII.

Die physiologische Bedeutung des Ammoniaks.

Von

Pietro Albertoni, Bologna.

(Deutsche Übertragung von Frau Else Asher.)

Literatur.

1. Abderhalden E., Fütterungsversuche mit vollständig bis zu Aminosäuren abgebautem Eiweiss und mit Ammonsalzen. Zeitschr. f. phys. Chemie. Bd. 78. p. 1. 1912.
2. Derselbe und P. Hirsch, Fütterungsversuche mit Gelatine, Ammonsalzen, vollständig abgebauten Fleisch an jungen Hunden. Zeitschr. f. phys. Chemie. Bd. 81. p. 323. 1912.
3. Derselbe, Weitere Studien über den Stickstoffwechsel. Zeitschr. f. phys. Chemie. Bd. 96. p. 29. 1915/16.
4. Albertoni P., Recherches sur les modifications du sang consécutives à l'extirpation de l'appareil thyro-parathyroïdien. Arch. Intern. d. Phys. Vol. XI. p. 29. 1911. Istituto fisiologico di Bologna.
5. Beaunis-Aducco, Vol. 1. p. 474—475 e Liotta v. N. 47.
6. Beccari L., Sul dosamento dell' ammoniaca del sangue. Bull. delle scienze mediche. Bologna. 1905. p. 292. Istituto fisiologico di Bologna.
7. Derselbe, Sulla eliminazione dell' ammoniaca nei grossi erbivori. Mem. d. R. Accademia di Scienze di Bologna. Serie VII. Tomo III. p. 253. 1916. Istituto fisiologico di Bologna.
8. Derselbe, Sul comportamento dell' ammoniaca nell' organismo. Mem. d. R. Accademia d. Scienze d. Bologna. Serie VII. Tomo IV. p. 213. 1917. Istituto fisiologico d. Bologna.
9. Biedl und Winterberg, Beiträge zur Lehre von der ammoniakentgiftenden Funktion der Leber. Pflügers Arch. Bd. 88. p. 140. 1902.
10. Björn-Andersen und Lauritzen, Über Säure- und Ammoniakbestimmung im Urin und ihre klinische Anwendung. Zeitschr. f. phys. Chemie. Bd. 64. p. 21. 1910.
11. Camerer W. jun., Beobachtungen und Versuche über die Ammoniakausscheidung im menschlichen Urin, mit Berücksichtigung noch weiterer stickstoffhaltigen Bestandteile und Bestimmung der Azidität nach Lieblein. Zeitschr. f. Biologie. Bd. 43. p. 13. 1902.
12. Carlson und Jacobson Clara, The depression of the ammonia destroying power of the liver after complete thyroidectomy. Americ. Journ. of Phys. Vol. 25. p. 403. 1910 and Vol. 28. p. 13. 1911.
13. Denis N. and Minot A. S., Ammonia excretion as influenced by the ingestion of alkalis. Journ. Biol. Chem. Vol. 35. p. 108. 1918.
14. Embden und Schmitz, Über synthetische Bildung von Aminosäuren in der Leber Biochem. Zeitschr. Bd. 29. p. 423. 1910.

15. Eppinger, Zeitschr. f. expr. Path. u. Ther. Bd. 3. p. 530. 1906.
16. Folin O., Eine neue Methode zur Bestimmung des Ammoniaks im Harn und anderen tierischen Flüssigkeiten. Zeitschr. f. phys. Chemie. Bd. 27. p. 161. 1902.
17. Derselbe, Estimation of ammonia in blood. Journ. Biol. Chem. Vol. 39. p. 259. 1919.
18. Derselbe und Denis, The origin and significance of the ammonia in portal blood Journ. of biol. Chem. Vol. II. p. 161. 1912.
19. Dieselben, Nitrogen determinations by direct neutralization. Journ. Biol. Chem. Vol. 26. p. 497. 1916.
20. Gad-Andersen, Concentration of ammonia in different secretions and tissues. Journ. Biol. Chem. Vol. 39. p. 267. 1919.
21. Gammaltoft S. A., Über die Ammoniakmenge im Harn und deren Verhältnisse zur Ventrikelsekretion. Zeitschr. f. phys. Chemie. Bd. 75. p. 57. 1911.
22. Gerard, Dosage de l'NH₃ du sang par une méthode volumetrique. Compt. rend. Soc. Biol. p. 1186. 1919.
23. Gessler Hans, Zur Frage des Wesens der Stickstoffretention bei Fütterung mit Ammoniaksalzen. Zeitschr. f. phys. Chem. Bd. 109. p. 280. 1920.
24. Grafe E., Zur Frage der Stickstoffretentionen bei Fütterung von Ammoniumchlorid. Zeitschr. f. phys. Chemie. Bd. 90. p. 75. 1914.
25. Derselbe, Über Stickstoffersparnis durch Darreichung von Ammoniaksalzen und Harnstoff bei Menschen. Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 117. p. 448. 1916.
26. Derselbe und Schläpfer, Über Stickstoffretentionen und Stickstoffgleichgewicht bei Fütterung von Ammoniaksalzen. Zeitschr. f. phys. Chemie. Bd. 77. p. 1. 1912.
27. Derselbe und Wintz, Über die Beeinflussung des Stickstoffwechsels durch Fütterung von Natriumnitrat. Zeitschr. f. phys. Chem. Bd. 86. p. 283. 1914.
28. Hahn A. und Kootz E., Quantitative Bestimmung des Ammoniaks im Urin, in serösen Flüssigkeiten usw. Bioch. Zeitschr. Bd. 105. p. 220. 1920.
29. Haskins H. D., Nitrogenous metabolimas affected by diet and alkaline diuretic. Journ. of biol. Chem. Vol. 2. p. 217. 1906.
30. Hasselbach K. A., Ammoniak als physiologischer Neutralitätsregulator. Bioch. Zeitschr. Bd. 74. p. 18. 1917.
31. Henderson L. J., A critical study of the process of acid excretion. Journ. of biol. Chem. Vol. 9. p. 403. 1911.
32. Derselbe and Palmer, On the intensity of urinary acidity in normal and pathological conditions. Journ. of biol. Chem. Vol. 13. p. 393. 1912.
33. Dieselben, On the several factors of acid excretion. Journ. of biol. Chem. Vol. 17. p. 305. 1914.
34. Dieselben, On the several factors of acid excretion in nephritis. Journ. of biol. Chem. Vol. 21. p. 37. 1915.
35. Henriquez und Andersen, Über die Stickstoffretentionen bei Zufuhr von Ammoniaksalzen oder Harnstoff. Zeitschr. f. phys. Chem. Bd. 92. p. 21. 1914.
36. Derselbe und Christiansen E., Untersuchungen über die Ammoniakmenge im Blute. Biochem. Zeitschr. Bd. 78. p. 165. 1916 u. Bd. 80. p. 297. 1917.
37. Höber R., Ist die Lunge für Ammoniak durchgängig? Pflügers Arch. Bd. 149. p. 87. 1913.
38. Hopkins and Denis, Interrelation of the Ammonia and carbon dioxyd content of the blood. Journ. of biol. Chem. Vol. 10. p. 407. 1911.
39. Horodyski, Salaskin, Zaleski, Über die Verteilung des Ammoniaks im Blute und den Organen normaler und hungernder Hunde. Zeitschr. f. phys. Chem. Bd. 35. p. 245. 1902.
40. Jacobi, Über die Harnstoffbildung im Organismus. Erg. d. Physiol. I. p. 532. 1902.
41. Janney N., Die Ammoniakausscheidung im menschlichen Harn bei Zufuhr von Harnstoff und Natron. Zeitschr. f. phys. Chem. Bd. 76. p. 99. 1912.
42. Knoop F., Über den physiologischen Abbau der Säuren und die Synthese einer Aminosäure im Tierkörper. Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 67. p. 489. 1910.

43. Kowalewski und Salaskin, Über den Ammoniak- und Milchsäuregehalt im Blut und über die Stickstoffverteilung im Harn von Hasen unter verschiedenen Verhältnissen. *Zeitschr. p. phys. Chem.* Bd. 35. p. 552. 1902.
44. Derselbe und Markewicz, Über das Schicksal des Ammoniaks im Organismus des Hundes bei intravenöser Injektion von Kohlensäuren-Ammoniak. *Biochem. Zeitschr.* Bd. 4. p. 196. 1907.
45. Lafayette B., Mendel and Rose W. C., *Journ. of biol. Chem.* Vol. 10. p. 217. 1911/12.
46. Leclère A., Déterminations de l'ammoniaque dans l'urine. *Compt. rend. Soc. Biol.* Vol. 80. p. 959. 1917.
47. Liotta D., L'eliminazione dell'ammoniaca con l'urina durante il riposo. *Arch. d. Farmacol. sper. e Scienze affini* Vol. 22. p. 205. 1916.
48. Marfori P., Über die Ammoniakmengen, welche der Organismus in Harnstoff umzuwandeln vermag. *Schmiedebergs Arch.* Bd. 33. p. 71. 1892.
49. Moritz F., Über die Bestimmung der Bilanz von Säuren und Basen in tierischen Flüssigkeiten. *Deutsch. Arch. f. klin. Med.* Bd. 83/84. 1905.
50. Moscati G., L'ammoniaca dell'urina nelle varie diete. 1911.
51. Derselbe, L'influenza del riposo e del movimento sull'eliminazione dell'ammoniaca coll'urina. 1911.
52. Nencki et Zaleski, Du dosage de l'ammoniaque dans les sucs et les organes des animaux. *Arch. de Sc. biol. de St. Petersburg.* Vol. 9. p. 232. 1901.
53. Peschek E., *Pfugers Arch.* Bd. 142. p. 143. 1911 enthält die Literatur über diese erste Periode.
54. Derselbe, Über die Einwirkung von Ammoniaksalzen und essigsäuren Salzen auf den Stoffwechsel der Fleischfresser. *Biochem. Zeitschr.* Bd. 45. p. 244. 1912.
55. Derselbe, Weitere Versuche am Fleischfresser über die stickstoffsparende Wirkung von Salzen, besonders von Natriumazetat. *Biochem. Zeitschr.* Bd. 52. p. 275. 1913.
56. Derselbe, Weitere Versuche über die stickstoffsparende Wirkung von Natriumazetat beim Wiederkäuer. *Biochem. Zeitschr.* Bd. 62. p. 186. 1914.
57. Piccinini G., La diffusione dell'ammoniaca nell'organismo in rapporto con l'intossicazione e l'autointossicazione per detta sostanza. *Bull. delle Scienze Mediche Bologna.* 1905. p. 31. Istituto fisiologico di Bologna.
58. Derselbe, L'ammoniaca nell'aria espirata e nel sangue. *Arch. di farmac. e scienze affini* Vol. 5. p. 36. 1906.
59. Pincussohn L., Über Ammoniakbestimmung im Harn. *Bioch. Zeitschr.* Bd. 99. p. 267. 1919.
60. Salkowski E., Zur Kenntnis der Eiweisskörper der Fäulnisbakterien. *Zeitschr. f. phys. Chem.* Bd. 109. p. 49. 1920.
61. Derselbe, Zur Kenntniss der Eiweissbildung aus Harnstoff bei Wiederkäuern. *Zeitschr. f. phys. Chem.* Bd. 109. p. 276. 1920.
62. Schenitzky Ch., Zur Methodik der Ammoniakbestimmung des menschlichen Harnes: vergleichende Bestimmung mit den Apparaten Schlösing, Krüger, Reich., Schittenhelms und Hahns. *Biol. Zeitschr.* Bd. 76. p. 177. 1916.
63. Schittenhelm und Katzenstein, Über die Beziehungen des Ammoniaks zum Gesamtstickstoff im Urin. Ein Beitrag zur Azidose. *Zeitschr. f. exper. Path. und Ther.* Bd. 52. p. 542. 1905.
64. Sherman H. C. and Gettler A. O., The balance of acid-forming and base-forming elements in foods, and its relation to ammonia metabolism. *Journ. bioch. Chem.* Vol. 11. p. 323. 1912.
- 64a. Spiro, K., Zur Methodik der Ammoniak- und Harnstoffbestimmungen im Harn. *Hofmeisters Beitr. z. chem. Phys. u. Path.* 1907. Bd. 9. S. 481.
65. Summer J. B., The direct determination of urea and ammonia in muscle. *Journ. Biol. Chem.* Vol. 26. p. 95. 1916.
66. Derselbe, Direct neutralization of Ammonia in urin. *Journ. Biol. Chem.* Vol. 34. p. 37. 1918.

67. Taylor A. E. and Ringer A. J., The utilisation of ammonia in the protein metabolism. Journ. of. biol. Chem. Vol. 14. p. 407. 1913.
68. Tullio P., Sul contenuto in ammoniaca del sangue dell'uomo durante il riposo e il lavoro muscolare. Arch. di fisiologia. Vol. 10. p. 71. 1912. Istituto fisiologico di Bologna.
69. Underhill F. P., Studies on the metabolism of Ammoniumsalts. I. Journ. Biol. Chem. Vol. 15. p. 327 1913.
70. Derselbe, Studies on the metabolism of Ammoniumsalts. II. Journ. Biol. Chem. Vol. 15. p. 337. 1913.
71. Derselbe and Saiki, The influence of complete thyroidectomy and of thyroid feeding upon certain phases of intermediary metabolism. Journ. of. biol. Chem. Vol. 5. p. 226. 1908.
72. Derselbe and Goldschmidt, Studies on the metabolism. of Ammoniumsalts. Journ. of biol. Chem. Vol. 15. p. 337 u. 341. 1913.
73. Derselbe and Bogert I. L., Alterations in the output of certain urinary constituent as determined by changes in the character of the diet. Journ. Biol. Chem. Vol. 27. p. 161. 1916.
74. Wilson, Stearns and Janney, The excretion of acids and ammonia after parathyroidectomy. Journ. of biol. Chem. Vol. 23. p. 123. 1915.

Die Haupttatsachen über den Stoffwechsel und über die physiologische Bedeutung des Ammoniaks, welche bis zum Jahre 1900 bekannt waren, sind in diesen Ergebnissen von Jacobi (40) in dem Artikel, auf welchen ich für die frühere Literatur hinweise, dargestellt worden.

Die Untersuchungen über den Stoffwechsel des Ammoniaks im tierischen Organismus erhielten einen neuen Impuls und eine strengere Abgrenzung, seitdem Nencki und Zaleski (52) ihre Methode der Bestimmung einführten, welche auf dem Prinzip der Destillation im Vakuum begründet ist, und welche dadurch, dass sie verschiedene Fehlerquellen beseitigte, gestattete, das im Blute, in den Organen und in den verschiedenen Körperflüssigkeiten befindliche Ammoniak genau zu bestimmen.

Ausser diesen seither berühmten Versuchen von Nencki und Pawlow über das Verhalten des Ammoniaks bei operierten Tieren mit Eckscher Fistel und über die Schutzwirkung der Leber, fand diese Methode noch andere zahlreiche und interessante Anwendungen.

Bald danach beschrieb O. Folin (16) eine Methode zur Ammoniakbestimmung, welche auf dem Prinzip gegründet war, vermittelt eines andauernden Luftstromes das Ammoniak zu entfernen, eine Methode, welche, weil sie leichter zu benutzen war, vielfach angewendet wurde und bald zahlreiche Modifikationen erhielt, die zu beschreiben hier nicht der Ort ist (Shaffer, Spiro, Krüger und Reich, Malfatti, Wolff u. a).

Eine Modifikation der Methode von Nencki und Zaleski, die immer die genaueste bleibt, ist von Beccari (16) ersonnen worden, durch welche er das Verfahren leichter und sicherer gestaltet hat. Um die Unannehmlichkeiten zu vermeiden, welche durch den reichlichen Schaum entstehen, der sich beim

Destillieren von eiweisshaltigen Flüssigkeiten, wie dem Blute, bildet, hat Beccari die Form des Destillierapparates modifiziert, indem er das Blut nach und nach durch ein Glasröhrchen, fast einer Kapillare, in den Destillierkolben gelangen liess. Derselbe ist ein Glaskolben, Typus Ladenburg, mit drei Marken mit einer Kapazität von 500—700 ccm. Nachdem man vermittelt einer Wasserpumpe den Raum luftleer gemacht hat, lässt man das Blut durch die Kapillarröhre eintreten, wobei man den Zufluss durch eine Schraubenklemme reguliert, welche einen Gummischlauch komprimiert, der sich zwischen der Kapillare selbst und dem Rezipienten, welcher das zu analysierende Blut enthält, verbindet. Die Bluttröpfchen bilden allmählich, wenn sie das äussere Ende der Kapillare, die sich mitten im Glaskolben befindet, erreichen, Bläschen, welche bald platzen, wobei sie die Wände des Gefässes, welches in ein Wasserbad von 40° eingetaucht ist, bespritzen und bald verdampfen.

Das Ammoniak wird durch die Alkalinität des Blutes, durch die Wirkung des niedrigen Druckes und der Temperatur ausgetrieben. Diese Methode ist auch sehr gut für die Untersuchung des Harns, da sie die schweren Fehlerquellen des Verfahrens von Salkowski ausschliesst und die Untersuchungen viel rascher und genauer gestaltet.

Die Resultate, welche man mit diesem Verfahren erhält, sind sicher und genau, auch bei schwierigeren Untersuchungen. Die gefundenen Werte bei arteriellem Blute des Hundes sind etwas höher als die von Nencki und Saleski angegebenen, aber das rührt gerade von der vollständigeren Destillation des Blutes her; die Daten von Beccari sind durch neuere Versuche, welche in diesem physiologischen Institut von Piccinini u. a. ausgeführt wurden, bestätigt worden.

Piccinini (57) hat auch dasselbe Verfahren zur Bestimmung des Ammoniaks in den Geweben eingeschlagen, wobei er die Methode von Beccari für das Blut und den Harn leicht modifizierte. Er erhielt ausgezeichnete Resultate, wodurch er einen bemerkenswerten Beitrag zur genaueren Kenntnis der Diffusion des Ammoniaks in den Organen, sowohl unter normalen wie unter besonderen experimentellen Bedingungen, geliefert hat.

Mit der ursprünglichen Methode von Nencki wurde diese grundlegende Tatsache für den Stoffwechsel des Ammoniaks in weitem Umfange von Horodynski, Salaskin und Zaleski (39) bearbeitet, wobei schon im Jahre 1902 die ursprünglichen Angaben von Nencki und Zaleski über den Ammoniakgehalt des arteriellen Blutes, über die Zunahme des Ammoniaks in der Vena Porta und über die Funktion der Leber diese Substanz in Harnstoff zu verwandeln, bestätigt wurden. Auch das in den Organen enthaltene Ammoniak ist ziemlich konstant und beim Hunger nimmt es, ausser im Gehirn, zu.

Im Gegensatz zu dem, was diese verschiedenen Forscher gefunden haben, hat Gad-Andersen (20) kürzlich beobachtet, dass die Konzentration des

Ammoniaks sowohl im Blute wie in den Muskeln dieselbe ist; dasselbe ist der Fall im Herzen, in der Leber, im Fett, in der Galle, in der Zerebrospinalflüssigkeit, im Humor aq. Nach dem Tode der Gewebe bildet sich Ammoniak auf Kosten des Harnstoffes.

Wie wie bereits erwähnt haben, entstehen, hiervon ausgehend, eine grosse Anzahl von Untersuchungen über das Ammoniak im Organismus. Diese Untersuchungen bewegten sich in verschiedenen Richtungen mit dem Zwecke die verschiedenen Probleme aufzuklären, welche sich auf dessen Entstehung und auf seine Funktion bei seinen Umwandlungen beziehen.

Daher sind in bezug auf die Technik viele andere Arbeiten veröffentlicht worden, welche zu behandeln hier nicht der Ort ist. Wir wollen von den wichtigsten diejenigen von Folin und Denis (19), Schnetzky (62), Summer (65, 66), Leclère (46), Folin (17), Gérard (25), Pincussohn (59), Hahn und Kootz (28), erwähnen.

Über den Ammoniakgehalt des Blutes in den verschiedenen Regionen bestätigen die Untersuchungen von Henriquez und Christiansen (36) in der Mehrzahl die schon bekannten Daten; die berichteten Mittelwerte derselben sind etwas niedriger als diejenigen, welche man bei der Destillation im Vakuum erhält; aber diese Methode ist sicherer und immer jener vorzuziehen, wegen der schon von Folin vorgeschlagenen und von den erwähnten Forschern angewandten Entfernung des Ammoniaks. Diese haben auch gefunden, dass die Blutkörperchen mehr Ammoniak enthalten als das Plasma.

Bei den Veränderungen, welche das Ammoniak im Organismus erleiden kann, ist an die Arbeiten von Biedl und Winterberg (9), von Kowalewsky und Markewicz (44), und von Underhill (69) zu erinnern, welche untersuchten wie sich die in das Tier eingeführten Ammonsalze zur gallenbildenden Funktion der Leber, zur Anhäufung derselben in den verschiedenen Organen und ihrer Ausscheidung verhalten. Derartige Untersuchungen schliessen sich an die früheren von Marfori (48) über die Menge von Ammoniak, welche der Organismus in Harnstoff verwandeln kann, an.

Andere Untersuchungen haben sich dem Studium der Modifikationen zugewandt, welche durch verschiedene physiologische Prozesse auf den Ammoniakstoffwechsel verursacht werden. So hat P. Tullio (68) den Einfluss der Muskulararbeit auf den Ammoniakgehalt des Blutes untersucht, wobei er zu dem Schlusse kam, dass beim Menschen der Muskel während der Arbeit in einer Zeiteinheit eine grössere Menge von Ammoniak erzeugt und ausscheidet als im Ruhestand.

Hopkins und Denis (38) haben Beziehungen zwischen der Kohlensäure und dem Ammoniak des Blutes untersucht und fanden, dass, während bei hungernden Hunden die Asphyxie eine Verminderung des kreisenden Ammoniaks erzeugt, bei Tieren in voller Verdauung im Gegenteil diese Beziehung umgekehrt ist.

Folin und Denis (18), welche die Entstehung des Ammoniaks im Pfortaderblut untersuchten, haben durch Versuche an Katzen gezeigt, dass während der Darmverdauung das Blut, welches aus dem Dickdarm kommt, reicher an Ammoniak ist als dasjenige, welches aus dem Dünndarm kommt und schlossen daraus, dass die Zunahme von Ammoniak, die sich im Blute der Vena Porta offenbart, grossenteils von dem im Dickdarm gebildeten Ammoniak stammt. Gammeltoft (21) hat hingegen die Beziehungen untersucht, welche zwischen der Absonderung der Salzsäure im Magen und der Ausscheidung des Ammoniaks im Harn existieren, in dem er seine Resultate auf Grund der Modifikationen der Alkalinität des Blutes, welche mit beiden Vorgängen in Zusammenhang stehen, erklärte.

Über die Ausscheidungswege des Ammoniaks sind, ausser zahlreichen Versuchen über die Harnausscheidung, von welcher wir sogleich sprechen werden, die Arbeiten von Piccinini (58) und von Höber (57) über die strittige Frage der Ausscheidung von Ammoniak in der Ausatemungsluft zu erwähnen. Ersterer hat mit genauen Versuchen zweifelsohne festgestellt, dass es keine Ausscheidung von Ammoniak bei der Atmung gibt. Letzterer hat gezeigt, dass dies nicht von der Undurchlässigkeit der Lunge für diese Substanz herrührt, sondern von der grossen Löslichkeit und der Verbindung des Ammoniaks im Blute selbst, so dass man, wenn man ein Tier Luft einatmen lässt, die eine bestimmte Ammoniakmenge enthält, zeigen kann, dass dieselbe ins Blut übertritt.

Die Untersuchungen über den Ammoniakstoffwechsel haben auch einen physio-pathologischen Zweck verfolgt, mit der Absicht die Beziehungen derselben zu krankhaften Zuständen, vor allem zu solchen mit giftigem Charakter aufzuklären. Wir können hier die Arbeiten von Piccinini (57) über die experimentelle Urämie und diejenigen von Henderson und Palmer (34) über die Ausscheidung von Ammoniak im Harn bei Nierenkranken erwähnen.

Carlson und Clara Jacobson (12) haben behauptet, dass Ammoniak im Blute von Tieren zunimmt, denen man die Schilddrüse und die Nebenschilddrüse entfernt hat, und dass die Tetanieanfälle von einer Anhäufung von Ammoniak herrühren. Aber Albertoni hatte schon früher widersprechende Resultate erhalten und er hat in einer neuen Versuchsreihe (4) mit der Methode von Beccari beim hungernden Hunde 0,63 mg Ammoniak auf 100 Blut gefunden und nach der Exstirpation des thyreo-parathyreotischen Apparates während Tetanieanfällen 0,60 und 0,34 mg auf 100, d. h. keinerlei Zunahme gegenüber den normalen Zahlen. Übrigens braucht die leichte Zunahme, welche Carlson und Clara Jacobson im Blute gefunden haben, nicht die Ursache für tetanische Anfälle zu sein, sie kann durch den Hunger, die Krämpfe, welche die Acidosis verursachen, hervorgerufen worden sein. Sie kann nämlich eine indirekte Folge der Vernichtung der Schilddrüsenfunktion sein. Es kommt noch hinzu, dass die Funktionen der Leber mehr oder weniger beeinträchtigt

werden und daher auch die synthetische Bildung von Harnstoff herabgesetzt wird.

In diesem Sinne müssen die Beobachtungen von Underhill und Saiki (71) gedeutet werden, welche nach der totalen Thyreoidektomie beim Hunde eine Zunahme von Ammoniak im Harn gefunden haben, wie auch Wilson, Stearns und Janney (74), die infolge der Parathyreoidektomie anfangs einer Verminderung der Acidität und des Ammoniaks im Harn begegnet sind, später mit der Entwicklung der Tetanie Zunahme der einen sowie des anderen.

Aber das Gebiet, auf welchem die Untersuchungen über das Ammoniak im Organismus die grössten Veränderungen herbeigeführt haben, ist dasjenige, welches die Beziehungen des Ammoniaks selbst zur Säureausscheidung und zur Alkaleszens des Blutes betrifft. Nächst der Erforschung des Ursprungs und der Umwandlung des Ammoniaks beim organischen Stickstoffwechsel ist es dieses Problem, in welchem sich am ausgesprochensten die biologische Funktion jener Substanz offenbart.

Seitdem Walter (1877) gezeigt hatte, dass die Darreichung von Säuren die Ausscheidung von Ammoniak durch den Harn beim Hunde steigert und Schmiedeberg seine Lehre über die Schutzwirkung des Ammoniaks selbst gegen Säurevergiftung entwickelt hatte, schloss man, dass die Ausscheidung dieses letzteren der sicherste Massstab für die Acidosis des Organismus sei.

Aber kurze Zeit darauf brachte die Entdeckung der Bildung des Harnstoffs aus den Ammoniakbestandteilen im Organismus (Leber) einen neuen Gesichtspunkt, um die genaue physiologische Bedeutung des Ammoniaks festzustellen. Die Modifikation des harnstoffbildenden Systems können einen nicht zu vernachlässigenden Teil der Ursachen ausmachen, welche die Ammoniakausscheidung im Harn verändern.

Salkowski hatte jedoch beobachtet, dass die Pflanzenfresser sich anders wie die Fleischfresser sowohl in bezug auf die Einführung von Säuren sowie auf die Umwandlung der verschiedenen Ammonsalze im Harnstoff verhalten; ein solcher Unterschied wurde zum Teil der Verschiedenheit des Nahrungsregimes zugeschrieben und der Überreichlichkeit der fixen Alkalien, welche im Organismus der Pflanzenfresser kreisen. Aber selbst wenn man einen Unterschied zwischen den einen und den anderen in der Fähigkeit Säuren vermittelt Ammoniak zu neutralisieren zugesteht, so ist doch beobachtet worden, dass bei den Herbivoren die Fähigkeit hierbei mangelhaft ist, weil die eingeführten Mineralsäuren durch die fixen Alkalien gesättigt werden und weil die Einführung solcher Säuren bald zu schweren Störungen bei diesen Tieren führt.

Diese irrige Auffassung entstand infolge einer unvollkommenen Kenntnis der Neutralitätsmechanismen der Säureradikale des Organismus vermittelt des Ammoniaks. Sie sollte jedoch nicht mehr in modernen Abhandlungen

und Handbüchern gefunden werden, aus welchen sie dann auch in Spezialarbeiten über den Gegenstand (5) zitiert werden.

Später haben Winterberg (1898) und danach Eppinger (1906) beim Kaninchen die Fähigkeit entdeckt, Dank des Ammoniaks die eingeführten Säuren zu neutralisieren, vorausgesetzt, dass sich das Tier unter besonderen Bedingungen des Stickstoffregimes befindet.

Viele Forscher haben sich mit diesem Problem beschäftigt, sei es auf dem experimentellen Gebiet, sei es auf jenem der klinischen Beobachtung. In der Periode, welche der hier betrachteten voranging, wurde festgestellt, dass sowohl beim Hunde (Salkowski und I. Munk) wie beim Menschen (Hallervorden, Coranda) die Ammoniakausscheidung zunimmt bei Einführung von Säuren, und abnimmt bei einer solchen von Alkalien. Die zahlreichen früheren Untersuchungen tendieren, ausser dass sie in den verschiedensten Fällen dies allgemeine Gesetz bestätigen, hauptsächlich die Bedingungen jenes Phänomens zu präzisieren und in den feinen Mechanismus, der es regelt, einzudringen. Wir wollen die wichtigsten Arbeiten hier zitieren: Kowalewsky und Salaskin (43) untersuchten bei Gänsen die Veränderungen des Ammoniaks und der Reaktionen des Blutes und sahen, dass bei ziemlich hohen Dosen von Säuren die alkalische Reaktion abnimmt, während das Ammoniak zunimmt; es bleiben beide bei Einführung von Alkalien unverändert. Hingegen nimmt die Ammoniakausscheidung im Harn ab bei Einführung von Alkali und zu bei Säuren.

Camerer (II) untersuchte beim Menschen das relative Verhalten der Acidität (ausgedrückt in Werten der Phosphorsäuren) und des Ammoniaks des Harns und sah, dass die Einführung von Säuren zwar die relative Ausscheidung des Ammoniaks steigert, aber ziemlich wenig die absolute, und er konnte keinen Einfluss der Alkalien auf jene Ausscheidung nachweisen.

Hingegen konnte Haskins (29) beim Menschen nachweisen, dass die Alkalien das Ammoniak des Harns von 0,8 g auf 0,115 g in 24 Stunden herabsetzen können. Dasselbe ist auch schon von N. Janney (41) bestätigt worden, ebenso von Denis und Minot (13), welche dieselben Tatsachen bei Nephritikern konstatierten. Analoge Untersuchungen machten auch Moritz (49) und Schittenhelm (63). Auch Björn Andersen und Lauritzen (10) bestätigten den Parallelismus zwischen der Gesamtsäuretität des Harnes und der Ammoniakausscheidung sowohl in normalen wie in pathologischen Fällen, während sie zeigten, dass der Quotient des Ammoniaks einen vollkommen unabhängigen Verlauf hat und in direkter Beziehung zum Eiweissstoffwechsel steht.

Die letzte Bestätigung der engsten Beziehung zwischen der Acidosis und der Zunahme des Ammoniaks im Harn ist von Hasselbach (30) geliefert worden.

Über die Grenzen der Neutralisation, welche vom Ammoniak erreicht

werden können, hat Eppinger (15) festgestellt, dass ein Hund mit Fleischdiät einer Dosis von Salzsäure widerstehen kann, die 0,9 g pro kg entspricht, da 1,80% jener Säure mit Ammoniak neutralisiert werden.

Über die Ausscheidung von Ammoniak beim Hunger gibt es sich widersprechende Angaben.

Während Brugsch (1905), Cathcart (1907) und Gräfel (1910) bei den Karnivoren und Omnivoren eine Zunahmefanden, haben Lafayette B. Mendel und Rose (45) beim Kaninchen eine Abnahme, sei es absolut oder relativ, im ausgeschiedenen Ammoniak gesehen, welche sie der Tatsache zuschreiben, dass möglicherweise die Pflanzenfresser weniger empfänglich für die Acidosis sind, oder auch mit anderen Alkalien die Säuren neutralisieren können. Über den Einfluss der Nahrung auf die Ammoniakausscheidung besitzen wir die interessante Untersuchung von Sherman und Gettler (64) über die Fähigkeit der verschiedenen Nahrungsmittel dem Organismus Säuren oder Alkalien zu liefern, woraus folgt, dass sich das Ammoniak in bezug auf jene Eigenschaften der Nahrungsmittel verschieden verhält. Demzufolge haben diese Forscher festgestellt, dass die Zunahme des Ammoniaks nur ein Drittel oder ein Viertel der von der Nahrung erzeugten Gesamtsäure neutralisieren kann.

Ähnliche Resultate haben Underhill und Bogert (73) erhalten. Die Ammoniakausscheidung in Beziehung zu den verschiedenen Diäten wurde auch von Moscati (51) und von Liotta (47) untersucht.

Derjenige Forscher, welcher die Anregung gegeben hat, tiefer in den regulatorischen Mechanismus der alkalischen Reaktion des Blutes und folglich auch in die Ausscheidung von Säure und Alkali im Harn einzudringen, ist zweifellos Henderson (31). In einer Reihe von kritischen und experimentellen Arbeiten ist er zu Resultaten gekommen, die wir hier zusammenfassen können: Die Regulation der Reaktion des Blutes ist die Wirkung von zwei Faktoren: der Ausscheidung von Säuren vermittelt der Nieren, welches ein fast reiner physiko-chemischer Vorgang ist und der Ausscheidung des Ammoniaks, welche eine äquivalente Menge der fixen Alkalien des Blutes erspart. Die Gesamtmenge der ausgeschiedenen Säuren wird daher aus der Acidität des Harnes bestimmt, vermehrt um die Menge des ausgeschiedenen Ammoniaks.

Diese beiden Faktoren sind, nach dem Verfasser, vollständig verschieden, chemisch unabhängig und daher rein additive Phänomene. Im allgemeinen haben beide dieselbe Grösse, aber die Säureausscheidung ist an die Ausscheidung der Phosphate gebunden, während die des Ammoniaks von einer selektiven exkretorischen Tätigkeit der Niere abhängt, durch welche das Ammoniak im Harn quantitativ andere Basen des Blutes, je nach Bedürfnis ersetzt.

Nach einer etwas anderen Richtung hin und mit einer verschiedenen Methode hat Beccari (7) einen bemerkenswerten und entscheidenden Beitrag zur vorliegenden Frage geliefert. Er hat vor allem seine Untersuchungen

auf den Harn der reinen Pflanzenfresser (Rinder, Pferde) gerichtet, indem er bei denselben die Ammoniakausscheidung mit genaueren analytischen Methoden ausführte.

Er hat auf diese Weise eine wichtige Lücke ausgefüllt, weil wir für den vorliegenden Fall nur spärliche und fragmentarische Angaben besitzen, und ausserdem, wegen der unvollkommenen Untersuchungsmethoden, zweifelhafte. Die Ammoniakmenge, welche in ganz frischem Harn von grossen Pflanzenfressern mit normaler Nahrung enthalten ist, ist minimal und schwankt zwischen 10—25 mg pro 100, was im Durchschnitt 0,084% des Gesamtstickstoffes beim Pferde und 0,178% beim Hunde ausmacht. Der Harn von solchen Tieren (mit Hafer und Heu gefüttert) hat eine stark alkalische Reaktion, die 5—8 g NaOH pro Liter entspricht.

Bei denselben Tieren enthält das Blut Ammoniakmengen, welche kaum geringer als die bei den Fleischfressern gefundenen sind; dies ist besonders beim Hund der Fall, bei welchem man häufig die höchsten Zahlen für Ammoniak im Harn findet. Aus dieser Tatsache lässt sich schliessen, dass die geringere Ausscheidung von Ammoniak bei den reinen Pflanzenfressern nicht von einer vollständigeren Umwandlung der Ammoniakbestandteile in Harnstoff abhängt, sondern von den Beziehungen, welche zwischen den äquivalenten Säuren und Basen im zirkulierenden Blute bestehen. Beccari nimmt an, dass unter physiologischen Bedingungen sowohl die harnstoffbildende wie die antagonisierende Wirkung der Säure des Ammoniaks in engster Abhängigkeit von den Beziehungen sein müssen, welche zwischen den H-Ionen und den OH-Ionen des Plasmas und den Flüssigkeiten, welche die anatomischen Elemente umgeben, die an diesen Vorgängen beteiligt sind, bestehen.

Der Übertritt von Ammoniak in den Harn in kleineren oder grösseren Mengen hängt nicht von der Proportion des Ammoniaks im Blute ab, welche nicht variiert. Er scheint auch nicht in Verbindung mit dem grösseren oder kleineren Reichtum an festen Alkali des Plasmas zu stehen, sondern er hängt sicherlich von den Beziehungen zwischen H-Ionen und OH-Ionen des Plasmas ab, welche meistens die Reaktion des Harnes bestimmen.

Um diesen Punkt des Problems zu erforschen, hat Beccari versucht mit der grössten Genauigkeit die Summe der äquivalenten Säuren oder Basen des Harns in Beziehung zur Ammoniakausscheidung unter verschiedenen Bedingungen zu bestimmen. Es gab aber keine sichere Methode für solche Untersuchungen. Wie bekannt, ist die einzige, welche theoretisch diesem Zwecke entsprechen würde, diejenige von Maly und Hofmann, welche unglücklicherweise Fehlerquellen aufweist, die sie unbrauchbar macht.

Beccari (8) ist es gelungen sie derart zu modifizieren, dass sie genau und fehlerfrei geworden ist. Wie bekannt, wird die Reaktion des Harns, welche gewöhnlich sauer ist, durch saure Salze (Phosphate, harnsaure Salze) bestimmt, welche keine genaue Bestimmung mit den direkten Indikatoren

gestatten. Bei der Methode von Maly werden diese Radikale (Phosphate usw.) durch BaCl gefällt und die Lösungen mit Natronlauge titriert und im Filtrat der Überschuss der Natronlauge zurücktitriert, welcher nicht dazu gedient hat die H -Ionen der vorhandenen Phosphorsäure zu sättigen. Aber bei solchen Reaktionen treten wegen der basischen Bayrumphosphate und wegen der Gegenwart von CO_2 beständig Fehler auf, welche die Methode für genaue Versuche unbrauchbar macht. Beccari hat diese Fehlerquellen beseitigt, indem er zuerst die Kohlensäure aus dem Harn entfernte und dann die Phosphate (und harnsauren Kalke) vermittelst Baryum als normale Salze fällte, mit einer Modifikation, welche die Methode vollkommen zuverlässig gestaltet.

Auf diese Weise konnte er mit absoluter Genauigkeit die wirklichen und quantitativen Verhältnisse untersuchen, welche zwischen der Summe der Säureäquivalente einerseits und dem Ammoniak und der Phosphorsäure andererseits eintreten.

Da er beim Menschen die Ausscheidung solcher Stoffe zu den verschiedenen Tagesstunden, vor und nach den Mahlzeiten untersuchte, hat er den Parallelismus zwischen der Acidität des Harnes und der Ausscheidung des Ammoniaks und des Phosphorsäureanhydrids und der Funktion der Sättigung des Ammoniaks in bezug auf die Phosphorsäure genau bestimmen können und inwiefern dieses das Basenäquivalent darstellt, welches vom Organismus bei der partiellen Sättigung der Phosphorsäure, die zur Säureausscheidung bestimmt ist, benötigt wird. Indem er so dem Ammoniak des Harns diese Bedeutung zuschrieb, folgt daraus, dass die gesamte Säureausscheidung des Organismus aus der Summe der Säureäquivalente (nach der Methode von Maly-Beccari frei gemacht und bestimmt) und den Äquivalenten des Ammoniaks (äquivalente Säuren mit NH_3 gesättigt) berechnet wird.

In einer anderen Versuchsreihe (8) hat derselbe Forscher die Modifikationen untersucht, welche die Ausscheidung des Ammoniaks und der Phosphorsäure im Harn beim Menschen und bei Tieren erleidet, wenn die Reaktion des Harnes modifiziert wird.

Beim Pferde hat er, indem er aus dem Umstande Nutzen zog, dass durch die reine Hafernahrung die Reaktion des Harnes sauer wird, wie beim Menschen und beim Hund, zwei interessante Tatsachen zeigen können, und zwar: dass in dem Augenblick, in welchem die alkalische Reaktion sauer wird, das Ammoniak plötzlich zunimmt und gleichzeitig (eine noch interessantere Tatsache) im Harn die Phosphorsäure auftritt, welche im Harn mit alkalischer Reaktion vollkommen fehlt.

Beim Menschen und beim Hunde hat er mit grosser Genauigkeit den Einfluss beobachtet, welchen die eingeführten Alkalien auf die Ausscheidung des Ammoniaks und der Phosphorsäure in Beziehung zur Harnreaktion hat.

Der Gegenstand ist schon von Salkowski und Munk, von Coranda

und neuerdings von Haskins, Kowalewski und Salaskin behandelt worden, aber die quantitativen Verhältnisse zwischen den Äquivalenten in den verschiedenen Phasen der Sekretion wurden nicht untersucht. Obwohl die erhaltenen Resultate nicht zu einer fast mathematischen Definition der Verhältnisse zwischen Äquivalenten der Säuren und des Ammoniaks genügen, hat Beccari jedoch beim Hunde Bedingungen erreichen können, welche denjenigen der Pflanzenfresser ähnlich waren, indem er mit der Nahrung beträchtliche Mengen von Natriumacetat darreichte, nämlich einen Grad der Alkalinität des Harnes, welcher demjenigen ähnlich war, den man beim Pferd mit Heunahrung während einer ziemlich langen Periode antreffen kann; parallel hierzu erreicht die Abnahme des Ammoniaks im Harn die untersten beim Pferd beobachteten Grenzen, die beim Hunde nie erreicht worden sind (0,0034 g pro 100, d. h. 0,065 % des Gesamtstickstoffes). Das beweist, dass wenn auch bei den Fleischfressern die Ammoniakausscheidung Grenzen erreichen kann, welche bei den Pflanzenfressern normal sind, eine solche Wirkung von dem Überfluss fixer Alkalien herrührt, die nur vorübergehend erhalten werden kann, welche aber jedenfalls beweist, dass der regulatorische Mechanismus der Ammoniakausscheidung von denselben Faktoren abhängt und bei den verschiedenen Tierarten denselben Gesetzen folgt.

Diese Faktoren sind nach Beccari von den Gleichgewichtsbedingungen zwischen H-Ionen und OH-Ionen abhängig, welche im Gebiete des Nierenepithels herrschen.

Eine neue wichtige Funktion, ausser der von Beccari nachgewiesenen, wird jetzt dem Ammoniak auf Grund von Untersuchungen von Grafe, von Taylor und L. Ringer u. a. zugeschrieben, deren Resultate nicht übereinstimmen.

Einige Forscher hatten schon beobachtet, dass bei grossen Pflanzenfressern die Darreichung von Asparagin und Ammoniaksalzen einen günstigen Einfluss auf den Eiweissstoffwechsel hatte, aber die Resultate sind von anderen Forschern ihrer Beweiskraft beraubt worden (53). So haben Embden und Schmitz (14) mit Beweisen und Tatsachen an der Leber, die Glykogen enthielt und überlebend der künstlichen Zirkulation unterworfen wurde, festgestellt, dass sich in derselben aus Kohlehydraten und Ammoniak Alanin bildet.

Aber die bemerkenswerte Arbeit von Grafe und Schlaepfer (24) lenkte die Aufmerksamkeit wieder auf diese Frage und lieferte hierzu vermittelt genauer Versuche an Hunden, welche vorher 8—22 Tage hungerten, einen neuen wertvollen Beitrag. Dieselben wurden mit stickstofffreier Weizenstärke, Rohrzucker, etwas Butter, einigen Tropfen Fleischextrakt, der annähernd eiweissfrei war, etwas Suppe, 3 g Salz und 500 g Wasser gefüttert; hierzu wurde in der zweiten Versuchsperiode Ammoniumcitrat hinzugefügt. Während dieser zweiten Periode beobachteten sie eine starke Stickstoffretention. Auch mit grossen Mengen von Ammoniumcitrat gelang es die Tiere längere Zeit

im Stickstoffgleichgewicht zu halten. Gleichzeitig nahm das Körpergewicht zu, während mit derselben reichlichen Ernährung ohne Zusatz von Ammoniumsalzen eine bemerkenswerte Gewichtsabnahme beobachtet wurde. Dieselben Resultate erzielten sie beim Menschen (25).

Grafe nimmt an, dass es sich um einen synthetischen Vorgang handelt, welcher die Bildung von Eiweiss aus Ammoniak und Kohlehydraten veranlasst. Die Untersuchungen von Knoop (42) und Embden (14), welche die Möglichkeit einer ähnlichen Synthese gezeigt haben, würden zugunsten der erwähnten Erklärung sprechen.

Fast gleichzeitig kam Abderhalden (1), welcher Hunde mit Fetten, Kohlehydraten und Ammoniumacetaten fütterte, zu demselben Schluss wie Grafe.

Jedoch erkannte er in einer späteren Arbeit mit Hirsch (2), dass eine andere Stickstoffquelle, das Erepton (gänzlich abgebautes Fleisch) und das Ammoniumacetat sich ganz verschieden bei jungen Hunden verhalten. Während die Hunde mit Erepton eine Gewichtszunahme zeigten, nahmen sie bei Einführung von Gelatine und Ammoniumacetat an Gewicht ab. Übrigens haben auch Taylor und Ringer (67) bei Hunden und bei einem Menschen, welchen sie per os zwei Tage hintereinander 11,60 g Ammoniumacetat gegeben hatten, eine Ammoniakretention beobachtet; jene Forscher nehmen an, dass sich Aminosäuren bilden, welche zur Bildung und zur Ersparnis von Eiweiss im Körper dienen.

Wenn Underhill und S. Goldschmidt (69, 70, 72) gesehen haben, dass nach Einführung von Ammoniumchlorid und Ammoniumsulfat das Ammoniak und der Stickstoff zunehmen, so muss man das nach Grafe den angewandten Dosen zuschreiben, während auch beim Menschen das Ammoniumchlorid eine deutliche Stickstoffretention hervorruft, wenn es nicht in giftigen Dosen gegeben wird.

Henriquez und Andersen (35), welchen es nicht gelungen war eine andauernde Stickstoffretention im Organismus vermittelt andauernder intravenöser Injektion von Zucker und Ammoniumacetat hervorzurufen, erklärten die von Grafe erhaltene Retention als den Ausdruck der bakteriellen Tätigkeit des Darmes. Diese Hypothese ist schon von Peschek (53) aufgestellt worden, nach welchem auf die intravenöse Injektion von Ammoniumsalzen Zunahme des Stickstoffverbrauches folgt.

In späteren Arbeiten hat Peschek (54, 55, 56) Tatsachen von bemerkenswerter Bedeutung gefunden. Einerseits haben die Ammoniumsalze von verschiedenen organischen Säuren dieselbe Wirkung auf die Stickstoffretention; während Ammoniumacetat bemerkenswerte Retention erzeugt, fehlt dieselbe bei Ammoniumlactat. Andererseits hat derselbe Forscher gezeigt, dass auch der Nahrung zugesetztes Natriumacetat die Eigenschaft hat, eine Einschränkung der Stickstoffausscheidung zu bewirken; ähnliche Wirkungen haben

das zitronensaure und milchsaure Natrium und das Magnesiumacetat. Auf Grund dieser Tatsachen nimmt Peschek an, dass die Verminderung der Stickstoffausscheidung nicht von der Komponente „Ammoniak“ herrührt, sondern von dem indirekten Einfluss auf den Stickstoffstoffwechsel gewisser Salze (Essigsäure usw.) als solcher, da die entsprechenden freien Säuren keine analoge Wirkung auf diesen Stoffwechsel besitzen.

Auch Abderhalden kam in einer neueren Arbeit (3), welche eine lange Versuchsreihe über den Einfluss der Ammonsalze, des Harnstoffs, Natriumacetats auf das Stickstoffgleichgewicht enthält, auf diese Frage zurück. Seine Resultate führen, ausser dass sie den oben beschriebenen Einfluss des Natriumacetats auf den Stickstoffstoffwechsel bestätigen, zu dem Schluss, dass wenn einerseits, während der Einführung der Ammonsalze eine Stickstoffretention eintritt, andererseits in der Periode, welche auf diese Einführung folgt, eine Stickstoffausscheidung zu beobachten ist, welche die vorangehende Retention zu kompensieren scheint.

Ein entscheidender Beweis über den Einfluss der Ammonsalze über den Eiweissverbrauch des Organismus scheint, unter Leitung des oben zitierten Grafe, von Gessler (23) geliefert worden zu sein, welcher bei hungernden Hunden gezeigt hat, dass die Einführung von Ammoniaksalzen absolut nicht die Schwefelausscheidung modifiziert, welche vom Eiweissverbrauch des Organismus herrührt. Die Verminderung der Stickstoffausscheidung würde folglich von der Retention des Ammoniakstickstoffes herrühren.

Es ist für den Augenblick nicht möglich zu entscheiden in welcher Form dieser Stickstoff zurückgehalten wird, oder ob er auf irgend eine Weise ausgenützt werden kann. Immerhin können wir nicht unterlassen auf die letzten Beobachtungen von E. Salkowski (60, 61) an Wiederkäuern hinzuweisen, wonach bei diesen Tieren bei einer Nahrung, die frei von verdaulichem Stickstoff ist und Zucker, Stärke und Harnstoff enthält, täglich 10—20 g Eiweiss erzeugt werden. Beim kastrierten Tier, welches ausschliesslich mit Stroh, d. h. mit einer der vorhergehenden entsprechenden Nahrung ernährt wurde, gab es in 155 Tagen eine Körpergewichtszunahme von 30—39 kg, es bildeten sich also 6,336 kg Fleisch. Der Schwefel entstammte den Sulfaten.