

Untersuchungen über den Phosphorstoffwechsel.

Von

Dr. med. **J. P. Gregersen.**

(Aus dem pharmakologischen Institut der Universität Kopenhagen.)

(Der Redaktion zugegangen am 5. Januar 1911.)

Der Phosphor ist in den Geweben und Flüssigkeiten des tierischen Organismus überall vorhanden, und zwar sowohl in der Form phosphorsaurer Salze wie auch als Bestandteil einer Reihe organischer Verbindungen, von welchen die wichtigsten die Nucleoproteide, die Nucleoalbumine und die Phosphatide sind. Auch die Pflanzen enthalten Phosphor sowohl in organischer als in anorganischer Form. Während darüber kein Zweifel herrscht, daß die Pflanzen den Phosphor aus anorganischer Bindung in organische überführen können, ist es durch die bis heute vorgenommenen Untersuchungen noch nicht mit Sicherheit festgestellt, ob der tierische Organismus organische Phosphorverbindungen aus phosphorfreien organischen Stoffen und Phosphaten aufzubauen vermag. Der Zweck der nachfolgenden Arbeit ist der, diese Frage einer erneuten Untersuchung zu unterziehen.

Bevor die früheren, diesen Gegenstand betreffenden Untersuchungen erwähnt werden, mögen hier in aller Kürze einige der wichtigsten, die Resorption der verschiedenen phosphorhaltigen Stoffe und deren Umsetzung im Organismus betreffenden Verhältnisse berührt werden.

Was die anorganischen Phosphorverbindungen betrifft, ist es bekannt, daß die Phosphorsäure sowohl der Alkaliphosphate wie der Calciumphosphate, ja sogar des unlöslichen Tricalciumphosphats resorbiert werden kann (Tereg und Arnold, 1)

1) Pflügers Archiv, 1883, Bd. XXXII, S. 122

Ferner wissen wir, daß bei Eingabe des Lecithins (Bokai),¹⁾ des Nucleins (Gumlich)²⁾ und des Caseins (Sandmeyer)³⁾ Phosphor resorbiert wird. Der Phosphor kann demnach aus sämtlichen in der Nahrung gewöhnlich vorkommenden Phosphorverbindungen resorbiert werden.

Aus den anorganischen Verbindungen wird der Phosphor ohne Zweifel als Phosphorsäure resorbiert. Was seine Resorption aus den organischen Phosphorverbindungen betrifft, meinte Pasqualis⁴⁾ gezeigt zu haben, daß die Glycerinphosphorsäure als solche resorbiert wird, weil er eine Steigerung des Gehaltes des Blutes an Glycerinphosphorsäure nach großen Dosen von Glycerophosphaten per os gefunden hatte. Stasano und Billon⁵⁾ haben angegeben, daß sie qualitativ das Lecithin in der Lymphe von Hunden, welche 5—9 Stunden früher 10—15 g Lecithin eingenommen hatten, nachweisen konnten. Den Versuchen Slowtzoffs⁶⁾ zufolge wurden im Ätherextrakt von Hundelymphe, 5 Stunden nach der Eingabe von Lecithin dem ductus thoracicus entnommen, ziemlich erhebliche Lecithinmengen gefunden, während in der Lymphe kein Lecithin gefunden wurde, wenn dieser Stoff nicht vorher eingegeben worden war: hieraus zog Slowtzoff den Schluß, daß das Lecithin als solches resorbiert werde.

Bei Versuchen wie die obigen läßt sich indessen kaum schließen, daß die betreffenden organischen Phosphorverbindungen in unveränderter Form resorbiert worden sind. Es ist nämlich die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß die organischen Phosphorverbindungen im Darm abgebaut und dann wieder nach erfolgter Resorption aufgebaut wurden.

Die Phosphorausscheidung des Organismus erfolgt sowohl durch den Harn als durch die Faeces. Bei Fleischfressern und Omnivoren (z. B. Hund und Mensch) findet die Phosphor-

¹⁾ Diese Zeitschrift, 1877, Bd. I, S. 157.

²⁾ Diese Zeitschrift, 1893, Bd. XVIII, S. 508.

³⁾ Diese Zeitschrift, 1895, Bd. XXI, S. 87.

⁴⁾ Nach Malys Jahresbericht, 1894, Bd. XXIV, S. 283.

⁵⁾ Compt. rend. de la Société de biologie, 1903, S. 924.

⁶⁾ Hofmeisters Beiträge, 1905, Bd. VII, S. 508.

ausscheidung bei gewöhnlicher Ernährung überwiegend durch den Harn (60—90%) statt. Bei Pflanzenfressern (wie Ochs, Pferd, Schaf, Ziege) enthält der Harn nur unbedeutende Phosphormengen, der weitaus größere Teil des Phosphors wird bei diesen Tieren durch die Faeces ausgeschieden (Liebig,¹⁾ Bertram,²⁾ N. Paton,³⁾ Bergmann⁴⁾).

In ähnlicher Weise wie die Stickstoffausscheidung während des Hungerzustandes stetig fort dauert, bleibt auch die Phosphorausscheidung bestehen und verändert sich Tag für Tag in einer mit der Stickstoffausscheidung übereinstimmenden Art, wie dies schon aus den Untersuchungen Bidder und Schmidts⁵⁾ hervorgeht und auch durch spätere Inanitionsversuche gefunden ist (E. Bischoff,⁶⁾ J. Munk,⁷⁾ F. Schultz⁸⁾ und J. Mainzer.⁹⁾ E. Cathcart,⁹⁾ O. Wellmann¹⁰⁾). Das Verhältnis zwischen den gesamten ausgeschiedenen Stickstoff- und Phosphormengen schwankt innerhalb ziemlich enger Grenzen, selbst bei Versuchen von sehr verschiedener Dauer und mit Tieren von ganz verschiedener Art und Größe. (Die Werte des Verhältnisses N : P schwanken meistens um 10—12 herum.)

Während wir also wissen, daß die Phosphorausscheidung während der Inanition sich in ähnlicher Weise wie die Stickstoffausscheidung verhält, ist es verhältnismäßig wenig untersucht worden, in welcher Weise die Phosphorausscheidung von der Zufuhr der einzelnen Bestandteile der Nahrung abhängig ist. Von besonderem Interesse würde es sein, darüber Aufklärung zu erhalten, inwiefern die Phosphorbilanz ausschließlich von der Zufuhr phosphorhaltiger Verbindungen abhängig

¹⁾ Chemische Briefe, 4. Aufl., 1858, Bd. II, 31. Brief, S. 88.

²⁾ Zeitschr. f. Biol., Bd. XIV, S. 335, 1878.

³⁾ Journal of Physiol., Bd. XXV, S. 212, 1900.

⁴⁾ Inaug.-Dissert., Marburg 1901.

⁵⁾ Die Verdauungssäfte und der Stoffwechsel, 1852, S. 409.

⁶⁾ Zeitschr. f. Biol., 1867, Bd. III, S. 320.

⁷⁾ Virchows Archiv, 1893, Bd. CXXXI, S. 158, und Pflügers Arch., 1894, Bd. LVIII, S. 330.

⁸⁾ Diese Zeitschrift, 1901, Bd. 32, S. 270.

⁹⁾ Biochem. Zeitschr., 1907, Bd. VI, S. 137.

¹⁰⁾ Pflügers Archiv, 1908, Bd. CXXXI, S. 522.

ist, oder ob vielleicht auch die Zufuhr anderer Bestandteile der Nahrung (phosphorfrees Albumin, Fett, Kohlenhydrate) einen wesentlichen Einfluß auf die Phosphorbilanz ausübt.

Zur Beantwortung dieser Frage ist es von großer Bedeutung, zu untersuchen, wie groß die Phosphorausscheidung bei einer Nahrung sein muß, die keinen Phosphor, dagegen aber Albumin, Fett und Kohlenhydrate in hinlänglicher Menge enthält, um den Organismus im Stickstoffgleichgewicht zu halten. Die Absicht des bekannten Forsterschen Versuches¹⁾ mit salzarmer Nahrung war eben die, die Ausscheidung der Aschenbestandteile (namentlich des Phosphors) aus dem Organismus zu studieren, wenn ein möglichst salzfreies und phosphorfrees Futter in einer die Umsetzung der brennbaren Stoffe vollkommen deckenden Menge zugeführt wurde. Das benutzte Futter (ausgewaschenes Fleisch, Fett, Kohlenhydrate) enthielt indessen etwas Phosphor, und die Versuchstiere zeigten sich nur wenige Tage geneigt, davon so viel zu fressen, daß sie sich im Stickstoffgleichgewicht halten konnten. Als wesentlichstes Resultat der Versuche hat es sich herausgestellt, daß je mehr der brennbaren Stoffe täglich zugeführt wurde, desto weniger Phosphor verloren die Tiere, ja, an denjenigen Tagen, wo besonders reichliche Futtermengen eingenommen wurden, betrug die Phosphorausscheidung sogar weniger, als wenn die Futtermenge gering war.

Forster erklärt diese Versuche in folgender Weise: Der größere Teil der Aschenbestandteile des Körpers ist mehr oder weniger fest mit den brennbaren Stoffen, besonders mit den Albuminstoffen, verbunden: ein kleinerer Teil, der früher mit den brennbaren Stoffen verbunden war, ist durch deren Zerfall frei geworden und findet sich in den Säften des Körpers, um später durch die Nieren ausgeschieden zu werden. Wird nun salzarme (phosphorarme) Nahrung zugeführt, dann tritt dieselbe mit den freien Salzen in Verbindung, welche dadurch gebunden und im Organismus zurückgehalten werden. Da eine derartige Bindung aber etwas Zeit verlangt, während Zerfall

¹⁾ Zeitschr. f. Biologie, 1873, Bd. IX, S. 297.

und Ausscheidung stetig fort dauern, werden kleine Aschenmengen immerwährend ausgeschieden, bevor sie mit brennbaren Stoffen in Verbindung treten können: der Organismus verliert demnach ständig Aschenbestandteile, obwohl in bedeutend kleineren Mengen als bei der Inanition, wo die durch Verbrennung freigewordene Asche nicht gebunden, sondern gänzlich ausgeschieden wird.

Bei hinlänglicher Zufuhr von Albumin, Fett und Kohlenhydraten braucht der Organismus nach Förster dann eine bedeutend kleinere Zufuhr von Salzen (und Phosphor), als man sich früher nach der Liebigschen Anschauung als notwendig vorgestellt hatte. Liebig¹⁾ konnte sich nicht denken, daß die bei Verbrennung der Gewebe freigewordene Asche wieder verwendet werden konnte, und demnach müßte dann eine stetige, sehr bedeutende Zufuhr von Aschenbestandteilen notwendig werden.

Durch das von Förster durch seine Versuche erreichte Resultat wurde dann eine neue Auffassung der Umsetzung der Aschenbestandteile (und damit des Phosphors) im Organismus begründet, indem man zur Erkenntnis der Abhängigkeit der Phosphorbilanz von den gleichzeitig zugeführten Mengen der brennbaren Stoffe gelangte. Durch spätere Untersuchungen ist diese Auffassung bestätigt worden. Z. B. hat Pugliese²⁾ durch Versuche mit Hunden, welche während wechselnder Perioden entweder hungerten oder gewisse Mengen Zucker, Fett oder Leim erhielten, konstatiert, daß die Zufuhr dieser Stoffe die Phosphorausscheidung sehr bedeutend beeinträchtigte. Durch Versuche mit Ratten hat Gevaerts³⁾ gefunden, daß dieselben, wenn sie mit Zucker + Edestin (phosphorfrei) ernährt wurden, viel weniger Phosphor als bei Ernährung mit Zucker allein zur Ausscheidung brachten.

Wenn also die Zufuhr von sowohl Albumin wie Fett und Kohlenhydraten den Verlust des Organismus an Phosphor herabsetzt, darf man wohl annehmen, daß diejenige Phosphormenge,

¹⁾ l. c.

²⁾ Archiv f. Anatomie u. Physiol. (Physiol. Abteil.), 1897, S. 473.

³⁾ La Cellule, 1901, Bd. XVIII, S. 1.

welche dem Organismus zum Ausgleich seines Verbrauches an diesem Stoffe zugeführt werden muß, um denselben im Phosphorgleichgewicht zu erhalten, von den gleichzeitig zugeführten Albumin- und Kalorienmengen abhängig ist. Untersuchungen über die Abhängigkeit der Phosphorbilanz von der größeren oder kleineren Phosphorzufuhr müssen demnach so ausgeführt werden, daß nur der Gehalt an Phosphor, nicht der an Albumin oder Kalorien variiert wird.

Es liegen indessen — meines Wissens — keine Untersuchungen darüber vor, mit welchen kleinsten Phosphormengen man — bei einer Nahrung, die reichlich Albumin enthält und einen hohen Kalorienwert besitzt — den Organismus in positiver Phosphorbilanz erhalten kann. Wir kennen demnach das Minimum nicht, welches — um das Phosphorgleichgewicht zu erhalten — zugeführt werden muß.

Der Organismus ist jedenfalls imstande, bei einem sehr phosphorarmen Futter Phosphor abzulagern, was Versuche von L. F. Meyer¹⁾ dargetan haben. Ein Hund von 10 kg Gewicht lagerte in 5 Tagen p. d. 0,07 g P bei einer täglichen Zufuhr von 0,15 g P ab. Das Verhältnis $\frac{N}{P}$ der Nahrung war ca. $\frac{50}{1}$. Bei allen gewöhnlich vorkommenden Nahrungsgemischen wird der Phosphorgehalt im Verhältnis zum Stickstoffgehalt ein weit größerer sein.

Mit der Frage, wie viel Phosphor dem Organismus zugeführt werden muß, um dessen Bedarf zu decken, ist die Frage, in welcher Form der Phosphor zuzuführen ist, eng verknüpft. Der Organismus enthält ja außer Phosphaten zugleich organische Phosphorverbindungen, welche wie andere organische Verbindungen in stetigem Abbau begriffen sind und demzufolge stetig ersetzt werden müssen. Müssen nun durch die Nahrung notwendigerweise solche organischen Verbindungen zugeführt werden, oder ist der Organismus selbst zum Aufbau solcher Verbindungen aus phosphorfreen organischen Stoffen und Phosphaten imstande?

¹⁾ Diese Zeitschrift. 1904. Bd. XLIII. S. 1.

Diese Frage ist schon von Forster¹⁾ behandelt worden, der sein oben erwähntes Versuchsergebnis: daß die Phosphorausscheidung durch erhöhte Zufuhr brennbarer Stoffe vermindert wird, durch die Annahme, daß die durch Zerfall der organischen Verbindungen freiwerdende Phosphorsäure sich mit den zugeführten phosphorfreien Nährstoffen verbinde, erklären wollte. Forster ging also, wie später Gevaerts,²⁾ von der Möglichkeit einer Synthese als der einfachsten Erklärung der genannten Beobachtungen aus. Indessen wird eine solche durch dieselben nicht bewiesen: die verminderte Phosphorausscheidung bei Zufuhr phosphorfreier Nährstoffe ließe sich ja einfach durch eine ersparende Einwirkung der letzteren auf die Verbrennung der verschiedenen organischen Phosphorverbindungen erklären, was dem ersparenden Einfluß des zugeführten Fettes und Kohlenhydrate auf den Abbau des Albumins entsprechen würde.

Bedeutend später (1897) hat Paton³⁾ versucht nachzuweisen, daß beim Lachs eine Überführung des Phosphors aus unorganischer Form (Phosphaten) in organische Verbindungen (Nucleine und Lecithine) stattfindet. Der Lachs nimmt während seines Aufenthaltes im Süßwasser keine Nahrung ein; gleichzeitig nehmen die Ovarien, deren Phosphor hauptsächlich als organischer Phosphor vorhanden ist, an Größe stark zu, während die Muskulatur, deren Phosphor überwiegend anorganisch gebunden ist, an Größe stark abnimmt. Bei einigen Lachsen, welche in der Mündung einiger schottländischen Flüsse eingefangen wurden, und bei solchen, welche in der späteren Jahreszeit in dem oberen Lauf der Flüsse genommen wurden, hat Paton das Gewicht und den Gehalt der Muskeln und der Ovarien an organischem und anorganischem Phosphor bestimmt. Je nach der Länge des betreffenden Fisches wurden alle gefundenen Werte (mit der dritten Potenz) auf die Werte reduziert, welche sie bei einem Lachs von 1 m Länge betragen würden. Durch Vergleich dieser Werte erwies es sich, daß

¹⁾ l. c.

²⁾ l. c.

³⁾ The Journal of Physiology 1899, Bd. XXII, S. 333.

die Ovarien beinahe ebensoviel Phosphor gewonnen, als die Muskeln verloren hatten. Da der Phosphor in den Ovarien überwiegend als organischer Phosphor vorkommt, schloß Paton daraus, daß ein Aufbau organischer Phosphorverbindungen durch die von den Muskeln abgegebenen Phosphate stattgefunden haben mußte.

Die Grundlage der Patonschen Betrachtungsweise seiner Versuchsergebnisse war die Annahme, daß der Lachs während seines Aufenthaltes im Süßwasser keine Nahrung einnehme. Die Berechtigung dieser Annahme muß indessen nach späteren Untersuchungen von Pütter¹⁾ als zweifelhaft angesehen werden, so daß man folglich aus den Patonschen Versuchen bezüglich der Möglichkeit einer Synthese der organischen Phosphorverbindungen beim Lachse keine sicheren Schlüsse ziehen darf.

Ferner beziehen sich die Untersuchungen von Paton auf die Kaltblüter, deren Stoffwechsel ja im Vergleich mit dem der Warmblüter ein äußerst träger ist: es dürfte demnach kaum zulässig sein, die Resultate derartiger Versuche auf die Warmblüter zu übertragen.

Betreffs der Frage nach der Möglichkeit einer Synthese organischer Phosphorverbindungen bei den Warmblütern liegen Untersuchungen vor, welche auf Veranlassung Röhmanns von seinen Schülern Steinitz, Leipziger, Zadik, Ehrlich und Gottstein vorgenommen wurden. Da diese Untersuchungen die wesentliche Grundlage der Auffassung dieser Frage seitens späterer Verfasser gebildet haben, verdienen dieselben eine besonders eingehende Besprechung.

Steinitz²⁾ erbrachte durch seine Versuche zuerst den Beweis, daß der Organismus bei Ernährung mit einer den Phosphor ausschließlich in organischer Bindung enthaltenden Nahrung seinen Phosphorgehalt vermehren kann, indem Hunde, welche nach Inanition durch einige Tage mit einem Gemisch von Casein oder Vitellin, Fett, Kohlenhydraten und phosphorfreien Salzen ernährt wurden, sowohl Stickstoff, wie Phosphor

¹⁾ Pütter, Zeitschr. f. allg. Physiol., Bd. IX, S. 147 nach Zentralbl. f. Physiol. 1909, Bd. XXIII, Nr. 15, S. 490 zitiert.

²⁾ Pflügers Arch. 1898, Bd. 72, S. 75.

ablagerten. Danach untersuchte er, ob ein ähnliches Resultat durch Ernährung, mit einer Phosphor in ausschließlich anorganischer Bindung enthaltenden Nahrung möglich sei. In dieser Absicht wurde der nämliche Hund, den Steinitz bei einem der früher erwähnten Versuche angewendet hatte, und welcher damals täglich 0,32 g N und 0,03 g P abgelagert hatte, 5 Tage durch ein Futter genährt, welches folgenderweise zusammengesetzt war: Myosin, jedoch nicht phosphorfrees (die täglich eingenommene Menge enthielt 0,021 g P), Fett, Stärke, Salze (darunter Phosphate) und Fleischextrakt. Der letztere enthielt organischen Phosphor, und zwar nach Steinitz' Analyse 0,021 g P in der täglich eingenommenen Menge. Der Hund, welcher vor dem Versuch 4 Tage gehungert hatte, lagerte während der Myosinperiode durchschnittlich p. d. 0,61 g N und 0,008 g P ab. Steinitz ist jedoch nicht der Meinung, daß dadurch die Annahme einer während des Versuches stattgefundenen Synthese organischer Phosphorverbindungen geboten wird. Der Hund war während des Versuches gravid: Steinitz denkt sich demnach, daß die positive Phosphorbilanz sich vielleicht durch Phosphatablagerung in dem Fötus und zugleich durch die geringe Menge organischen Phosphors, die in der Nahrung vorhanden war, erklären lasse, ohne daß man zu der Annahme eines Aufbaues organischer Phosphorverbindungen genötigt sei. Als Resultat des Versuches gibt dann Steinitz an, daß man durch Fütterung mit phosphorhaltigen Albuminstoffen der Phosphorablagerung günstigere Bedingungen bietet als durch Fütterung mit phosphorfriem Albumin und Phosphat, wenn auch die Möglichkeit einer Synthese durch den Versuch als nicht ausgeschlossen erscheint.

Leipziger¹⁾ hat 2 Versuche ähnlicher Art wie die Steinitzschen Myosinversuche vorgenommen, jedoch wurde dem Futter als Albuminstoff Edestin (das Präparat war phosphorfrei) beigemischt. Vor dem Versuch I hungerte der Hund (derselbe wie bei dem Steinitzschen Myosinversuch) 6 Tage lang, erhielt dann während 6 Tagen täglich 30 g Edestin, 30 g

¹⁾ Inaugur.-Dissert., Breslau 1899.

Stärke, 70 g Fett und 4 g Fleischextrakt (worin 0,018 g organischer P), endlich 1 g phosphathaltiger Salze. Durchschnittlich wurde von dem Tiere im ganzen p. d. 5,5 g N und 0,312 g P eingenommen, und 0,59 g N und 0,008 g P abgelagert. Vor dem Versuch II hatte man denselben Hund längere Zeit hindurch hungern lassen, so daß sein Körpergewicht bei diesem Versuch bedeutend niedriger als beim Anfang des Versuches I erschien. Das Tier erhielt nun wieder 6 Tage hindurch täglich das gleiche Futter wie bei Versuch I und lagerte durchschnittlich p. d. 1,26 g N und 0,095 g P ab.

Die Phosphorablagerung war also bei Versuch I ähnlich wie bei dem Steinitz'schen Myosinversuch nur gering, bei Versuch II dagegen sehr bedeutend, absolut genommen beinahe 3mal so groß, wie bei dem von Steinitz mit demselben Hund vorgenommenen Vitellinversuch. Dieser große Unterschied der Ablagerung bei den beiden Edestinversuchen war nach Leipziger darin zu suchen, daß dem Versuch II eine längerdauernde Inanitionsperiode als dem Versuch I vorausging. Leipziger denkt sich, daß die Organe während der Inanition bedeutende Phosphatmengen verloren hätten und demzufolge während der Edestinperioden zur Phosphatablagerung neigten.

Die Untersuchungen Leipzigers über die Calcium- und Magnesiumbilanz während dieser Versuche ergaben, daß diese Bilanzen in beiden Versuchen beide negativ erschienen, also der Annahme einer Phosphatablagerung keine Stütze gewähren konnten. Leipziger schließt seine Abhandlung mit den Worten, daß die Möglichkeit einer Synthese bei diesen Versuchen nicht ausgeschlossen wäre, wenn nicht Zadik gleichzeitig Versuche angestellt hätte, die eine solche unwahrscheinlich machen.

Um die Neigung zur Phosphatablagerung, welche möglicherweise unmittelbar nach einer Inanitionsperiode stattfindet und die Beurteilung der Versuchsergebnisse erschweren könnte, zu vermeiden, wurden die Versuche von Zadik¹⁾ in der folgenden Weise vorgenommen: Ein Hund wurde zuerst

¹⁾ Pflügers Archiv 1899. Bd. LXXVII. S. 1.

während einer 6tägigen Periode p. d. mit einem Gemisch von 80 g Casein, 16 g Stärke, 100 g Fett und einer gewissen Menge Salze ernährt, wodurch er täglich durchschnittlich 11,65 g N und 1,01 g P einnahm und 2,1 g N und 0,075 g N ablagerte.

Nach 1 tägiger Inanition folgte dann eine 4tägige Periode, wo die Nahrung p. d. aus 70 g Edestin, 100 g Fett, 16 g Stärke und der gleichen Menge Salze wie während der Caseinperiode bestand: nur wurden noch 7 g Dinatriumphosphat hinzugefügt: im ganzen enthielt das Futter p. d. 11,9 g N und 1,026 g P. Die Bilanz war durchschnittlich p. d. : 0,82 g N und : 0,239 g P.

Nach dieser Edestinperiode folgte nun eine 2tägige Fütterung mit Fleisch und Fett, dann während eines Tages Inanition und dann wieder eine Edestinperiode (täglich ganz dasselbe Futter wie während der Edestinperiode I). Die Bilanz war durchschnittlich p. d. + 1,49 g N und : 0,16 g P.

Dieser Edestinperiode unmittelbar nachfolgend kam eine 4tägige Periode, wo das Futter täglich wie während der Caseinperiode I zusammengesetzt war, und wo der Hund durchschnittlich p. d. 1,48 g N und 0,068 g P ablagerte.

Es war also zwischen den Phosphorbilanzen resp. während der Caseinperioden und während der Edestinperioden ein bedeutender Unterschied zu erkennen: während der ersteren hatte eine bedeutende Phosphorablagerung, während der letzteren ein bedeutender Phosphorverlust stattgefunden, obschon die p. d. zugeführten Mengen von Stickstoff, Phosphor, Fett, Kohlenhydraten und Salzen während sämtlicher Perioden ziemlich gleicher Größe waren. Dieser Unterschied läßt sich nach Zadik nur dadurch erklären, daß der Phosphorverlust des Organismus, welcher von dem Zerfall der organischen Phosphorverbindungen herrührt, nicht während der Edestinperioden gedeckt werden könne, weil hier keine organischen Phosphorverbindungen zugeführt werden: dagegen könne der Verlust gedeckt werden, ja, vielmehr eine Ablagerung organischer Phosphorverbindungen während der Caseinperioden stattfinden, weil hier Phosphor in organischer Bindung zugeführt wird. Zadik hat daher den folgenden Schluß gezogen: der tierische Organismus ist nicht imstande, die für das Leben der Zelle notwendigen, phosphor-

haltigen organischen Verbindungen aus phosphorfreiem Albumin und Phosphat synthetisch aufzubauen.

Die Ehrlichschen¹⁾ Versuche waren eine Wiederholung der Zadikschens (derselbe Hund und dasselbe Futter). Versuch I bestand aus einer Caseinperiode von 6 Tagen, wo die Bilanz durchschnittlich p. d. $+ 0,18$ g N und $\div 0,119$ g P ausmachte: dann folgte während einiger Tage Ernährung durch Fleisch und Fett, dann eine Edestinperiode von 6 Tagen, wo die Bilanz p. d. $+ 1,1$ g N und $\div 0,055$ g P betrug. Nach 2-tägiger Inanition erhielt der Hund 4 Tage hindurch ein in ähnlicher Weise wie das früher angewendete Caseinfutter zusammengesetztes Futter, nur daß hier anstatt des Caseins eine Mischung von Casein und Vitellin gegeben wurde. Die Bilanz war durchschnittlich p. d. $+ 1,5$ g N und $+ 0,058$ g P. Der Versuch II, wo ein Hund von gleichem Gewicht wie bei Versuch I angewendet wurde, bestand aus einer Caseinperiode von 6 Tagen, wo die Bilanz durchschnittlich $\div 0,19$ g N und $\div 0,18$ g P betrug, und aus einer Edestinperiode von 6 Tagen mit einer Bilanz von $\div 1,46$ g N und $\div 0,22$ g P p. d.

Ehrlich hielt dafür, daß der Hund während der Caseinperiode des Versuches I an einer Indigestion gelitten habe, weil derselbe etwas träge fraß, und weil die Stickstoff- und Phosphorresorption ungünstiger war als bei den Zadikschens Caseinperioden. Ehrlich meinte deshalb diese Periode außer Betracht lassen zu können. Es scheint mir aber nicht berechtigt, die Caseinperiode auszuschalten, da die Resorption sich nicht schlechter als während der dritten Periode desselben Versuches stellte, wo eine positive N- und P-Bilanz erreicht wurde.

Ehrlich hat nun aus seinen Versuchen gefolgert, daß dieselben eine Bestätigung der Zadikschens Beobachtungen darstellen: er meint den Beweis erbracht zu haben, daß phosphorhaltiges Albumin eine Ablagerung von Phosphor dort hervorrufen könne, wo phosphorfrees Albumin und Phosphat unter gleichen Bedingungen einen Verlust an Phosphor geben wür-

¹⁾ Inaug.-Dissert. Breslau 1900.

den, und daß unter anderen Bedingungen der Verlust an Phosphor bei Zufuhr phosphorhaltigen Albumins niedriger als bei Zufuhr von phosphorfreiem Albumin und von Phosphat ausfallen werde.

Es muß indessen sowohl gegen die Ausführungsweise der Steinitzschen, Leipzigerischen, Zadikschens und Ehrlich'schen Versuche (die in Anwendung gebrachten Methoden sind bei den genannten Verfassern wesentlich gleich) als auch gegen die aus den Versuchsergebnissen von den Verfassern gezogenen Schlußfolgerungen in entschiedener Weise Einspruch erhoben werden.

Während die Phosphorbestimmungen im Futter und in den Faeces gewichtsanalytisch vorgenommen wurden, sind die Bestimmungen in dem Harn durch Urantitration ausgeführt worden. Diese Methode kann ziemlich schwankende und unzuverlässige Resultate ergeben (Mathison).¹⁾ Ferner wird aber durch dieselbe nur der Gehalt an anorganischem Phosphor bestimmt. Wenn auch der Gehalt des Harns an organischem Phosphor nicht bedeutend ist (1—11% der Gesamtphosphormenge des Harns (Oertel,²⁾ Bornstein,³⁾ Bock,⁴⁾ Mathison¹⁾), werden diese ziemlich schwankenden Größen doch bei Bilanzuntersuchungen, wo es sich ja um kleine Differenzen handelt, sich in entscheidender Weise geltend machen können. Die Urantitration läßt sich wohl überhaupt bei Bilanzuntersuchungen kaum benutzen.

Bei sämtlichen Versuchen wurden dem Futter Stärke und Fett beigemischt, ohne daß der Gehalt dieser Stoffe an Phosphor berücksichtigt wurde. Es wird über Phosphorbestimmungen in diesen Präparaten nichts berichtet, während solche beim Edestin erwähnt werden (mit dem Resultat: kein Phosphor). Es muß daher angenommen werden, daß die angewendeten Stärke- und Fettsorten nicht analysiert worden sind. Die im Verkehr gewöhnlich vorkommenden Stärkepräparate

¹⁾ Biochemical Journal, 1909, Bd. IV.

²⁾ Diese Zeitschrift, 1898, Bd. XXVI, S. 123.

³⁾ Pflügers Archiv, 1905, Bd. CVI, S. LXVI.

⁴⁾ Archiv f. experim. Pathol. u. Pharm., Bd. LVIII, S. 23.

enthalten indessen Phosphor (was übrigens schon Bischoff¹⁾ berücksichtigt hat). Ich fand in den von mir analysierten Stärkepräparaten (Reis-, Weizen-, Kartoffelstärke, gereinigte, lösliche Stärke) ungefähr 0,5‰ Phosphor.

Auch in Fett kann Phosphor enthalten sein. Gevaerts²⁾ fand z. B. in Proben von Schweineschmalz sogar 0,9‰ P. Da die bei den Versuchen p. d. eingegebenen Stärke- und Fettmengen ziemlich bedeutend sind, wird selbst ein geringer Phosphorgehalt eine Rolle spielen können und bewirken, daß die Phosphorbilanz in ungünstiger Richtung beeinflusst wird. In den Zadik'schen und Ehrlich'schen Versuchen ist der Phosphorgehalt des verwendeten Caseins nicht durch direkte Analyse, sondern rechnerisch festgestellt worden, indem der prozentische Gehalt an Stickstoff mit 0,054 (das von Hammarsten zwischen P und N in Casein angegebene Verhältnis) multipliziert wurde. Ein derartiges Verfahren ist durchaus nicht verwendbar, was z. B. aus den Laqueur- und Sackurschen³⁾ Untersuchungen eines Caseinpräparates, welches nach Hammarsten im Breslauer Laboratorium dargestellt wurde, hervorgeht. In diesem Präparate war das Verhältnis $P : N = 0,049$.

Die erwähnten Mängel der Versuche bewirken, daß bei den genannten Versuchen keine zuverlässige Phosphorbilanz sich mit Sicherheit aufstellen läßt. Selbst wenn aber die angeführten Phosphorbilanzen völlig zutreffend wären, würde es doch durchaus nicht berechtigt sein, aus den Steinitz'schen, Leipziger'schen, Zadik'schen und Ehrlich'schen Versuchen zu schließen, daß eine Synthese der organischen Phosphorverbindungen dem Organismus unmöglich sei. Es hat sich ergeben, daß der Organismus bei Ernährung mit einem nur geringe Mengen organischen Phosphors enthaltenden Futter sich beinahe im Phosphorgleichgewicht zu erhalten (der Steinitz'sche Myosinversuch und der Leipziger'sche Versuch I) oder sogar bedeutende Phosphormengen abzulagern (der Leipzi-

¹⁾ Bischoff, Zeitschr. f. Biol., 1867. Bd. III, S. 320.

²⁾ La Cellule, Bd. XVIII, S. 15.

³⁾ Laqueur und Sackur (Hofmeisters Beiträge, Bd. III, S. 217.

gersche Versuch II) imstande war. Will man die Möglichkeit einer Synthese nicht annehmen, müssen diese Versuchsergebnisse durch die Annahme einer während der Versuche stattgefundenen Phosphatablagerung erklärt werden, wofür keine sicheren Anhaltspunkte vorhanden sind (die Untersuchungen bezüglich der Calciumbilanz sprechen nur in der entgegengesetzten Richtung).

Die Zadik'schen und Ehrlich'schen Versuche hatten den Zweck, die Phosphor- und Stickstoffbilanz bei Ernährung einerseits durch eine, Phosphor in ausschließlich anorganischer Form (Edestinfutter) und andererseits durch eine etwas Phosphor in organischer Bindung enthaltende Nahrung zu untersuchen. Dieser Vergleich beruht bei Zadik auf bloß 2 Edestinperioden von je 4 tägiger Dauer. In dem Ehrlich'schen Versuch I ist die Phosphorbilanz während der Caseinperiode stark negativ und ungünstiger als während der nachfolgenden Edestinperiode: in seinem Versuch II ist die Phosphorbilanz während der Edestinperiode nur unbedeutend ungünstiger als während der vorausgehenden Caseinperiode.

Die Behauptung Zadik's und Ehrlich's, daß die Phosphorbilanz weit günstiger bei Casein als bei Edestin sei, ist also mit keinem großen oder überzeugenden Material unterbaut: wenn auch diese Behauptung sich als stets zutreffend erwiese, so würde doch daraus nur hervorgehen, daß Edestin + Phosphat eine so günstige Phosphorbilanz nicht bedingen, wie die gleichen Mengen Stickstoff und Phosphor, in der Form von Casein zugeführt: die Versuche würden die Möglichkeit nicht ausschließen, daß man auch bei einem Edestinfutter, z. B. durch Vermehrung der eingegebenen Mengen von Edestin, Phosphat, Fett oder Kohlenhydraten — was nicht versucht wurde — eine positive Phosphorbilanz erhalten könnte: die Versuche schließen demnach die Möglichkeit einer Synthese durchaus nicht aus.

Meines Erachtens haben also die zitierten Versuche von Steinitz, Leipziger, Zadik und Ehrlich nicht bewiesen, daß eine Synthese unmöglich ist, nicht einmal, daß eine solche als unwahrscheinlich erscheint, ja, einzelne der Versuche (die Leipziger'schen) sprechen vielmehr für die Möglichkeit einer

derartigen Synthese, obwohl die Versuchsanordnung und die mangelhaften Phosphorbestimmungen in der Nahrung und im Harn die Deutung der erhaltenen Resultate erschweren. Die ganze Frage, inwieweit der Organismus zum Aufbau organischer Phosphorverbindungen aus phosphorfreien, organischen Stoffen und Phosphaten befähigt ist, muß sonach als ungelöst angesehen werden.

Der Hauptzweck der von mir vorgenommenen Stoffwechselversuche, welche im folgenden erwähnt werden sollen, war vor allem, die Frage aufs neue zu erörtern, inwieweit der Organismus zum Aufbau organischer Phosphorverbindungen aus phosphorfreien organischen Stoffen und Phosphaten befähigt ist. Gleichzeitig habe ich unsere Kenntnis von dem Einfluß, welchen verschiedene Verhältnisse bei der Ernährung (die Kalorienzufuhr, die Albumin- und Phosphatzufuhr) auf den Phosphorstoffwechsel ausüben, noch zu erweitern versucht.

Versuchstechnik und analytische Untersuchungsmethoden.

Die verschiedenen von mir vorgenommenen Versuche sind alle Fütterungsversuche, bei welchen sowohl die während einer gewissen Zeit (eines oder mehrerer Tage) durch die Nahrung aufgenommenen als auch die gleichzeitig durch den Harn und die Faeces ausgeschiedenen Stickstoff- und Phosphormengen bestimmt wurden. Als Versuchstiere wurden teils weiße oder weißgefleckte (zahme) Ratten, teils braune (wilde) Ratten verwendet. Zum Aufsammeln des Harns und der Faeces benutzte ich die von Henriques und Hansen¹⁾ beschriebene, ein sehr genaues Aufsammeln gestattende Methode. Bei den männlichen Ratten — und nur solche wurden bei den Versuchen verwendet — befindet sich der Penis ziemlich nach vorne unter dem Bauch und ist aus der Haarbekleidung ziemlich hervorspringend, so daß die letztere während des Urinierens durch den Harn nicht benetzt wird. Es gelang stets, zu denjenigen Zeiten (beim Anfang und Schluß der verschiedenen

¹⁾ Diese Zeitschrift, 1905, Bd. XLIII, S. 418.

Versuchsperioden), wo es gewünscht wurde, die Tiere zum Urinieren zu bringen, entweder durch einfaches Schütteln und Drehen des Käfigs, in welchem die Ratte sich befand, oder dadurch, daß man mittels einer Zange das Tier an dem Schwanz faßte und durch Ziehen den Körper ausstreckte, wodurch das Urinieren hervorgerufen wurde. Die Nahrung scheint bei diesen Tieren den Darm ziemlich schnell zu passieren, jedenfalls bei den bei diesen Versuchen angewendeten Futtermischungen: die dem Futter ständig zugesetzte Cellulose scheint hierzu beigetragen zu haben. Beim Übergang von einem Futter zu einem anderen, welches den Faeces eine andere Farbe verleiht, habe ich stets wahrgenommen, daß das Tier noch vor dem Verlauf von 24 Stunden Faeces von der dem neuen Futter charakteristischen Farbe quittiert. Niemals während meiner Versuche habe ich gesehen, daß eine Ratte 24 Stunden hindurch keine Faeces abgegeben hat.

Die Stickstoffbestimmungen sind nach der Kjeldahlschen Methode ausgeführt worden.

Bei den Phosphorbestimmungen wurde die Neumannsche¹⁾ alkalimetrische Phosphorbestimmungsmethode mit den von mir²⁾ in Vorschlag gebrachten Änderungen benutzt. Von den bei den verschiedenen Versuchen als Rattenfutter verwendeten Stoffen (getrocknetes, gepulvertes Fleisch, Edestin, Cellulose, Zucker, Salze, Schweineschmalz) wurde eine gleichmäßige Futtermischung in folgender Weise hergestellt: Die pulverisierbaren Stoffe (sämtliche Stoffe mit Ausnahme des Schmalzes) wurden nach feinem Pulverisieren abgewogen und in einem Mörser sorgfältig zusammengerieben. Die abgewogene Schmalzmenge wurde geschmolzen und die gepulverten Stoffe darein gegeben, wonach das Ganze gründlich durchgerührt und geknetet wurde, bis die Masse erstarrte. Hierdurch erhält man eine Futtermischung von vollkommen gleichmäßiger Zusammensetzung: Analysen der verschiedenen Proben derselben Mischung haben stets genau übereinstimmenden Stickstoff- und Phosphorgehalt ergeben. Bei 8 Analysen von Proben von je

¹⁾ Diese Zeitschrift, Bd. XXXVII, S. 115 und Bd. XLIII, S. 32.

²⁾ Diese Zeitschrift, Bd. LIII, S. 453.

1—3 g, aus verschiedenen Schichten einer Mischung, die einige Tage lang unberührt stehen blieb, entnommen, betrug die größte Abweichung von dem gefundenen Durchschnittswert 0,5% des letzteren. Beträgt die angewendete Schmalzmenge ca. 40—55% des Gesamtgewichtes der Futtermischung, so nimmt die Masse nach Abkühlung eine derartig teigähnliche Konsistenz an, daß sie weder zu weich oder klebend noch andererseits so trocken wird, daß sie in Brocken zerfällt.

Die täglichen Futterrationen wurden den Tieren aus derartigen Futtermischungen abgewogen. Der Gehalt einer jeden Futtermischung an Stickstoff und Phosphor wurde immer direkt durch wenigstens zwei Analysen jeder Art bestimmt. Die von den Tieren täglich eingenommenen Stickstoff- und Phosphormengen können demnach mit großer Genauigkeit bestimmt werden; ein gleiches gilt von den täglich eingenommenen Quantitäten von Albumin, Zucker, Fett usw., da der prozentische Gehalt des Futters an diesen Stoffen gekannt ist. Die Futtermischung wurde stets in der Kälte in verschlossenen Behältern aufbewahrt.

Der Hauptzweck meiner Versuche war, zu untersuchen, wie die Stickstoff- und Phosphorbilanz bei Ernährung mit einem den Phosphor in ausschließlich anorganischer Form enthaltenden Futter sich stellt. Eine derartige Nahrung darf nur aus einer Mischung von gänzlich phosphorfreien Stoffen mit Phosphaten bestehen.

Als Albuminstoff wurde Edestin, aus Hanfsamen nach dem von Leipziger¹⁾ angegebenen Verfahren hergestellt, verwendet: es stellte sich heraus, daß die benutzten Präparate phosphorfrei waren.

Als Kohlenhydrat kam Rohrzucker zur Verwendung; der gewöhnliche Handelszucker enthält überhaupt keine Spur von Phosphor.

Als Fettstoff benutzte ich gereinigtes Schweineschmalz; das Präparat enthielt nur eine schwache Spur von Phosphor.

Als Salzzusatz wurde eine Mischung von Kalium-, Natrium-

¹⁾ l. c.

und Calciumchlorid, Natriumbicarbonat, Magnesiumoxyd, Ferrosulfat und als Phosphorquelle Dinatriumphosphat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$) verwendet.

Ferner wurde der Futtermischung in allen Fällen Cellulose, wie von Henriques und Hansen¹⁾ empfohlen, zugesetzt. Dadurch werden unverdauliche Substanzen, die sonst unter diesen leicht zu resorbierenden Stoffen gänzlich fehlen würden, zugeführt, welche die Darmarbeit steigern, so daß Obstipation vermieden wird, und die Faeces eine feste Konsistenz bekommen. Durchfall wurde nur ganz ausnahmsweise beobachtet. Die Cellulose wurde aus feinen Sägespänen, welche durch heiße verdünnte Schwefelsäure, Natronlauge, Alkohol und Äther gründlich extrahiert wurden und nur Spuren von Phosphor enthielten, hergestellt. Die aus den genannten Substanzen (Edestin, Zucker, Fett, Cellulose und Salzen) hergestellten Futtermischungen enthielten also nur äußerst geringe Phosphormengen in organischer Bindung. Jedes einzelne neue Präparat wurde folgenderweise analysiert: Nach Destruktion (mit Anwendung von nur 5 ccm konzentrierter Schwefelsäure und übrigens konzentrierter Salpetersäure) wurden 20 g Ammonnitrat, 1 g Ammonmolybdat und Wasser bis zu ca. 50 ccm zugesetzt, und die Flüssigkeit 15—30 Minuten lang gekocht.

Bei Analyse von 5 g der angewendeten Edestin-, Zucker-, Fett- und Cellulosepräparate in demselben Verhältnisse wie in der Futtermischung erhielt man eine ausgesprochen schwächere Phosphorreaktion als die unter ganz gleichen Fällungsbedingungen bei 0,1 mg P (aus einer Phosphatlösung abgemessen) erhaltene. Der Gehalt an Phosphor in organischer Bindung kann demnach, was ein solches Edestinfutter betrifft, als ganz unwesentlich bezeichnet werden.

Versuche mit einer den Phosphor in ausschließlich anorganischer Bindung enthaltenden Nahrung.

Was ich durch diese Versuche zuerst zu untersuchen beabsichtigte, war die Frage, ob überhaupt Tiere dazu gebracht

¹⁾ l. c.

werden können, daß sie bei Ernährung mit einem den Phosphor in organischer Bindung nicht enthaltenden Futter größere Phosphormengen ablagern. Da der Organismus während der jugendlichen Periode überhaupt am stärksten zur Ablagerung geneigt ist, habe ich bei der ersten Versuchsreihe geprüft, wie die Phosphorbilanz sich stellen wird, wenn im Wachstum begriffenen Tieren eine so reichliche Menge von Edestin, Zucker, Fett und Salzen zugeführt wird, daß dadurch Gewichtsvergrößerung und Stickstoffablagerung erreicht werden.

Bei den Versuchen, welche in der Tabelle I (S. 87 u. 88) mit den Nr. 1—8 bezeichnet sind, habe ich junge Ratten im Alter von $1\frac{1}{2}$ —3 Monaten angewandt. Vor dem Versuch waren sie mit Weizenbrot gefüttert worden (*ad libitum*). Nachmittags, am Tage vor dem Beginn des Versuches wurde das Tier in den Versuchskäfig gebracht und erhielt von nun an bis zum nächsten Vormittag um 9 Uhr kein Futter (nur Wasser). Um 9 Uhr vormittags wurde das Tierchen gewogen, und der Versuch begann. Die angewendete Futtermischung blieb während des Versuches stets gleich und war von folgender Zusammensetzung: 15% Edestin, 30% Zucker, 42% Fett, 5% Cellulose, 8% Salze (wovon die Hälfte Natriumphosphat: der Stickstoffgehalt war 2,57—2,62% N, der Phosphorgehalt zwischen 0,351 und 0,354% P).

Von diesem Futter erhielten die Tiere so reichliche Mengen, daß im Käfig stets etwas Futter übrig blieb. Wie bei sämtlichen Versuchen erhielten sie zum Trinken destilliertes Wasser *ad libitum*.

Was die Versuchsanordnung betrifft, muß noch erwähnt werden, daß der Versuch (wie überhaupt sämtliche in dieser Arbeit angeführte Versuche) in Perioden von einem oder mehreren Tagen eingeteilt wurde. Die während jeder einzelnen Periode im ganzen ausgeschiedene Harn- und Faecesmenge wurde für sich gesammelt und untersucht, so wie auch die während jeder Periode eingenommene Futtermenge bestimmt wurde.

Bei zahlreichen früheren Versuchen (Lunin,¹⁾ Socin,²⁾

¹⁾ Inaug.-Dissert. Dorpat 1880.

²⁾ Diese Zeitschrift, Bd. XV, S. 93.

Hall,¹⁾ Steinitz,²⁾ Leipziger,³⁾ Zadik,⁴⁾ Ehrlich,⁵⁾ Jacob,⁶⁾ Falta und Nöggerath,⁷⁾ Knapp⁸⁾) hat es sich als unmöglich erwiesen, während einer unbegrenzten Zeit Tiere durch ein künstliches Futter zu ernähren, d. h. ein Futter, welches als Stickstoffquelle nur reine Albuminstoffe und andere reine stickstoffhaltige Verbindungen enthält. Nach Verlauf kürzerer oder längerer Zeit fressen die Tiere immer weniger von dem Futter, so daß das Gewicht derselben (bei den vorgenommenen Versuchen spätestens nach 4—5 Wochen) unter das Anfangsgewicht heruntersinkt.

Wie man erwarten könnte, nehmen auch bei diesen Versuchen die von den Tieren täglich eingenommenen Futtermengen mit dem Fortschreiten des Versuches nach und nach ab. (Zusatz von kleinen Mengen verschiedener Geschmacksstoffe wurde versucht, jedoch ohne günstiges Resultat, und wurde deswegen nicht weiter fortgesetzt.) Es gelang höchstens 20—24 Tage hindurch, die Tiere zu so reichlicher Nahrungsaufnahme zu bewegen, daß eine fortdauernde positive Stickstoffbilanz zustande kam.

Bei sämtlichen Versuchen, wo eine Ablagerung von Stickstoff erreicht wurde, ist gleichzeitig auch Phosphor abgelagert worden. Die bei jedem Versuch im ganzen abgelagerten Stickstoff- und Phosphormengen sind im Verhältnis zur Größe der Tiere sehr bedeutend. Berechnet man, einen wie großen Bruchteil (in Promille ausgedrückt) die abgelagerten Stickstoff- und Phosphormengen bei jedem der Versuche 1—8 von dem Gewicht des Tieres beim Anfang des Versuches ausmachen, erhält man folgende Zahlen:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Bez. des Stickstoffes:	5,6	6,4	5,4	6,9	4,9	4,0	2,0	7,7 ^{0/100} .
Bez. des Phosphors:	0,94	1,3	1,0	1,1	0,9	0,8	0,45	1,4 ^{0/100} .

¹⁾ Archiv f. Anat. u. Physiol. (physiol. Abt.) 1896, S. 142.

²⁾ Inaug.-Dissert. Breslau 1900.

³⁾ l. c.

⁴⁾ l. c.

⁵⁾ l. c.

⁶⁾ Inaug.-Diss. München 1906.

⁷⁾ Hofmeisters Beiträge, Bd. VII, S. 313.

⁸⁾ Zeitschr. f. experim. Pathol. u. Therap., Bd. V, S. 147.

Schätzt man den Gesamtstickstoffgehalt der Tiere zu ca. 2,5% des Körpergewichtes, haben demnach mehrere der Tiere ihre Gesamtstickstoffmenge um über 25% vermehrt.

Auch die abgelagerten Phosphormengen werden einen bedeutenden Anteil des Gesamtphosphorgehaltes des Körpers beim Anfang des Versuches ausmachen.

Mit der Stickstoff- und Phosphorablagerung übereinstimmend hat auch eine bedeutende Gewichtszunahme bei den Versuchen stattgefunden, und die Größezunahme ließ sich mit dem bloßen Auge wahrnehmen: es läßt sich demnach nicht bezweifeln, daß während der Versuche eine bedeutende Vermehrung der Gewebe, speziell der Muskulatur, der Tiere stattgefunden hat.

Wenn man annimmt, daß der Organismus zum Aufbau organischer Phosphorverbindungen aus phosphorfreien organischen Stoffen und Phospaten nicht fähig ist, so müssen die bei diesen Versuchen konstatierten großen Stickstoff- und Phosphorablagerungen von einer Ablagerung phosphorfreier Stickstoffverbindungen und Phosphate herrühren, die von solcher Größe gewesen ist, daß der durch den Zerfall organischer Phosphorverbindungen herbeigeführte Verlust des Organismus an Stickstoff und Phosphor dadurch gedeckt und eine bedeutende positive Stickstoff- und Phosphorbilanz erreicht worden ist.

Was das Verhältnis zwischen den Mengen von organischem und anorganischem Phosphor in dem Organismus betrifft, wissen wir, daß der Phosphor in den Knochen in weit überwiegenderem Maße als Phosphat vorhanden ist. In den Muskeln findet man nach Katz,¹⁾ auf frische Substanz berechnet: ca. 2% P, wovon $\frac{2}{3}$ — $\frac{3}{4}$ in anorganischer Form vorhanden ist. Die letztgenannten Phosphormengen sind durch Extraktion der Muskelsubstanz mit kochendem Wasser, Eindampfen und Veraschen des Filtrates gefunden worden. Die gefundenen Werte der anorganischen Phosphormengen sind höchstwahrscheinlich zu groß, da durch Extraktion mit kochendem Wasser eine Spaltung der organischen Phosphorverbindungen eintreten

¹⁾ Pflügers Arch., Bd. LXIII, S. 1.

kann (was übrigens Katz selbst bemerkt hat) und ferner organische, in Wasser lösliche Phosphorverbindungen (Glycerinphosphorsäure usw.) mitgerechnet werden.

Muß man demnach von vorneherein jedenfalls annehmen, daß die während des Wachstums stattfindende Phosphorablagerung stets in überwiegendem Maße auf Phosphatablagerung zurückzuführen ist, erscheint es immerhin als höchst unwahrscheinlich, daß der Organismus bis zum zwanzigsten Versuchstag seinen Stickstoffgehalt und dabei also seine stickstoffhaltigen Gewebebestandteile um über 25% vermehren könne, während der Gehalt der Gewebe an organischen Phosphorverbindungen in stetiger Abnahme begriffen ist, trotzdem diese Verbindungen die Hauptbestandteile (die Nucleine) des Zellkerns ausmachen.¹⁾

Meines Erachtens lassen sich demnach die Resultate meiner Versuche kaum in anderer Weise deuten, als durch die Annahme, daß in dem Organismus ein Aufbau organischer Phosphorverbindungen aus phosphorfreien organischen Verbindungen und Phosphaten möglich ist.

Eine ständig auftretende Schwierigkeit, wenn wir bei einem gegebenen Stoffwechselversuch die Entscheidung treffen müssen, ob eine Synthese organischer Phosphorverbindungen stattgefunden hat, ist die, daß durch Phosphatablagerung während des Versuches ein gleichzeitiger Phosphorverlust, von dem Zerfall organischer Phosphorverbindungen herrührend, möglicherweise gedeckt worden ist, so daß wir, selbst wenn während einer gegebenen Periode Phosphorgleichgewicht oder Phosphorab-

¹⁾ A. Lipschütz hat unlängst angegeben (Arch. f. experim. Path. u. Pharm., Bd. LXII, S. 210), daß er bei jungen Hunden durch Ernährung mit phosphorarmer Nahrung eine bedeutende Gewichtszunahme (ca. 100%, während 7 Wochen) bei gleichzeitiger sehr geringer Phosphorablagerung gefunden hat. Da aber während der 49 Tage nur während zweier Perioden von resp. 3 und 6 Tagen Bilanzuntersuchungen vorgenommen wurden, und da die Tiere während dieser Perioden weniger Futter einnahmen und weniger an Gewicht als sonst während des Versuches zunahmen, läßt sich bezüglich der Phosphorablagerung während des ganzen Versuches kein sicherer Schluß ziehen.

lagerung vorhanden war, nicht unbedingt schließen dürfen, daß der Organismus seinen Gehalt an organischen Phosphorverbindungen aufrechterhalten oder vermehrt hat.

Da bei im Wachstum begriffenen Tieren, wegen der Zunahme des Knochengerüsts, einer Phosphatablagerung besonders günstige Bedingungen gegeben sind, habe ich die vorgenommenen Versuche mit einer Untersuchungsreihe, bei welcher ausgewachsene Tiere verwendet wurden, ergänzt. Es muß aber daran erinnert werden, daß man bei solchen Versuchen keine besonders großen Ablagerungen erwarten darf. Nach einer Inanitionsperiode sind für die Ablagerung günstige Bedingungen vorhanden: weil aber der Organismus während der Inanition eventuell der Knochen und Muskeln Phosphatverluste vertragen muß, wird vielleicht aus diesem Grunde eine besondere Neigung zur Phosphatablagerung (Knochenablagerung) nach einer solchen Periode eintreten können.

In der Tabelle II, Versuch 9—22 (S. 89, 90 u 91), ist eine Versuchsreihe angeführt worden, bei welcher die Tiere zuerst während einiger Tage mit einer albuminfreien Nahrung, aus 45% Rohrzucker, 42% Fett, 5% Cellulose und 8% Salze (worunter Natriumphosphat) bestehend, ernährt wurden, dann während einer neuen Periode durch ein Futter von ganz ähnlicher Zusammensetzung, nur mit dem Unterschied, daß hier eine gewisse Zuckermenge (15%) durch die entsprechende Gewichtsmenge Edestin ersetzt war; der Phosphor war also hier in ausschließlich anorganischer Bindung vorhanden. Die von den Tieren während der verschiedenen Perioden täglich aufgenommenen Mengen waren, so weit es möglich war, von gleicher Größe und so gewählt, daß während der Edestinperiode eine Stickstoffablagerung stattfinden mußte. Diese Versuche werden also nicht allein darüber Aufklärung geben, ob unter den gegebenen Bedingungen eine Phosphorablagerung möglich ist, sondern gleichzeitig die Frage beleuchten, welchen Einfluß die Zufuhr von Albuminstoff auf die Phosphorbilanz ausüben kann, indem der einzige Unterschied bezüglich der Nahrungszufuhr während der verschiedenen Perioden in dem Ersatz des Zuckers durch die gleiche Gewichtsmenge Edestin besteht.

Bei den Versuchen 19—22 wurden — um die EBlust zu steigern — 3% Liebigscher Fleischextrakt dem übrigens stickstofffreien Futter, womit die Tiere während der 1. Periode (2 Tage) ernährt wurden, zugesetzt. Während der darauffolgenden Tage erhalten sie täglich die gleiche Gewichtsmenge des Edestinfutters in gewöhnlicher Weise zusammengesetzt (ohne Fleischextrakt). Während der 1. Periode wird also bei diesen vier Versuchen (mit Fleischextrakt) etwas Stickstoff zugeführt und die Phosphorzufuhr ist p. d. bedeutend größer als während der nachfolgenden Edestinperiode.

Sämtliche Versuche (9—22) geben übereinstimmend folgende Resultate: Werden die Tiere mit stickstofffreiem, phosphathaltigem Futter ernährt, verlieren sie stets sowohl Stickstoff als Phosphor, selbst wenn die zugeführten Kalorien- und Phosphatmengen weit reichlicher bemessen werden als diejenigen Mengen, welche, durch ein Edestinfutter zugeführt (Versuch 11, 14, 15, 18), die Tiere in positiver Stickstoff- und Phosphorbilanz zu erhalten vermögen.

Werden die Tiere alsdann mit Edestinfutter in solcher Menge, daß sie dadurch Stickstoff ablagern können, ernährt, so lagern sie gleichzeitig Phosphor ab, obwohl die während der Edestinperiode zugeführten Kalorien- und Phosphormengen bei den Versuchen 9, 10, 12, 14 und 16 von gleicher Größe, bei den Versuchen 11, 13, 14, 15, 17, 18 sogar bedeutend kleiner sind als während derjenigen Perioden, wo albuminfreie Nahrung zugeführt wird.

Bei dieser ganzen Versuchsreihe (9—22) hat es sich also ergeben, daß der Organismus bei Ernährung mit einem organischen Phosphor nicht enthaltenden Edestinfutter neben Stickstoff auch Phosphor abzulagern vermag, und zwar unter Verhältnissen, wo die gleiche oder vielmehr eine größere Kalorien- und Phosphatmenge, durch ein albuminfreies Futter zugeführt, einen bedeutenden Verlust sowohl an Stickstoff als an Phosphor hervorruft. Wie erklärt es sich nun, daß die Tiere bei diesen Versuchen bei Ernährung mit Edestinfutter Phosphor abgelagert haben? oder — was damit zusammenfallen muß — wie soll man sich erklären, daß die Zufuhr eines phosphor-

freien Albuminstoffes, ohne gleichzeitige Veränderung der anderen Bestandteile der Nahrung, einen so durchgreifenden Einfluß auf die Phosphorbilanz des Organismus ausüben kann.

Wenn die Fähigkeit des Aufbaus organischer Phosphorverbindungen aus phosphorfreien organischen Stoffen und Phosphaten dem Organismus abgesprochen wird, muß man annehmen, daß der Organismus während der Edestinfutterperiode immerfort durch Zerfall organischer Phosphorverbindungen Phosphor verloren hat. Die positive Phosphorbilanz der Edestinperiode wäre dann auf eine noch größere Ablagerung des Phosphors als Phosphat zurückzuführen.

Es läßt sich kaum denken, daß eine solche Phosphatablagerung schon bei der Stickstoffinanition stattgefunden habe, da während dieser Periode ein Zerfall der Gewebe vor sich geht [aus späteren Versuchen (Tabelle V, S. 96) wird hervorgehen, daß eine Phosphatablagerung bei Stickstoffinanition überhaupt sehr unwahrscheinlich ist].

Es wäre demnach anzunehmen, daß die Phosphatablagerung erst während der Edestinperiode eingesetzt hat, indem in den Geweben — welche infolge der vorhergehenden Inanition, außer Albuminstoffen und organischen Phosphorverbindungen, zugleich Phosphate verloren haben — neben stickstoffhaltigen Verbindungen auch Phosphate abgelagert würden, und zwar in so großen Mengen, daß trotz eines fortwährenden Verlustes an organischen Phosphorverbindungen dennoch eine positive Phosphorbilanz erfolgte.

Ich stellte nun einige Versuche an, wo die Ernährung mit Edestinfutter unter solchen Verhältnissen geschah, daß eine möglichst geringe Neigung zur Phosphatablagerung angenommen werden mußte, dadurch nämlich, daß die Tiere vorher während einiger Zeit in annäherndem Stickstoff- und Phosphorgleichgewicht bei einer sowohl organische Phosphorverbindungen als Phosphate enthaltenden Nahrung gehalten wurden. Als eine derartige Nahrung wurde ein Gemisch von 20 Teilen Fleischpulver, 25 Teilen Zucker, 44,5 Teilen Schweineschmalz, 5 Teilen Cellulose, 2 Teilen Natriumphosphat und 3,5 Teilen eines Salzgemisches verwendet. Das Fleischpulver wurde aus

Ochsenfleisch durch Feinteilung und schnelles Trocknen hergestellt.

100 Teile Fleischpulver enthielten: 5,1 Teile Wasser, 11,5 Teile ätherlösliche Stoffe, 12,7 Teile Stickstoff und 0,76 Teile Phosphor. 100 g Fleischpulver können demnach bezüglich des Kalorien-, Stickstoff- und Phosphorgehaltes beinahe gleich 74,7 g Edestin (17% N enthaltend), 11,5 g Fett und 8,78 g Natriumphosphat angenommen werden.

Das angewandte Edestinfutter wurde dann aus 14,93 Teilen Edestin, 25 Teilen Zucker, 46,8 Teilen Fett, 5 Teilen Cellulose, 3,76 Teilen Natriumphosphat und 3,5 Teilen desselben Salzgemisches wie oben zusammengesetzt, im ganzen 99 Teile, welche also bezüglich des Kalorien-, Stickstoff- und Phosphorgehaltes beinahe 100 Teilen des Fleischfutters gleichkommen.

Die Versuchsanordnung war nun folgende: Nachdem die Tiere eine Zeitlang (10—14 Tage) mit einer täglichen, konstanten Menge des Fleischfutters ernährt worden waren, erhielten sie während der nachfolgenden Periode eine entsprechende Menge des Edestinfutters, und dann bei einigen Versuchen wieder wie anfangs eine Zeitlang Fleischfutter.

Es sind im ganzen 6 Versuche (in der Tabelle III (S. 92 u. 93) als Versuch 23—28 angeführt) vorgenommen, bei welchen die Stickstoff- und Phosphorbilanz teils bei Fleischfutter, teils bei Edestinfutter untersucht wurde. Die Tiere wurden jedesmal vorerst während einer längeren Periode (von dem Tage der zuerst angeführten Wägung an gerechnet) mit Fleischfutter ernährt; nur während der letzten 6—10 Tage wurde die Stickstoff- und Phosphorbilanz untersucht. Beim Vergleich der Stickstoff- und Phosphorbilanz bei Ernährung mit Fleischfutter bzw. Edestinfutter in solchen Fällen, wo diese Perioden unmittelbar aufeinander folgten, sehen wir, daß bei vier von den sechs Versuchen (Nr. 24, 25, 26 und 27) die Phosphorbilanz p. d. der Fleischperiode mit der der Edestinperiode übereinstimmt (der Unterschied p. d. beträgt 0,6 mg P oder noch weniger). Die Stickstoffbilanz verhält sich bei den verschiedenen Versuchen etwas wechselnd, ist aber während der Fleischperioden durchweg nicht günstiger als während der Edestinperioden. Bei 2 Ver-

suchen stellt sich die Phosphorbilanz der Fleischperiode etwas günstiger als die der Edestinperiode; der Unterschied ist jedoch nicht groß: bei Versuch 23 1,5 mg P, bei Versuch 28 2,2 mg P. p. d.

Während der Fleischperioden bei den Versuchen 23—28 sind also die Tiere bei Ernährung mit einem sowohl Phosphat als organische Phosphorverbindungen enthaltenden Futter beinahe im Phosphorgleichgewicht gewesen oder haben nur eine geringe Phosphormenge abgelagert, wonach wir annehmen dürfen, daß die Tiere während dieser Zeit ihren Gehalt an sowohl organischen wie anorganischen Phosphorverbindungen beinahe aufrechterhalten konnten. Obschon die Nahrung dann während der Edestinperiode in ein Phosphor in organischer Bindung nicht enthaltendes Futter umgewandelt wird, vermögen die Tiere sich doch fortwährend im Phosphorgleichgewicht zu erhalten oder Phosphor abzulagern, wenn auch in kleinerem Maße als während der Fleischperiode, und zwar ohne Vermehrung der zugeführten Stickstoff-, Kalorien- oder Phosphormengen.

Wäre nun eine Synthese organischer Phosphorverbindungen nicht möglich, dann müßten die Tiere bei Ernährung mit Edestinfutter einen Verlust an Phosphor erleiden, welcher während der Fleischperiode nicht stattfand. Der Umstand, daß trotzdem während der Edestinperiode eine positive Phosphorbilanz von ähnlicher Größe wie die der Fleischperiode vorhanden ist, läßt sich nur in zweierlei Weise erklären. Entweder muß man annehmen, daß während der Edestinperiode eine während der Fleischperiode nicht stattgefundene Phosphatablagerung erfolgte — eine durchaus unwahrscheinliche Annahme. Oder man muß annehmen, daß der Zerfall der organischen Phosphorverbindungen während der Edestinperioden ein derartig minimaler gewesen ist, daß eine Einwirkung auf die Phosphorbilanz nicht deutlich hat nachgewiesen werden können. Diese letztere Annahme muß näher erörtert werden.

Während einer Inanitionsperiode zerfallen wahrscheinlich die organischen Phosphorverbindungen in einen ähnlichen Verhältnis wie die übrigen stickstoffhaltigen Verbindungen der

Gewebe. So ergaben Untersuchungen über den Gehalt der Muskulatur an Phosphatiden [Rubow¹⁾] einen kleineren prozentischen Gehalt an diesen Stoffen nach Inanition als unter normalen Verhältnissen, und aus der Purinausscheidung während der Inanition geht hervor, daß zweifellos bedeutende Mengen von Nucleinstoffen während der Inanition zerfallen. Daß der Umsatz organischer Phosphorverbindungen durch Zufuhr einer organische Phosphorverbindungen nicht enthaltenden Nahrung (Edestinfutter) in wesentlichem Maße vermindert werden sollte, ist eine unbegründete Annahme. Die über die Ausscheidung der Purinbasen bei purinfreier Nahrung gewonnenen Erfahrungen sprechen vielmehr in entgegengesetzter Richtung, indem es sich ergeben hat [Cathcart²⁾], daß bei purinfreier Nahrung mehr Purinbasen als bei Inanition ausgeschieden werden.

Es hat sich ferner bei von mir vorgenommenen Versuchen, welche später erwähnt werden sollen (Tabelle VI), ergeben, daß, wenn Ratten durch ein Edestinfutter von gleicher Zusammensetzung wie das in den Tabellen I—III angewandte, aber doch ohne Phosphor, im Stickstoffgleichgewicht erhalten werden, eine Ausscheidung nicht unbedeutender Phosphormengen lange Zeit hindurch stattfindet. Im Gegensatz hierzu wissen wir, daß die Chlorausscheidung auf Spuren reduziert wird, wenn der Organismus eine kurze Zeit durch chlorfreie Nahrung ernährt wird. Dementsprechend dürfte man wohl annehmen, daß der Organismus — durch phosphorfreie Nahrung im Stickstoffgleichgewicht erhalten — nur unbedeutende Phosphatmengen verlieren würde, es sei denn, daß ein Zerfall organischer Phosphorverbindungen gleichzeitig einträte. Ferner muß daran erinnert werden, daß — die Möglichkeit einer Synthese vorausgesetzt — nur ein Teil des durch Zerfall organischer Phosphorverbindungen freigewordenen Phosphors ausgeschieden werden wird, nachdem ein Teil desselben, wie schon Forster³⁾ sich es gedacht hat, zum Aufbau neuer phosphorhaltiger Stoffe verwendet werden kann: es erscheint

¹⁾ Archiv f. experim. Pathol. u. Pharmak., Bd. LII. S. 173.

²⁾ l. c.

³⁾ l. c.

demnach die Annahme nicht unbegründet, daß es die Phosphorbilanz während der Edestinperioden in nachweisbarem Maße beeinflussen würde, wenn ein Aufbau organischer Phosphorverbindungen unmöglich wäre.

Die Annahme wird also berechtigt sein, daß ein Aufbau organischer Phosphorverbindungen durch phosphorfremde organische Stoffe und Phosphate in dem Organismus stattfinden kann.

Weil aber eine Synthese organischer Phosphorverbindungen möglich ist, folgt doch daraus noch nicht, daß eine gewisse Stickstoff- und Phosphormenge, als phosphorreiches Albumin und Phosphat durch die Nahrung zugeführt, dieselbe Phosphorbilanz bedingen braucht, wie die gleichen Mengen, in der Form von organischen Phosphorverbindungen zugeführt, wie ja auch zwei verschiedene Albuminstoffe, welche jeder für sich den Organismus im Stickstoffgleichgewicht erhalten können, ebenso wenig dieselbe Stickstoffbilanz zu bedingen brauchen, wenn sie in gleich großen Mengen zugeführt werden.

Wenn Zadik und Ehrlich aus dem Umstande, daß sie bei ihren Versuchen während der Caseinperiode eine positive, während der Edestinperiode dagegen eine negative Phosphorbilanz feststellten, den Schluß zogen, daß bei Edestinfütterung (ohne organische Phosphorverbindungen) eine positive Phosphorbilanz überhaupt nicht möglich sei, so ist dieses also (wie oben S. 63 erwähnt) als eine unrichtige Deutung ihrer Versuchsergebnisse zu bezeichnen.

Bei den in der Tabelle III angeführten Versuchen hat es sich herausgestellt, daß die Phosphorbilanz bei Ernährung durch Fleischfutter und mit Edestinfutter beinahe gleich war. Es wäre demnach von Interesse, zu untersuchen, ob es nicht möglich wäre, bei Ernährung mit einem organische Phosphorverbindungen nicht enthaltenden Futter (Edestinfutter) eine günstigere Phosphorbilanz als bei Ernährung mit einem solche Verbindungen enthaltenden Futter (Fleischfutter) zu erreichen, z. B. dadurch, daß dem Edestinfutter eine größere Kalorienmenge beigelegt würde, während die Stickstoff-, Phosphor- und Aschenbestandteile unverändert blieben.

Diese Möglichkeit wurde in den Versuchen 29, 30 und 31 (Tabelle IV S. 94) untersucht.

Bei diesen Versuchen wurden die Ratten vorerst 12 Tage (die Stickstoff- und Phosphorbilanz wurde nur während der 6 letzten Tage untersucht) mit einer täglichen, konstanten Menge eines Futters gefüttert, welches aus 25 Teilen Fleischpulver, 25 Teilen Zucker, 40 Teilen Fett, 5 Teilen Cellulose, 2 Teilen Natriumphosphat, 3 Teilen Salze zusammengesetzt war. Dann erhielten sie 3—4 Tage täglich dieselbe Gewichtsmenge eines Edestinfutters, welches anstatt Fleischpulver so viel Edestin und Natriumphosphat enthielt, daß der prozentige Gehalt an Stickstoff und Phosphor dem des Fleischfutters gleich wurde, während das Futter übrigens vollkommen wie das letztere zusammengesetzt war. — und ferner täglich 1—3 g Fett. Während einer nachfolgenden Periode bekamen die Tiere wieder dasselbe Futter wie während der Fleischperiode. Es wurden also während der ganzen Dauer des Versuches die gleichen Stickstoff- und Phosphormengen zugeführt: nur erhielten die Tiere während der Edestinperiode täglich eine größere Fettmenge als während der Fleischperiode.

Sowohl die Phosphor- als die Stickstoffbilanz erwies sich bei allen drei Versuchen günstiger während der Edestinperiode als während der Fleischperiode. Es geht demnach aus diesen Versuchen hervor, daß die Stickstoff- und Phosphorbilanz, selbst wenn die zugeführten Stickstoff- und Phosphormengen gleich bleiben, sich bei Ernährung mit einem organische Phosphorverbindungen nicht enthaltenden Futter (Edestinfutter) günstiger verhalten können, als bei Ernährung durch ein organische Phosphorverbindungen enthaltendes Futter (Fleischfutter), wenn nur mit dem Edestinfutter eine größere Kalorienmenge zugeführt wird.

Aus den Versuchen, wo die Phosphorbilanzen bei Ernährung mit einem stickstofffreien und einem albuminhaltigen Futter einer vergleichenden Untersuchung unterzogen wurden, ging hervor, daß der Gehalt der Nahrung an Albumin einen ganz durchgreifenden Einfluß auf die Phosphorbilanz ausübt. Bei Zufuhr selbst der reichlichsten Mengen stickstofffreier phos-

phathaltiger Nahrung verlor der Organismus stets Phosphor. Wenn dagegen Albumin weiter zugeführt wurde, dann war es dem Organismus möglich, sich im Phosphorgleichgewicht zu erhalten oder Phosphor abzulagern.

Der durch Inanition hervorgerufene Phosphorverlust, welcher zweifelsohne teils vom Zerfall organischer Phosphorverbindungen, teils von Phosphatverlust der Gewebe herrührt, kann also durch passende Zufuhr von phosphorfriem Albumin und Phosphaten vollkommen gedeckt werden; er kann ferner durch Zufuhr von Fett und Kohlenhydraten vermindert werden. Es wäre von Interesse, zu untersuchen, welchen Einfluß eine Zufuhr von Phosphaten ohne gleichzeitige Zufuhr stickstoffhaltiger Stoffe ausüben wird und ob vielleicht hierdurch der Phosphorverlust des Organismus zum Teil gedeckt werden kann.

Zur Untersuchung dieser Frage habe ich einige Versuche vorgenommen (in der Tabelle V S. 96 als Versuch Nr. 35—38 aufgeführt), wo Ratten während wechselnder Perioden entweder mit einer gewissen Menge einer stickstofffreien Nahrung ohne Phosphatgehalt oder mit der gleichen Menge der stickstofffreien Nahrung plus zugesetztem Natriumphosphat gefüttert wurden, so daß der einzige Unterschied bezüglich der Nahrungszufuhr p. d. der verschiedenen Perioden also darin bestand, daß während einiger Perioden Phosphat zugeführt wurde, während anderer nicht.

Bei fortgesetzter Ernährung mit einer konstanten Menge eines stickstoff- und phosphorfriem Futters trat, wie es die Versuche Nr. 32 und 33 zeigen, eine Abnahme sowohl der Stickstoff- wie der Phosphorausscheidung ein, und zwar beinahe in gleichem Verhältnisse während der ganzen Dauer des Versuches. Ähnliches war beim Versuch 34 das Resultat, wo das Tier 15 Tage lang täglich die gleiche Menge eines stickstofffreien, phosphathaltigen Futters erhielt, wiewohl hier die Abnahme von der 1. bis zu der 2. Versuchsperiode etwas größer war und von einem Steigen während der nächstfolgenden Periode begleitet wurde, um dann wieder während der folgenden Periode abzunehmen.

Die Versuche 35, 36, 37 und 38 bestehen aus je

4 Versuchsperioden, wo die Nahrung abwechselnd phosphorfrei (aus einem Gemisch von 50 Teilen Zucker, 42 Teilen Fett, 5 Teilen Cellulose und 3 Teilen Salze bestehend) oder phosphathaltig (das obige Gemisch + weitere 3 Teile Natriumphosphat) war. Der Harn und die Faeces des ersten Tages jeder Periode blieben unberücksichtigt, wogegen sie für die letzten 3 Tage jeder Periode untersucht wurden. Wie aus der Tabelle näher ersichtlich, erhielten die Tiere bei den Versuchen 35 und 36 während der 1. Periode phosphathaltiges, während der 2. phosphatfreies Futter usw., bei den Versuchen 37 und 38 dagegen zuerst phosphorfreies, dann phosphathaltiges Futter usw.

Wenn nun die Phosphatzufuhr bloß einigermaßen den Phosphorverlust, welcher dem Organismus durch Stickstoffinanition zugefügt wird, vermindern kann, muß die negative Phosphorbilanz p. d. während der verschiedenen Perioden der Versuche 35 und 36 und derjenigen der Versuche 37 und 38 verschieden ausfallen. Dies ist indessen nicht der Fall.

Von der 1. bis zur 2. Periode vermindert sich der Phosphorverlust bei allen vier Versuchen um ca. 40%, obgleich die Tiere bei den beiden ersten Versuchen von phosphatreicher zu phosphatfreier Nahrung übergehen, bei den beiden letzten umgekehrt.

Bei Versuch 35, 36 und 37 ist der Phosphorverlust der 2. und 3. Periode gleich und sinkt in beinahe übereinstimmendem Verhältnisse von der 3. bis zur 4. Periode aller drei Versuche.

Bei Versuch 38 ist die Verminderung des Phosphorverlustes von der 2. bis zur 3. Periode etwas geringer als von der 3. bis zur 4. Periode.

Die relative Verminderung des täglichen Phosphorverlustes der Tiere, welche von Periode zu Periode bemerkt wird, ist also bei allen vier Versuchen sehr übereinstimmend und durch die Phosphatzufuhr nicht beeinflußt.

Die Versuchstiere der Versuche 35 und 37 sind beinahe von gleichem Gewicht und erhalten täglich die gleiche Futtermenge; dies gilt ebenfalls von den Tieren der Versuche 36 und 38.

Werden nun die Phosphorverluste der gleich großen Tiere während der 1., der 2. Periode usw. mit einander verglichen, dann sieht man, daß diese Verluste übereinstimmen und folglich dadurch nicht beeinflußt wurden, daß das eine Tier während einer gegebenen Periode phosphathaltige Nahrung bekommen hat, das andere nichtphosphathaltige Nahrung.

Die Versuchstiere der Versuche 33 und 34 sind beinahe von gleichem Anfangsgewicht und erhalten während der gleichen Anzahl Tage (15 Tage) die gleiche Gewichtsmenge eines phosphathaltigen bzw. eines phosphorfreien Futters von übrigens gleicher Zusammensetzung. Das eine Tier verliert im ganzen während der 15 Tage 1125 mg N und 109,8 mg P, das andere 1074 mg N und 108,3 mg P, also beinahe die gleiche Phosphormenge.

Auch die abgegebenen Stickstoffmengen sind, wie es scheint, in sämtlichen Versuchen durch die Phosphatzufuhr unbeeinflußt. Das Verhältnis zwischen den während der verschiedenen Versuche von den Tieren verlorenen Stickstoff- und Phosphormengen schwankt innerhalb ziemlich enger Grenzen und wird dadurch nicht merkbar beeinflußt, ob Phosphat zugeführt wird oder nicht.

Aus den obigen Versuchen geht also hervor, daß der durch Stickstoffinanition hervorgerufene Phosphorverlust nicht in nennenswertem Grade dadurch beeinflußt wird, ob mit der Nahrung Phosphat zugeführt wird oder nicht. Phosphate in der Nahrung scheinen für die Phosphorbilanz keine Bedeutung zu haben, wenn nicht gleichzeitig stickstoffhaltige Stoffe zugeführt werden.

Wenn außer phosphorfreien, stickstofffreien Stoffen auch phosphorfreie Albuminstoffe zugeführt werden, muß ein Zerfall organischer Phosphorverbindungen eintreten, wodurch Phosphorsäure frei wird. Wenn man nun die Möglichkeit einer Synthese organischer Phosphorverbindungen im Organismus annehmen muß, ist es nicht unwahrscheinlich, daß die freigewordene Phosphorsäure zum Aufbau organischer Phosphorverbindungen mittels zugeführter phosphorfreier Verbindungen teilweise Wiederverwendung finden könnte.

Die Kleinste Menge des zum Aufrechterhalten des Phosphorgleichgewichtes des Organismus unter bestimmten Verhältnissen erforderlichen Phosphors muß dem Angeführten nach davon abhängig sein, in welchem Umfange die in dem Organismus freiwerdende Phosphorsäure Wiederverwendung finden kann. Wir werden bezüglich dieser Frage Aufklärung erhalten können, indem wir die Größe der Phosphorausscheidung, wenn der Organismus mittels phosphorfreier Nahrung im Stickstoffgleichgewicht erhalten wird, untersuchen.

Versuche dieser Art sind — meines Wissens — früher nur von Gevaerts¹⁾ vorgenommen. Derselbe untersuchte die Phosphorausscheidung bei Ratten, welche mit einem Gemisch von Edestin und Zucker ernährt wurden. Seine Untersuchung der Faeces war, wie ich dies näher nachweisen werde, unvollkommen, und er hat bei seinen Versuchstieren die Stickstoffbilanz nicht untersucht, weswegen wir nicht beurteilen können, ob die Tiere sich durch die dargereichte Nahrung im Stickstoffgleichgewicht erhalten konnten. Neue Versuche zur Beurteilung dieser Frage sind daher geboten.

Ich habe einige solche Versuche vorgenommen, bei welchen die Ratten durch ein phosphorfrees Edestinfutter, aus 15% Edestin, 35% Zucker, 41,5% Fett, 5% Cellulose und 3,5% Salze zusammengesetzt, ernährt wurden, ein Futter, welches dem bei den früheren Versuchen verwendeten Edestinfutter vollkommen ähnlich ist, nur mit Ausnahme der fehlenden Phosphate. 5 g dieses Futters ergaben bei der Untersuchung weniger als 0,1 mg P.

Die Versuche sind in der Tabelle VI S. 97, 98 u. 99 angeführt. Von diesem Futter erhielten nun die Ratten bei den Versuchen 39, 40, 41 und 42 eine so große Menge, daß sie annähernd im Stickstoffgleichgewicht blieben. Die Versuche zeigen, daß die Tiere unter dergleichen Verhältnissen immerwährend nicht unbedeutende Phosphormengen ausscheiden: selbst nach 5 bis 6 tägiger Ernährung mit diesem Futter beträgt die täglich ausgeschiedene Phosphormenge immer noch 4—5 mg P,

¹⁾ l. c.

d. h. zwischen 1.50 und 1.60 der zu gleicher Zeit ausgeschiedenen Stickstoffmenge, Werte, welche die von Gevaerts gefundenen bedeutend übertreffen, indem die letzteren bei einigen Versuchen sogar weniger als 1 mg P p. d. betragen. Gevaerts hat indessen nur die Phosphormenge der Faeces in essigsaurem Auszug derselben untersucht, dem Filtrate nämlich des essigsauren Spülwassers, worin der Harn und die Faeces enthalten waren. und er hat demnach diejenige Phosphormenge, welche eventuell als in Essigsäure unlösliche Verbindungen in den Faeces vorhanden war, nicht bestimmt.

Bei einem meiner Versuche (Vers. 41) habe ich die Faeces von 2 verschiedenen Perioden herrührend sorgfältig mit verdünnter Essigsäure in dem Mörser ausgerieben und die Flüssigkeit durch einen Filter gegossen. Die Extraktion wurde einige Male wiederholt und dann der Phosphor, sowohl im Filtrate, wie in dem unlöslichen Rest bestimmt. Es ergab sich, daß der letztere nicht unbedeutende Phosphormengen enthielt: es wurden p. d. $2,5$ bzw. $1,6 \text{ mg P}$ gefunden. Da diese Extraktion sicherlich gründlicher als bei Gevaerts ausgeführt wurde, müssen wir folglich annehmen, daß die von ihm gefundenen Werte zu niedrig sind.

Wenn auch die bei Phosphorinanon während Stickstoffgleichgewichts ausgeschiedenen Phosphormengen die von Gevaerts gefundenen übersteigen, sind sie doch im Verhältnis zu der Stickstoffausscheidung klein, und man darf annehmen, daß der Organismus, wenn er durch die zugeführten Stickstoff- und Kalorienmengen im Stickstoffgleichgewicht bloß erhalten bleibt, nur eine ziemlich geringe Phosphorzufuhr nötig hat, um sich im Phosphorgleichgewicht zu erhalten.

Es ist bei den Versuchen 39—45, wo die Tiere mit phosphorfremem Edestinfutter ernährt wurden, auffällig, wie klein die durch den Harn ausgeschiedene Phosphormenge ist, während die Faeces gleichzeitig vielmal so viel Phosphor enthielten. Ähnliches war bei Ernährung mit einem stickstofffreien Futter, welches anstatt Edestins Zucker enthielt, übrigens aber von der gleichen Zusammensetzung war, nicht der Fall. Die Ursache ist also in der Edestinzufuhr zu suchen. Wenn auch

die letztere, wie bei den Versuchen 43 und 45 nicht hinlänglich war, um Stickstoffgleichgewicht zu bedingen, so war doch auch bei diesen Versuchen der Phosphorgehalt des Harns von derselben niedrigen Größe, meistens ca. 0,5 mg P p. d., und diese Erscheinung tritt sofort während der ersten Versuchsperiode an den Tag.

Wir wissen, daß die Gegenwart von Calcium- (und Magnesium-)salzen in der Nahrung den Phosphorgehalt des Harns herabsetzt (Bertram,¹⁾ Tereg²⁾ u. Arnold,²⁾ Bergmann).³⁾ Bei einigen Versuchen habe ich die Frage untersucht, wie die Ausscheidung sich verhalten würde, wenn Tiere durch ein phosphorfrees Edestinfutter, welches keine Calcium- oder Magnesiumsalze enthielt, übrigens aber von ganz ähnlicher Zusammensetzung wie das zuerst angewendete Edestinfutter war, ernährt wurden.

Die Versuche 42, 43, 46 und 47 zeigen uns, daß der Phosphorgehalt des Harns mehrfach größer wird, wenn die Calcium- und Magnesiumsalze von der Nahrung weggelassen werden, und zwar ist es ohne Einfluß, ob, wie bei Versuch 42 und 43, säuresättigende Salze (Natriumbicarbonat) gleichzeitig in der Nahrung vorhanden sind, oder nicht (Versuch 46 u. 47). Ebenfalls sinkt der Phosphorgehalt des Harns wieder sehr tief herunter, wenn das Futter, wie bei Versuch 44 und 45, nur Calcium- und Magnesiumsalze enthält, indem die Abwesenheit der säuresättigenden Salze auch hier keinen Einfluß hat.

Aus diesen Versuchen geht also hervor, daß es der Gehalt des phosphorfreien Futters an Edestin und an Calcium- und Magnesiumsalzen ist, welcher die Ausscheidung beinahe des gesamten Phosphors durch die Faeces verursacht.

Über die Ursache dieser Erscheinung können diese Versuche keine bestimmte Aufklärung geben. Es ließe sich vielleicht denken, daß die Edestinzufuhr eine Sekretion von Phosphaten

¹⁾ l. c.

²⁾ l. c.

³⁾ l. c.

in dem Darm hervorgerufen hat, und daß durch die Gegenwart von Calcium- und Magnesiumsalzen die abermalige Resorption dieser Phosphatmenge verhindert worden ist.

Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse.

Bei einer stickstoffhaltigen Nahrung, welche Phosphor in ausschließlich anorganischer Bindung enthält, kann der Organismus längere Zeit hindurch im Phosphorgleichgewicht gehalten oder sogar zur Ablagerung von Phosphor gebracht werden; es ist somit anzunehmen, daß der Organismus zum Aufbau organischer Phosphorverbindungen aus phosphorfreien organischen Stoffen und Phosphaten imstande ist.

Bei stickstofffreier Nahrung wird der Phosphorverlust des Organismus davon nicht beeinflußt, ob gleichzeitig Phosphat zugeführt wird oder nicht.

Wenn der Organismus mit einer phosphorfreien, albuminhaltigen Nahrung im Stickstoffgleichgewicht erhalten wird, nimmt die Ausscheidung von Phosphor sehr bedeutend ab; dieselbe geht unter Umständen so tief herunter, daß sie nur $\frac{1}{50}$ — $\frac{1}{60}$ der gleichzeitig ausgeschiedenen Stickstoffmenge beträgt.

Bei Ernährung mit einem phosphorfreien, albuminhaltigen Futter, welches Calcium- und Magnesiumsalze enthält, wird bei Ratten durch den Harn nur eine minimale Phosphormenge ausgeschieden und zwar weniger als $\frac{1}{10}$ derjenigen Phosphormenge, welche gleichzeitig durch die Faeces ausgeschieden wird. Bei einer phosphorfreien, albuminhaltigen Nahrung, die keine Calcium- und Magnesiumsalze enthält, wird dagegen durch den Harn gewöhnlich mehr Phosphor als durch die Faeces ausgeschieden, ebenso wie bei einem phosphorfreien, albuminfreien Futter, welches Calcium- und Magnesiumsalze enthält.

Tabelle I.

Gewicht in g und Nr. des Versuchs	Tage ¹⁾	Futter p. d. g	mg N p. d.			mg P p. d.			Bilanz p. d.		N ²⁾ P	Abgelagert	
			Futter		Faeces	Futter		Urin	Faeces	mg N			mg P
			Urin	Faeces	Urin	Faeces	mg N	mg P					
Nr. 1													
12. II. 26	5	2,76	71	37	11	9,7	5,1	1,1	+ 23	+ 3,5	6,6	in 10 Tagen	
17. 28	5	2,04	52	37	9	7,2	4,8	1,0	+ 6	+ 1,4	4,3	145 mg N	
22. 28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24,5 P	
Nr. 2													
12. II. 36	5	3,59	92	46	14	12,6	6,1	1,7	+ 32	+ 4,8	6,7	in 15 Tagen	
17. 38	5	2,58	66	52	4	9,1	6,2	0,6	+ 10	+ 2,3	4,3	230 mg N	
22. 38	5	2,58	66	55	7	9,1	6,0	1,0	+ 4	+ 2,1	1,9	46 P	
27. 38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Nr. 3													
25. II. 49	4	5,20	134	81	11	18,3	9,0	2,2	+ 42	+ 7,1	5,9	in 13 Tagen	
29. 54	4	4,7	121	95	9	16,5	12,4	1,5	+ 17	+ 2,6	6,5	266 mg N	
4. III. 55	5	3,71	95	82	7	13,1	9,8	1,1	+ 6	+ 2,2	2,7	49,8 P	
9. 56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Nr. 4													
25. II. 43	4	4,95	127	68	17	17,4	8,0	2,1	+ 42	+ 7,3	5,8	in 13 Tagen	
29. 48	4	3,56	91	63	8	12,5	8,7	1,3	+ 20	+ 2,5	8,0	298 mg N	
4. III. 49	5	2,85	73	55	8	10,0	7,3	1,2	+ 10	+ 1,5	6,7	46,7 P	
9. 50	5	2,02	52	71	5	7,1	7,3	1,2	÷ 24	÷ 1,4	—	—	
14. 45	5	2,48	64	69	6	8,7	7,5	1,2	÷ 11	÷ 0,0	—	—	
19. 45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

¹⁾ d. h. die Dauer der einzelnen Versuchsperioden in Tagen.

²⁾ d. h. das Verhältnis zwischen dem abgelagerten Stickstoff und dem gleichzeitig abgelagerten Phosphor.

Fortsetzung.

Tabelle I.

Gewicht in g und Nr. des Versuchs	Tage	Futter p. d. g	mg N p. d.		mg P p. d.		Bilanz p. d. mg N mg P	N P	Abgelagert										
			Futter	Urin	Faeces	Futter				Urin	Faeces								
Nr. 5																			
26. II. 44	5	4,12	106	65	10	14,5	7,1	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. III. 50	5	3,51	90	70	8	12,4	9,7	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7. 51	5	2,92	75	70	9	10,3	9,3	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12. 50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nr. 6																			
14. III. 63	6	4,57	117	71	11	16,1	9,9	2,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20. 71	6	3,21	83	73	7	11,3	8,9	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26. 66	6	3,19	82	74	7	11,2	8,3	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1. IV. 65	6	2,91	75	67	5	10,2	7,5	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7. 65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nr. 7																			
15. III. 60	5	4,96	128	81	17	17,4	9,8	3,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20. 68	6	2,92	75	75	7	10,3	8,3	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26. 62	6	3,47	89	79	8	12,2	9,3	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1. IV. 62	6	2,85	73	75	8	10,0	8,0	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7. 61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nr. 8																			
1. IV. 58	6	5,38	138	88	13	18,9	12,5	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7. 63	7	4,50	116	81	9	15,8	10,1	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14. 68	7	3,83	98	86	6	13,5	9,2	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21. 69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

in 10 Tagen
215 mg N
39,5 P

in 24 Tagen
252 mg N
49,8 P

in 17 Tagen
120 mg N
27,2 P

in 20 Tagen
446 mg N
81,1 P

Tabelle III.

Gewicht in g und Nr. des Versuchs	Tage	Futter p. d. g		mg N p. d.		mg P p. d.		Bilanz p. d.		N P	
		Futter	p. d.	Futter	Urin	Faeces	Futter	Urin	Faeces		mg N
Nr. 23											
20. VI. 191	2	7,0	181	—	22,8	14,6	5,7	—	+ 2,5	—	Fleischfutter
22. 187	2	7,0	—	16	—	16,3	5,2	+ 18	+ 1,3	—	
24. 190	3	7,0	—	15	—	14,9	4,7	+ 30	+ 2,5	12,0	
26. 192	3	7,0	—	18	—	16,5	4,6	+ 17	+ 1,0	17,0	Edestinfutter
29. 191	1	6,93	181	14	23,1	16,6	3,1	—	—	—	
2. VII. 194	3	—	—	13	—	19,0	3,9	—	—	—	
6. 191	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Nr. 24											
20. VI. 161	2	6,0	155	—	19,5	15,2	4,2	—	+ 0,1	—	Fleischfutter
22. 158	2	—	—	22	—	14,8	7,5	+ 3	—	—	
24. 158	3	—	—	14	—	13,3	4,4	+ 8	—	—	Edestinfutter
26. 158	1	5,94	156	13	19,8	15,4	4,2	—	—	—	
29. 161	3	—	—	14	—	15,1	4,7	—	—	—	
2. VII. 161	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Nr. 25											
20. VI. 126	2	—	—	—	16,3	13,5	4,8	—	+ 2,0	—	Fleischfutter
22. 122	2	5,0	129	—	—	11,7	5,0	—	+ 0,4	—	
24. 120	2	—	—	12	—	10,5	4,5	+ 8	+ 0,8	10,0	
26. 121	3	—	—	11	—	11,1	5,0	—	—	—	
29. 123	3	—	—	13	—	—	—	—	—	—	

Tabelle V.

Gewicht in g und Nr. des Versuches	Tage	Futter p. d. g	mg N p. d.			mg P p. d.			Bilanz p. d.		N P
			Futter	Urin	Faeces	Futter	Urin	Faeces	mg N	mg P	
Nr. 32											
28. III. 138	3	4,0	0	47	21	0	3,7	2,6	÷ 68	÷ 6,3	10,8
31. 135	3	—	—	35	14	—	3,0	2,3	÷ 49	÷ 5,3	9,2
3. IV. 131	3	—	—	33	16	—	2,7	2,0	÷ 49	÷ 4,7	10,4
6. 129	3	—	—	36	14	—	3,0	2,0	÷ 50	÷ 5,0	10,0
9. 124	4	—	—	36	12	—	2,6	1,5	÷ 48	÷ 4,1	11,7
13. 115	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nr. 33											
10. V. 207	3	6,0	0	72	20	0	5,5	5,1	÷ 92	÷ 10,6	8,7
13. 197	3	—	—	51	20	—	4,2	4,0	÷ 71	÷ 8,2	8,7
16. 189	3	—	—	56	19	—	3,6	3,5	÷ 75	÷ 7,1	10,6
19. 180	3	—	—	43	17	—	2,1	3,2	÷ 60	÷ 5,3	11,3
22. 177	3	—	—	41	19	—	1,6	3,3	÷ 60	÷ 4,9	12,2
25. 172	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nr. 34											
10. V. 225	3	6,0	0	79	16	15,3	20,3	5,2	÷ 95	÷ 10,2	9,3
13. 218	3	—	—	61	15	—	17,5	4,2	÷ 76	÷ 6,4	11,9
16. 207	3	—	—	65	12	—	19,4	3,3	÷ 77	÷ 7,4	10,4
19. 196	3	—	—	55	11	—	17,5	3,8	÷ 66	÷ 6,0	11,0
22. 195	3	—	—	49	12	—	17,5	4,4	÷ 61	÷ 6,6	9,2
25. 188	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

N-freies
P-freies Futter

N-freies
P-freies Futter

N-freies
phosphathaltiges
Futter

Tabelle VI.

Gewicht in g und Nr. des Versuchs	Tage	Futter p. d. g	mg N p. d.			mg P p. d.			Bilanz p. d.		
			Futter	Urin	Faeces	Futter	Urin	Faeces	mg N	mg P	
Nr. 39											
28. I. 226	2	9,0	235	243	25	0	0,8	5,0	÷ 33	÷ 5,8	} P-freies Edestinfutter
30. 220	3	—	—	205	31	—	0,3	3,9	÷ 1	÷ 4,2	
2. II. 218	2	—	—	218	26	—	0,3	3,9	÷ 9	÷ 4,2	} N-freies P-freies Futter
4. 216	2	9,0	0	73	29	—	0,3	4,1	÷ 102	÷ 4,4	
6. 215	2	—	—	64	26	—	3,7	4,6	÷ 90	÷ 8,3	
8. 207	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Nr. 40											
28. I. 316	2	11,0	287	266	22	0	1,1	6,2	÷ 1	÷ 7,3	} P-freies Edestinfutter
30. 317	3	—	—	257	38	0	0,4	6,0	÷ 8	÷ 6,4	
2. II. 319	2	—	—	241	31	0	0,4	4,9	+ 15	÷ 5,3	
4. 317	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Nr. 41											
8. VI. 290	4	11,0	287	250	4 ¹⁾ + 24 ²⁾	0	0,8	3,8 ¹⁾ + 2,5 ²⁾	+ 9	÷ 7,1	} P-freies Edestinfutter
12. 297	4	—	—	243	3 ¹⁾ + 28 ²⁾	—	0,2	2,9 ¹⁾ + 1,6 ²⁾	+ 13	÷ 4,7	
16. 307	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

¹⁾ Der in Essigsäure lösliche Teil. ²⁾ Der in Essigsäure unlösliche Teil.

Fortsetzung.

Tabelle VI.

Gewicht in g und Nr. des Versuchs	Tage	Futter p. d. g	mg N p. d.			mg P p. d.			Bilanz d. d.		Bei sämtlichen Versuchen wurde P-freies Festfutter angewandt, nur mit verschie- denem Gehalt an Calcium- und Magnesium- salzen und an Natriumbicarbonat
			Futter	Urin	Faeces	Futter	Urin	Faeces	mg N	mg P	
Nr. 45											
23. II. 112	2	5,5	140	163	18	0	0,8	2,6	÷ 41	÷ 3,4	} + CaCl ₂ + MgCl ₂ ÷ NaHCO ₃
25. 110	2	—	—	145	21	—	0,3	3,1	÷ 26	÷ 3,4	
27. 110	2	—	—	142	23	—	0,3	2,7	÷ 25	÷ 3,0	
29. 113	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Nr. 46											
24. II. 175	2	8,0	205	216	24	0	4,3	2,0	÷ 35	÷ 6,3	} ÷ NaHCO ₃ : Calcium- und ÷ Magnesiumsalzen
26. 177	3	—	—	199	23	—	2,7	1,4	÷ 17	÷ 4,1	
1. III. 175	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Nr. 47											
3. III. 141	3	6,5	167	186	19	0	4,4	1,4	÷ 38	÷ 5,8	} ÷ NaHCO ₃ ÷ Calcium- und ÷ Magnesiumsalzen
6. 144	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Nr. 48											
15. III. 147	2	10,0	257	223	30	0	1,0	2,9	÷ 4	÷ 3,9	} ÷ NaHCO ₃ ÷ Calcium- und ÷ Magnesiumsalzen
17. 155	2	9,15	235	180	21	—	1,0	1,2	÷ 34	÷ 2,2	
19. 158	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	