

Zeitschrift für angewandte Chemie

36. Jahrgang S. 269—284

Inhaltsverzeichnis Anzeigenteil S. VII.

23. Mai 1923, Nr. 41/42

Über Vitamine.

Von C. BRAHM,

Abteilungsvorsteher am tierphysiologischen Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin.
(Eingeg. 4.3. 1923.)

Seit den Zeiten J. v. Liebig's wissen wir, daß als die wesentlichen Bestandteile unserer Nahrung Eiweiß, Fette, Kohlenhydrate und gewisse Salze zu betrachten sind. Man kennt die Menge der Nahrung, ausgedrückt durch ihren Verbrennungswert, welche für Mensch und Tier in Ruhe oder Arbeit erforderlich ist, und weiß durch die Arbeiten Rubners, daß Eiweiß, Fett und Kohlenhydrate sich unter gewissen Voraussetzungen ihrem Wärmewert entsprechend vertreten können. Diese energetische Betrachtungsweise des Stoffwechsels erreicht damit eine Übersichtlichkeit des Gesamtstoffwechsels, die ihr einen entscheidenden Einfluß auf manche Aufgaben der Ernährungslehre gesichert und viele praktische Fragen des Wirtschaftslebens zu einfachen Rechenaufgaben gemacht hat. Eine gewisse Einseitigkeit haftet dieser Betrachtungsweise doch an. Wie die Bilanz eines industriellen Unternehmens gibt sie zwar genaue Auskunft über Einnahme und Ausgabe, doch gestaltet sie keinerlei Einblick in die ineinander greifenden entscheidenden Einzelvorgänge, durch deren Summierung erst das Gesamtergebnis, Gewinn oder Verlust, zustande kommt. Daß die energetische Betrachtungsweise nicht allen praktischen Anforderungen genügt, zeigt das lebhafte Interesse für den Mineralstoffwechsel in den letzten Jahren, für welche die Calorien meist keine Bedeutung haben, und besonders das rasche Populärwerden der Vitaminlehre.

Diese Lehre entstand, wie später ausgeführt wird, im Anschluß an Versuche, in denen Tiere mit einer künstlichen Nahrung erhalten werden sollten, d. h. einer Nahrung, welche nicht aus Teilen von tierischen oder pflanzlichen Geweben besteht, sondern nur aus einfachen Nahrungsstoffen, Eiweiß, Fetten, Kohlenhydraten und Salzen. Die Vitaminlehre stellt nur einen begrenzten, sehr interessanten Abschnitt eines großen Gebietes der Stoffwechselphysiologie dar, der zusammenfassend als die Lehre von der qualitativ unzureichenden Ernährung bezeichnet werden kann.

An eine Kost, welche auf die Dauer für die Ernährung eines Organismus ausreichen soll, muß die Anforderung gestellt werden, daß sie einmal die notwendigen Calorien und ferner alle die Verbindungen, welche der Körper benötigt oder deren Vorstufen enthält. Fehlen in einer Nahrung die unentbehrlichen Mineralstoffe, so werden Störungen im Organismus veranlaßt, ebenso treten bei Mangel an organischen Stoffen in der Nahrung früher oder später Insuffizienzerscheinungen auf. Am weitesten fortgeschritten sind über diese Fragen unsere Kenntnisse bei der Ernährung mit Eiweißkörpern, denen bestimmte Aminosäuregruppen fehlen, die für den Organismus unentbehrlich sind, besonders nachdem es gelückt war, die ungünstige Ernährung dadurch zu einer ausreichenden zu gestalten, daß man die fehlenden Aminosäuren der Nahrung zulegte.

Es gibt aber auch Fälle, und diese erfordern das größte Interesse, in denen die fehlenden Bestandteile ihrer chemischen Zusammensetzung noch nicht bekannt sind, so besonders die Körper, deren Fehlen als Ursache der Beriberi- oder der Skorbuterkrankung, wahrscheinlich auch mancher anderer Erkrankungen anzusehen sind. Es sind dies die Stoffe, für welche Casimir Funk den Namen Vitamine festgelegt hat. Er rechnete dazu zunächst Beriberi, Skorbut, Barlowsche Krankheit, Schiffsberiberi und Geflügelpolyneuritis.

Die Forschungen, die zu dem Begriff der Vitamine führten, fanden einen starken Ansporn in den Resultaten der modernen Eiweißchemie. Letztere zeigten, daß die verschiedenen in der Natur vorkommenden Eiweißkörper sowohl qualitativ wie quantitativ eine wechselnde Zusammensetzung besitzen. Auch konnte gezeigt werden, daß die natürlich vorkommenden Eiweißkörper in physiologischer Beziehung nicht gleichwertig sind. Es sei hier daran erinnert, daß für einige Aminosäuren, Tryptophan, Tyrosin, Arginin und Lysin einwandfrei festgestellt wurde, daß sie für den tierischen Organismus unentbehrlich sind. Dadurch erklärte es sich, daß das Zein infolge des Fehlens von Tryptophan oder die Gelatine, der wichtige Aminosäuren fehlen, nicht als einzige Eiweißquelle dem tierischen Organismus dienen können. Tierische Eiweißkörper sollen besser vom tierischen Organismus ausgenutzt werden als pflanzliche oder, was dasselbe besagt, es werden geringere Mengen von ersterem benötigt, um dauernd Stickstoffgleichgewicht herbeizuführen. Es war besonders Thomas, der die ver-

schiedenen Eiweiße auf ihre biologische Wertigkeit prüfte und in ein gewisses System einordnete.

Es wurde von einer Reihe von Autoren darauf hingewiesen, daß durch die Unfähigkeit des tierischen Organismus, gewisse Körperbestandteile synthetisch aufzubauen, Ausfallserscheinungen auftreten, die wir nachfolgend näher kennen lernen werden. In der Hauptsache kommen hier in Frage Nucleine, Lipoide und Phosphatide, so daß diese Körper als Vitamine anzusprechen wären. Eine Reihe von Untersuchungen beschäftigte sich mit der Lipoidsynthese im tierischen Organismus, doch finden sich bei der Beschreibung des Gesundheitszustandes der Versuchstiere Einzelheiten, die auf die Lebenswichtigkeit der Lipoide hindeuten. Eine richtige Deutung blieb erst den neueren Vitaminforschungen vorbehalten. Ich erinnere nur an die Arbeiten von Stepp, der zeigen konnte, daß Mäuse, die mit alkoholextrahiertem Brot und Milch ernährt wurden, nicht am Leben erhalten werden konnten. Wurde der extrahierte Auszug mit der extrahierten Nahrung wieder vereinigt, so erholten sich die Tiere wieder. Aus diesen Forschungen konnten die Vitaminanschauungen schon abgeleitet werden. Hieran schlossen sich Versuche über die Verwertung von gereinigten Nahrungsbestandteilen an Mäusen, Ratten und Hunden. Dieselben beginnen mit der Arbeit von Lunin aus dem Bungeschen Laboratorium, der Mäuse mit Casein, Fett und Rohrzucker fütterte. Die Lebensdauer der Tiere betrug 11–21 Tage. Wurde den Tieren Milchpulver zugelegt, so stieg die Lebensdauer der Versuchstiere auf $2\frac{1}{2}$ Monate. Lunin schloß aus seinen Untersuchungen, daß außer den bekannten Bestandteilen in der Milch noch andere lebenswichtige Substanzen vorhanden sein müssen. Socin, ebenfalls ein Schüler Bunges, studierte die Ausnutzung von organisch und anorganisch gebundenem Eisen an Mäusen. Die Mäuse lebten, gleichgültig, ob die Nahrung Eisen in irgendeiner Form enthielt oder ob sie eisenfrei war, höchstens 27–32 Tage, bei natürlicher Nahrung lebten die Mäuse länger als 99 Tage. Die künstlich ernährten Tiere waren zugrunde gegangen, und doch war in der dargereichten Nahrung alles enthalten, was überhaupt zum Leben notwendig bekannt ist. Diese Versuche wurden durch Bunge selbst und andere Autoren, Hausermann, Hall, Coppola, bestätigt.

Im Jahre 1911 setzte eine Ära von Untersuchungen ein, bei denen durch Verabreichen von Rationen, bestehend aus reinen Stoffen, die auf chemischem Wege aus natürlichen Produkten gewonnen waren, deutlich die Unentbehrlichkeit anderer Stoffe als Eiweiß, Fett, Kohlenhydrate und Salzen nachgewiesen werden konnte. Diese Versuche wurden von Th. B. Osborne und L. B. Mendel, von F. G. Hopkins und Mc. Collum und Mitarbeitern ausgeführt. Auch W. Stepp und Casimir Funk sind mit wichtigen Arbeiten in dieser Zeitperiode hervorgetreten. Hopkins konnte zeigen, daß Ratten bei einer aus Casein, Schweinefett, Stärke, Zucker und Salzen bestehenden Kost, die calorisch mehr als ausreichend war, nicht bestehen konnten. Die Tiere wurden krank und verloren immer mehr an Gewicht. Durch Zugabe von nur 2 ccm Milch besserte sich sofort der Zustand und die Gewichtskurve stieg rapide wieder an. Ob die mit wenig Milch ergänzten Rationen geeignet waren, die Tiere auf die Dauer gesund zu erhalten, konnte durch die kurz dauernden Versuche (50 Tage) nicht entschieden werden. Deshalb wurde von den übrigen Untersuchern der Schwerpunkt ihrer Versuche darauf verlegt, zu zeigen, daß eine Ration erst dann für tauglich angesehen werden kann, wenn die Tiere in normaler Weise und in normalen Intervallen Junge hervorbrachten, die Jungen normal von der Mutter gesäugt wurden und normale Entwicklung zeigten. In diesen über einige Generationen fortgesetzten Untersuchungen zeigten sich deutlich Mängel der Ration durch ungenügendes Wachstum oder durch das Auftreten von Krankheitserscheinungen, die häufig als charakteristisch erkannt wurden, wie Lähmungen, Steifheit, ungenügendes Haarwuchs, rauhe Haut, Blindheit, Augenentzündung, Unlust zum Fressen, frühzeitiges Altern usw. Gerade bei wachsenden Tieren treten einzelne Erscheinungen, besonders Gewichtsabnahme, verzögertes Wachstum am deutlichsten hervor. Bei den Versuchen von Osborne und Mendel bewirkte der Zusatz von proteinfreier Milch eine wesentliche Verbesserung. Ungefähr 100 Tage lang wuchsen die jungen Ratten normal, bei längerer Dauer der Versuche fiel auch bei dieser Ernährung die Gewichtskurve und die Tiere gingen ein, wenn keine Änderung der Ernährung eintrat. Die proteinfreie Milch wurde in der Weise hergestellt, daß in ungesäuertes Molke die Eiweißstoffe koaguliert und durch Abfiltrieren entfernt wurden, das Filtrat neutralisiert und bei niedriger Temperatur eingedampft wurde. Wurde Vollmilch oder Trockenvollmilch zugegeben, so trat sofort eine Besserung

und Gewichtszunahme ein, obgleich durch diese Zufuhr keine Zulage an ernährenden Festbestandteilen zugeführt wurde. Kohlenhydrate und Salze waren die gleichen geblieben, nur in der Art der Fette und Eiweißstoffe bestand zwischen den beiden Rationen ein Unterschied. Daß die verschiedene Wirkung nicht der verabreichten Eiweißsorte zuzuschreiben war, erfolgte aus den Beobachtungen dieser Forscher, denn die Ration ohne Vollmilch war ungeeignet, ob das zugesetzte Eiweiß nun Casein, Edestin, Lactalbumin, Glutenin oder ein anderer Eiweißstoff war. Der günstige Faktor mußte also das Milchfett sein. Butter zeigte dieselbe Wirkung, eine Wirkung, die nicht jedem anderen Fette eigen ist.

Zu den gleichen Resultaten kamen McCollum und Davis. Auch sie fanden einen günstigen Einfluß des Ätherextraktes von Eigelb und Butter, während Schweinefett und Olivenöl wirkungslos waren. Der Einfluß dieser unbekannten Stoffe auf das Wachstum galt weit über das Verhältnis zu ihrem calorischen Werte hinaus. Man muß sich wahrscheinlich vorstellen, daß der Organismus nur beim Vorhandensein dieser unbekannten Stoffe imstande ist, die chemische Energie der gewöhnlichen Nahrungsmittel zum Zwecke des Wachstums auszunützen.

Die wichtigsten Forschungen über diese rätselhaften Stoffe knüpfen sich unmittelbar an die Erkenntnis der Beriberi, einer Krankheit, die in tropischen Gegenden bei reisessenden Völkern vorkommt. Das Wesen dieser Krankheit blieb lange Zeit ein vollkommenes Rätsel, sie trat epidemisch auf und konnte auf den ersten Blick als eine Seuche angesprochen werden. Das Problem der Beriberi wäre noch lange nicht gelöst worden, wenn ein Zufall hier nicht geholfen hätte. Diese Hilfe kam in dem Durchdringen der europäischen Kultur in die Kolonien. Die Krankheit, die bis dahin höchstwahrscheinlich nur spärlich vorkam, begann sich außerordentlich rasch auszubreiten. Nach langem Suchen wurde die Ursache der enormen Verbreitung darin gefunden, daß die Eingeborenen, die den Reis bisher mit ihren primitiven Handmühlen behandelten, plötzlich in den Besitz von mechanisch bearbeiteten Dampfmühlen kamen oder den in diesen gewonnenen Reis verzehrten. In den Gegenden, wo Handmühlen in Betrieb waren, kam Beriberi nicht vor, dagegen trat die Krankheit immer da auf, wo maschinell polierter Reis zum Verzehr kam. Es fiel also zeitlich die moderne Reisbearbeitung mit der größten Beriberiausbreitung zusammen. Bei der Bearbeitung des Reiskernes in den primitiven Handmühlen der Eingeborenen werden nur die Spelzen entfernt, dagegen bleibt das Silberhäutchen und die Aleuronschicht im Zusammenhang mit dem Mehkkörper. Bei der maschinellen Bearbeitung des Reiskernes in Dampfmühlen sind sowohl das Silberhäutchen wie die Aleuronschicht entfernt und das polierte Reiskorn besteht fast nur aus dem mehlhaltigen Endosperm. Es muß also die wirksame Substanz in den Randpartien des Reiskernes vorhanden sein. Diese Ansicht wurde dadurch bestätigt, daß Diätänderung, Zusatz von Reiskleie zur Nahrung die Krankheit zu heilen oder zu verhüten imstande war. Besonders auffällend waren in dieser Richtung die Versuche, die Takaki in der japanischen Marine anstellte. Er führte im Jahre 1882 eine Änderung der bisher daselbst vorherrschenden Reisdiet ein, die durch Fleisch, Brot, Obst und Gemüse ersetzt wurde und seit dieser Zeit ist die Beriberi aus der japanischen Marine so gut wie verschwunden. Mit der Abschaffung der Reisdiet in der japanischen Marine erfolgte ein jähres Absturz der Zahl der Beriberifälle und obwohl der Calorienwert der neuen Diät im Vergleich zu der früheren beriberiauslösenden geringer war und das durchschnittliche Gewicht der Mannschaften bedeutend anstieg. Die gleichen Erfahrungen wurden im japanischen Heere gemacht und von holländischen Forschern auf Java erzielt. Auf Grund von sehr reichen statistischen Material, das auf Eijkmans Veranlassung in javanischen Gefängnissen in den Jahren 1895—1901 gesammelt wurde, gelang es Vordermann nachzuweisen, daß die Krankheit mit dauerndem Konsum von poliertem Reis in Beziehung gebracht werden kann. Ausgezeichnete Auskünfte gibt die von Vordermann veröffentlichte Tabelle.

Reissorte	Zahl der Gefangenen	Zahl der Beriberifälle	Faktor: Zahl der Gefangenen	Beriberifälle
Weißer Reis . . .	150 266	4201	1 : 39	
Reis mit partiellen Silberhäutchen .	85 082	85	1 : 416	
Unpolierter Reis . .	95 580	9	1 : 10 725	

Hier war ein praktischer Erfolg erzielt worden, ohne daß man sich eine richtige Vorstellung über die Art seines Zustandekommens machen konnte. Einen großen Fortschritt bedeutet die Entdeckung von Eijkman über die experimentelle Beriberi. Die Beobachtung geschah zufällig. Dieser Forscher beobachtete, daß Hühner, die sich von Speisenresten eines Beriberikrankenhauses ernährten, an einer Krankheit ein-

gingen, die er als analog zu der menschlichen Beriberi erkannte. Diese Krankheit wurde Polyneuritis gallinarum genannt. Diese Beobachtung gestattete es, die Versuche an Tieren fortzusetzen und in kürzerer Zeit reiches statistisches Material zu sammeln. Eijkman ging bei seinen Untersuchungen einen Schritt weiter. Er fand, daß ein Zusatz von Reiskleie zu dem weißen Reis den Ausbruch der Krankheit bei den Tieren zu verhindern imstande war. Worauf beruht nun die Wirksamkeit der Reiskleie? Eijkman stellte Untersuchungen an über die Zusammensetzung der einzelnen Reisbestandteile an Stickstoff und Salzen. Er fand nachstehende Werte:

	N-Gehalt	Salzgehalt
Reisspelzen	0,23%	2,0%
Kleie (Silberhaut)	2,23%	7,7%
Halbgeschälter Reis	1,21%	1,4%
Geschälter Reis	1,12%	0,6%

Er glaubte zunächst, daß die Salzarmut und die Eiweißarmut die Ursache der Polyneuritis sei. Andere Forscher schrieben die Entstehung der Krankheit dem mangelhaften Gehalt des polierten Reises an Phosphorsäure zu. Ganzer Reis enthält 0,75 % P_2O_5 , polierter Reis 0,15—0,34 % P_2O_5 . Eine Zeitlang glaubte man, daß das auch in der Reiskleie vorkommende Phytin die wirksame Substanz der Reiskleie sei, doch erwies sich diese Annahme als unrichtig. Schaumann schrieb den in der Reiskleie vorkommenden Nucleoproteiden die Wirkung zu und hielt weiterhin an der Ansicht fest, daß die in der Reiskleie und in anderen Nahrungsmitteln vorkommenden Schutzstoffe, für die er den Namen Ergänzungsstoffe wählte, der Hauptmenge nach komplizierte, phosphorhaltige Verbindungen seien. In neuerer Zeit konnte dieser Forscher in Gemeinschaft mit Abderhalden zeigen, daß durch Erhitzen von Hefe mit Natronlauge dieselbe unwirksam wird, während ein Zusatz von Hefenucleoprotein eine ausgesprochene Wirksamkeit zeigte. Es handelt sich hier wahrscheinlich um eine Mehrheit von wirksamen Stoffen. Abderhalden und Schaumann nehmen an, daß diese Körper, von ihnen Eutonine genannt, in Beziehungen zu gewissen organischen Phosphorverbindungen (Phosphatide, Nucleoproteide und Nucleine) ständen. Die in diesen Stoffen vorhandene Phosphorsäure soll eine Art Schutzwirkung auf die Reizstoffe ausüben, die in freiem Zustande anscheinend sehr unbeständig sind. Urbeau batte schon früher gezeigt, daß bei Ernährungspolyneuritis die Kalium- und Phosphorbilanz der Versuchstiere von Anfang an negativ wurde, eine Beobachtung, die auch von Chamberlain, Bloomberg und Kilbourne, sowie auch von Vedder bestätigt werden konnte. Besonders der letztere vertritt aber die Ansicht, daß dieser Mangel allein den Ausbruch der Krankheit nicht erklären kann. Es ist das Verdienst von Eijkman, gefunden zu haben, daß der wässrige Extrakt von Reiskleie heilende Eigenschaften besitzt, ebenso ein alkoholischer Extrakt. Grijns konnte diese Beobachtung bestätigen und fand ähnlich heilende Eigenschaften wie in der Reiskleie in einer Bohnenart, der Katjang-idjoe (*Phaseolus radiatus*). Ebenso wichtig war die Beobachtung dieses Forschers, daß ein Erhitzen auf 120° die Nahrungsmittel ihrer heilenden Kraft beraubt.

Mit der Isolierung des Vitamins beschäftigten sich eine große Anzahl von Forschern. Hulshoff-Pol wahr wohl der erste, der das antineuritische Prinzip zu isolieren versuchte. Er zog die Katjang-idjoe-Bohne mit Wasser aus, füllte mit Bleiessig und verdunstete bei gewöhnlicher Temperatur und erhielt eine saure kristallinische Substanz, die gegen Beriberi sowohl prophylaktisch wie therapeutisch wirksam war. Er nannte sie X-Säure. Fraser und Stanton benutzten als Ausgangsmaterial Reiskleie und fanden, daß das wirksame Prinzip durch Alkohol entfernt werden konnte. Casimir Funk ging ebenfalls von Reiskleie aus, extrahierte mit Alkohol, behandelte den alkoholischen Rückstand mit verdünnter Schwefelsäure und füllte durch Phosphorwolframsäure. Letztere Fällung wurde in bekannter Weise durch Baryt zerlegt und der überschüssige Baryt durch Schwefelsäure entfernt. Das Filtrat wurde zunächst durch Silbernitrat im Überschuß gereinigt und durch Barytzugabe als Silbernitratbarytdoppelverbindung gefällt. Aus letzterer wurde ein kristallinischer Körper erhalten, der das Nitrat einer organischen Base darstellte. Durch Reinigung des Rohvitamins erhielt Funk zwei kristallisierte Körper, von denen einer Nicotinsäure, der andere ein neuer hochmolekularer stickstoffhaltiger Körper war. Suzuki, Shimamura und Odake zerlegten das Rohvitamin durch Fällung mit Tannin und isolierten die wirksame Substanz (Oryzanin) als Pikrat. Dasselbe war aber nach den Versuchen von Drumond und Funk wirkungslos. Hofmeister benutzte zum Fällen der durch Alkohol entzogenen Körper Kaliumwismutjodid und isolierte die reine Substanz (Ornidin) als Golddoppelsalz. Nach seiner Ansicht war es ein Dioxyperidon, es war völlig wirkungslos. Die Wirksamkeit geht wahrscheinlich durch die Reinigung verloren. Schaumann verarbeitete Hefe und fand ebenso wie bei Reiskleie, daß die Wirkung bei der Reindarstellung der einzelnen Fraktionen verloren-

ging. Vedder und Williams fanden, daß das Vitamin in dem Naturprodukt wahrscheinlich in Form einer Pyrimidinbase mit Nucleinsäure vereinigt ist, denn die volle Wirkung des Extraktes trat erst nach der Hydrolyse auf. Neuerdings beschäftigten sich auch Osborne und Wakeman, Sugiura, der zur Gewinnung einfache Dialyse in Kolloidumstäckchen vorschlug, Fränkel und Schwarz und Myers und Vögeltin mit Isolierungsversuchen. Alle bisherigen Versuche bewiesen, daß es zwar ziemlich einfach ist, aus verschiedenen Ausgangsmaterialien wirksame Extrakte zu erhalten, daß dagegen die Reindarstellung mit großen Verlusten verknüpft ist und die Wirksamkeit in dem Moment verschwindet, wenn man reine Präparate unter den Händen hat. Vielleicht beruhen die Verluste auf der Adsorption der Vitamine und der Fällbarkeit durch kolloidale Metalsulfide. Wir sehen also, daß unsere Kenntnisse über die Zusammensetzung und die Konstitution des Beriberivitamins sehr dürftig sind. Eine große Anzahl von stickstoffhaltigen Körpern wurde im weiteren Verlauf der Forschungen auf ihre antineuritische Wirksamkeit geprüft und gefunden, daß Thymin, Cytosin, Harnsäure, Guanin, Cholin, Purin, Neurin, Betain, Arginin, Asparagin, Histidin und andere Aminosäuren, Adrenalin völlig wirkungslos sind. Geringe Wirkung zeigten Stychnin, Chinin, Cinchonin, Allantoin, Hydantoin, Uracil, Adenin, Hypoxanthin, Xanthin, Paraxanthin, Thymo- und Hefenucleinsäure. R. Williams beschäftigte sich eingerender mit diesen Fragen, ausgehend von der Vorstellung, daß die Heilwirkung des Beriberivitamins der Vereinigung der Nicotinsäure mit einer Base zuzuschreiben sei.

Er untersuchte Trigonellin, p-Oxynicotinsäure, Nicotinsäurenicotinester, Kondensationsprodukte der Nicotinsäure mit Essigsäureanhydrid oder Phosphorpanoxyd. Er kam zu der Annahme, daß eine Betaingruppe im Vitamin vorhanden sei. Einen besseren Einfluß auf beriberikranke Tauben fand er bei Anwendung von α -Oxypyridin, 2-, 4-, 6-Trioxypyridin und 2-, 3-, 4-Trioxypyridin, unwirksam waren Nicotinsäure, Chinolinsäure, Cinchomeronsäure, 6-Oxynicotinsäure, Citracinsäure und die Arhydride von 2-, 4-, 6-Trioxypyridin und Tetraoxypyridin. Williams fand, daß die wirksamen Körper ihre Wirksamkeit ganz kurz nach der Herstellung verloren und schloß daraus, daß eine Umlagerung in eine tautomere unwirksame Form stattfinden müsse. Nach seinen Beobachtungen existiert das α -Oxypyridin in zwei Keto- und einer Enolform, von denen letztere unwirksam war. Er nimmt an, daß das Hauptcharakteristikum der Vitamine ein Komplex sein wird, der in bezug auf Struktur oder Energieinhalt einem Pseudobetainring nahekommt. Wir müssen auf Grund der bisherigen Ergebnisse annehmen, daß die Vitamine tatsächlich sehr labile Körper darstellen, die beim Reinigungsprozeß in eine stabilere Form sich umlagern.

Der Nachweis der Vitamine erfolgt immer noch in der Weise, daß man Tiere (Tauben) durch vitaminfreie Kost krank macht und durch Zulage des vitaminhaltigen Materials beobachtet, ob die Ausfallserscheinungen verschwinden. In neuerer Zeit wurde die Hefemethode in häufigen Tropfen empfohlen.

Auf Grund der bisherigen Forschungen besteht keinerlei Zweifel mehr über die Existenz von Vitaminen, worunter wir heute Bestandteile einer natürlichen Nahrung verstehen, die organischer Natur sind, aber weder den Eiweißstoffen, noch den Kohlenhydraten, noch den Fetten zuzurechnen sind, die aber trotzdem für das Wachstum und die Lebenserhaltung unentbehrlich sind. Obgleich die Versuche, die chemische Natur dieser Stoffe aufzufinden, bisher keinerlei Klarheit geschaffen haben, ist man übereingekommen, auf Grund von Erfahrungen der klinischen Medizin und vieler Ernährungsversuche das Vorkommen von drei verschiedenen Vitaminen anzunehmen, die als A-, B- und C-Vitamin bezeichnet werden. Leider ist beim weiteren Studium der Vitamine eine ziemliche Verwirrung in der Bezeichnung dieser Körper eingetreten. So spricht Hopkins von akzessorischen Faktoren der Kost, Schaumann von Ergänzungsstoffen, Aron von Extraktstoffen, Borutta von Ergänzungsstoffen, Hofmeister von akzessorischen Nährstoffen, Röhm von Ergänzungskörpern; amerikanische Forscher verzichteten auf besondere Namen und sprachen nur vom Faktor A, Faktor B und Faktor C. Abderhalden nennt den antineuritischen Stoff Eutonin, den wachstumsfördernden Stoff Nutramin. In neuester Zeit schlägt Ragnar Berg die Bezeichnung Komplettin vor. Die gleiche Verwirrung in der Namensbezeichnung trifft man auch bei den durch Mangel an Ergänzungsstoffen verursachten Krankheiten, ursprünglich von Funk als A-Vitaminosen bezeichnet. In späteren Arbeiten spricht Funk von partiellen Unterernährungsleiden (Deficiency diseases).

Das A-Vitamin ist derselbe Stoff, der als fettlöslicher Faktor A, fettlösliches Vitamin, Lipoider Faktor oder als antirachitisches Prinzip von englischen Forschern bezeichnet wird. Es ist eingangs schon erwähnt worden, daß durch die Versuche von Stepp zuerst auf die Bedeutung gewisser fetthaltiger Substanzen als Bestandteile einer vollwertigen Nahrung hingewiesen wurde. Im weiteren Verlauf seiner

Untersuchungen konnte dieser Forscher zeigen, daß chemisch reine Neutralfette entbehrlich sind, nicht dagegen gewisse Begleitstoffe von Fetten, die in allen pflanzlichen und tierischen Zellen vorkommen. Unsere Kenntnisse über das A-Vitamin wurden durch die Arbeiten amerikanischer Gelehrten, besonders von McCollum und Mitarbeiter und Osborne und Lafayette B. Mendel, erweitert. McCollum schlug für diese Körper den Namen „fettlöslicher Faktor A“ vor. Zurzeit ist die Frage noch unentschieden, ob es sich um einen einzelnen Stoff handelt, oder ob eine Menge vorliegt. Die Körper sind fettlöslich, ferner löslich in Alkohol und Äther. Stepp hält die Lipoide für Träger des A-Faktors. Doch erwiesen sich Lecithin, Cholesterin bei absichtlicher Zugabe zum Futter als wirkungslos. Wahrscheinlich sind noch andere Stoffe als die sicheren Träger der A-Vitaminwirkung anzusehen. Anfänglich hielt man das Vitamin A für einen thermostabilen Körper. Durch neuere Beobachtungen konnte festgestellt werden, daß Butterfett eine $2\frac{1}{2}$ stündige Dampfbehandlung, unbeschadet seiner Wirksamkeit, verträgt, nicht aber die niedrig schmelzenden Bestandteile des Butterfettes, das sogenannte Butteröl, welches eine stark angereicherte Vitaminfraktion darstellt. Wahrscheinlich wird im Butterfett das wirksame Prinzip durch die Fettbestandteile geschützt. Das A-Vitamin ist sehr empfindlich gegen Oxydation, wie Hopkins einwandfrei nachweisen konnte. Das Vitamin A ist weit verbreitet im Pflanzen- und Tierreich. Zuerst im tierischen Fett nachgewiesen, fand es sich später sehr reichlich im grünen Gemüse, Spinat, ferner in Keimlingen, Knollen und Wurzeln. Geringer ist der Gehalt in pflanzlichen Fetten, besonders arm sind industriell hergestellte Handelsfabrikate. Reichliches Vorkommen zeigten das Milchfett, Nierenfett, Lebergewebe, Lebertran und das Eigelb, dagegen ist Schweinespeck sehr arm an A-Stoffen. Als Erklärung für diese auffallende Erscheinung nimmt man an, daß für die Ernährung des Schweines Grünfutter wenig in Frage kommt, und ferner die Schädigung der wirksamen Stoffe bei der Verarbeitung des Schweineschmalzes für Handelszwecke durch mehrstündigiges Erhitzen auf Temperaturen bis 130° und Umrühren an der Luft. Daß das Futter der Tiere von großem Einfluß auf die Menge der A-Stoffe ist, zeigt das Verhalten des Milchfettes von Tieren beim Weidegang und bei Trockenfütterung. Im ersten Falle ist der Gehalt wesentlich höher. Magermilch soll ungefähr halb soviel A-Stoffe enthalten wie Vollmilch. In den letzten Jahren wurde untersucht, ob zwischen den A-Stoffen und den gelben Pflanzenstoffen ein Zusammenhang besteht, doch scheint nach den bisherigen Ergebnissen eine Identität nicht zu bestehen. Über die physiologische Funktion der A-Stoffe ist wenig zu sagen. Daß diese Stoffe beim normalen Fettstoffwechsel eine Rolle spielen, konnte von Drummond nicht nachgewiesen werden, ebensowenig waren sie für die Synthese von Fetten im tierischen Organismus aus Fettsäuren und Glycerin nötig, während auch die Fettresorption ohne diese Stoffe normal war. Welches sind nun die typischen Erscheinungen beim Fehlen der A-Stoffe für den Organismus? Zunächst fiel das Verhalten des Körpergewichts auf, anfänglich wurden Stillstand, dann Senkung der Gewichtskurve beobachtet. Beim erwachsenen Tier treten die Erscheinungen weniger deutlich auf wie beim heranwachsenden Organismus. Auch beim Fehlen der beiden anderen Vitamine tritt Gewichtsverlust ein. Sowohl im Tierexperiment wie in der menschlichen Pathologie ließen sich zwei besonders auffallende Eigenschaften der A-Stoffe eindeutig festlegen. Das Fehlen derselben bedingt eine anormale Ernährung der Hornhaut und anormalen Aufbau des Knochensystems. Die Schädigungen an der Hornhaut und Conjunctiva bezeichnet man als Xerophthalmie oder Keratomalacie, die Störungen am Skelett als Rachitis. Die Erscheinungen treten auch hierbei wieder am stärksten beim wachsenden Organismus auf. Wie sich bei den Tierexperimenten eine Steigerung der Gewichtskurve durch Zugabe von Nahrungsstoffen, die reich an A-Vitamin sind, erzielen ließ, so konnte dies auch an menschlichen Säuglingen gezeigt werden. Es erwies sich die Qualität der Milch als sehr einflußreich. Ist die Nahrung der Milchspender arm an A-Stoffen, so enthält auch die Milch entsprechend wenig. Zugaben von Rübensaft oder Butter steigern den Gehalt, so daß man annehmen darf, daß ein Übertritt der A-Stoffe aus der Nahrung in die Milch stattfindet. Auch das Zusammenfallen des Mangels an A-Stoffen in der Nahrung mit dem Auftreten von Keratomalacie wurde bei menschlichen Säuglingen beobachtet und durch Zulagen von Butter oder Lebertran Heilung erzielt. Schwieriger ist die Bedeutung des A-Vitaminmangels auf Skelettentwicklung. Hier liegen besonders die Erfahrungen von Mellanby vor, der auf Grund seiner Versuche an etwa 400 Hunden glaubt den Schluß ziehen zu können, daß bei Mangel an A-Vitaminen in der Nahrung die Knochenbildung anormal verläuft und Erscheinungen auftreten, wie sie bei menschlicher Rachitis beobachtet sind.

Zweifellos kommen aber noch andere Faktoren hinzu, welche das beschriebene Krankheitsbild auslösen. Es sei nur daran erinnert, daß es

gelingt, durch Verfütterung großer Mengen von Casein besonders schwere Knochenveränderungen herbeizuführen. Durch die Verwertung des Caseins werden große Phosphorsäuremengen frei, die dem Organismus Calcium entziehen, so daß ein Mangel an diesem Element für das sich entwickelnde Skelett entsteht. Es bestehen eindeutige Beziehungen zwischen Kalkgehalt der Nahrung und A-Vitamin. Es scheinen auch Zusammenhänge zwischen Kalk und A-Vitaminen in dem Sinne

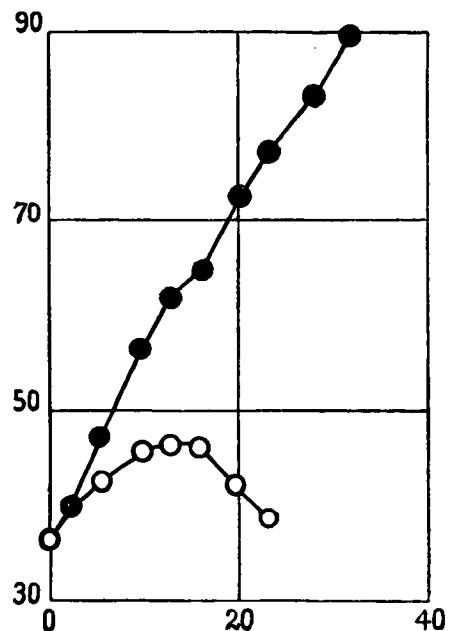


Fig. 1. Untere Kurve: 6 Ratten bei reiner künstlicher Ernährung. Obere Kurve: 6 gleiche Tiere erhalten pro Kopf und Tag 2 ccm Milch. Abszissen: Zeit in Tagen, Ordinaten: Durchschnittliches Gewicht in Grammen.

zu bestehen, daß die Anwesenheit des letzteren die richtige Verteilung des Kalkes im Organismus reguliert. Ähnliche Einflüsse kommen der Licht- und Luftwirkung auf den jugendlichen Organismus zu.

Das B-Vitamin oder der in Wasser lösliche Diätfaktor B, auch Antineuritin oder antineuritisches Prinzip genannt, ist besonders durch

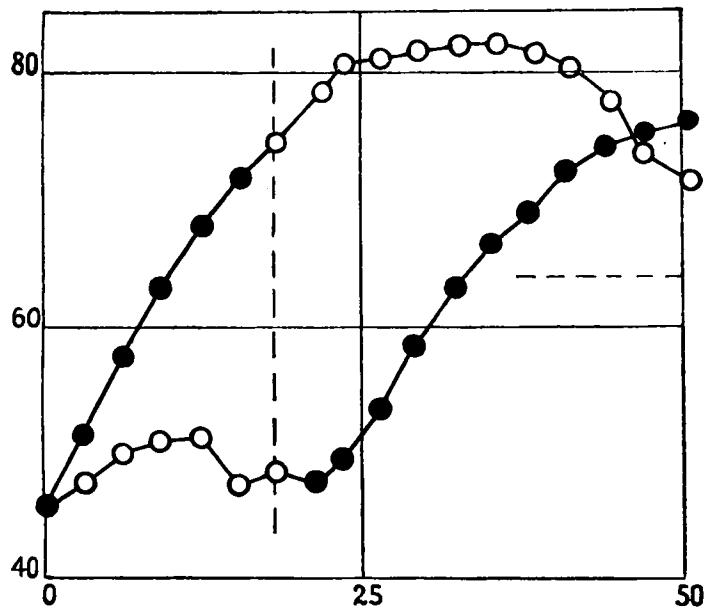


Fig. 2. Untere Kurve: 8 Ratten bei reiner künstlicher Ernährung. Obere Kurve: 8 ähnliche Ratten, von denen jede 3 ccm Milch erhielt. Am 18. Tage, bezeichnet durch die gestrichelte Linie, wurde die Milch von der einen Serie auf die andere übertragen.

die Arbeiten von Casimir Funk bekannt geworden. Die Untersuchungen über diesen Stoff und die durch einen Mangel desselben sich einstellenden Ausfallserscheinungen sind schon eingangs erwähnt. Sie können als Ausgangspunkt der modernen Vitaminforschung angesehen werden. Das B-Vitamin kommt in der Natur weit verbreitet vor, besonders in Hefe, in Nahrungsmitteln pflanzlichen Ursprungs. Bei den Getreidesamen sitzt das B-Vitamin besonders im Keimling und in der sogenannten Aleuronschicht, d. h. den Randpartien des Kernes,

welche bei der Vermahlung des Kernes in die Kleie gelangen. Dadurch erklärt sich auch das Auftreten der Beriberi nach längerem Genuss von poliertem Reis als alleinige Nahrung. Auch die feineren Getreideähnle werden durch das restlose Ausscheiden der Kleiteilchen ihres Vitamingehaltes beinahe ganz beraubt. Daher sind feine Weizengebäcke beinahe frei von Vitamin B, die dunklen und Schrotbrote reich daran. In dem vom Lister-Institut herausgegebenen Bericht des Medical Research Committee (London 1919) findet sich nachstehende Zusammenstellung, die über das Vorkommen und die Menge des B-Vitamins in verschiedenen Nahrungsstoffen Auskunft gibt. Die Wertigkeit des Weizenkeimlings ist zu 100 angenommen.

	Wert	Wassergehalt
		%
Weizenkeim	100	10—13
Weizenkleie	25	10—13
Reiskeim	200	10—13
Preßhefe	60	70
Erbosen	40	12
Linsen	80	—
Eidotter	50	70
Ochsenleber	50	70
Muskel vom Rind	11	75
Kartoffeln	4,3	80

Auch in Gemüsen: Spinat, Karotten, weißen Rüben, Kohlarten finden sich reichliche Mengen von B-Vitamin, ferner in Früchten: Tomaten, Orangen, Zitronen, Weintrauben, Äpfeln und Birnen. Das B-Vitamin ist gegen Hitze ziemlich beständig, besonders bei saurer Reaktion, so daß durch das Kochen der Speisen keine große Schädigung herbeigeführt wird. Dagegen wirkt Erhitzen und Druck, besonders bei alkalischer Reaktion, rasch zerstörend auf B-Stoffe ein. Es ist daher nicht verwunderlich, daß alle Manipulationen bei der Konservierung von Nahrungsmitteln, wie Trocknen, Räuchern usw. den Vitamingehalt der Fertigprodukte sehr stark schädigen oder ganz aufheben. Bei ungenügender Zufuhr von B-Vitamin treten bei Tier und Mensch sehr bald Stoffwechselstörungen ein. Besonders durch die Arbeiten von Osborne, Mendel und McCollum sind unsere Kenntnisse über das Auftreten der Krankheiterscheinungen wesentlich gefördert worden.

Es zeigt sich, daß nach kurzer Zeit die Nahrungsaufnahme abnimmt, gleichzeitig beginnt ein allgemeiner Schwächezustand. Im weiteren Verlauf der Erkrankung treten je nach der Tierart Störungen des Nervensystems ein, und zwar der peripheren Rückenmarksnerven wie auch der Zentralorgane. Besonders typisch sind die Lähmungserscheinungen bei Vögeln. Die Gewichtskurve fällt dauernd während des Verlaufes der Erkrankung. Sehr typisch ist bei solchen Zuständen das prompte Einsetzen einer Besserung nach Zugabe von antineuritischen Präparaten. Sofort beginnt ein Ansteigen der Gewichtskurve und Eintreten der Freßlust. Über die Frage, ob Beriberi und Polyneuritis gallinarum dieselben Krankheiten sind, ist es schwer, eine definitive Antwort zu geben. Der exakte Beweis der Identität ist solange nicht einwandfrei zu erbringen, solange die Stoffe nicht in reinem Zustand vorliegen und solange es nicht erwiesen ist, daß jeder Diätfaktor ein einfacher Stoff ist oder eine Mischung darstellt. Wir können soviel mit Gewißheit sagen, daß beide Erkrankungen in ihren Hauptzügen sich vollkommen gleichen. Ebenso wie man über die chemische Natur der A- und B-Stoffe unterrichtet ist, kennt man die physiologischen Wirkungen derselben. Es sind eine große Anzahl von Arbeiten in dieser Richtung ausgeführt worden, doch würde es zu weit führen, hier auf Einzelheiten einzugehen.

Auf Grund mannigfacher Untersuchungen darf man noch einen dritten unbekannten Stoff oder eine Stoffgruppe annehmen, die in der Nahrung nicht fehlen darf. Es handelt sich um das C-Vitamin. Es wird auch als antiskorbutische Substanz, antiskorbutischer Faktor oder als Antiskorbutin bezeichnet.

Die ersten Beobachtungen röhren von Holst und Fröhlich her, die zeigen konnten, daß Meerschweinchen nach ausschließlicher Ernährung mit Getreidekörnern (Hafer, Weizen, Roggen, Gerste) unter Erscheinungen erkranken, die in allen Einzelheiten dem menschlichen Skorbut gleichen. Die Stoffe, deren Fehlen diese Erkrankung auslösen, sind weit verbreitet, besonders in frischen Vegetabilien, Kohlarten, Kohlrüben, Kresse, Löwenzahn, Kartoffeln, ferner in Früchten, besonders in Tomaten, Orangen, Zitronen. Sehr reichlich ist das Vorkommen in Kuhmilch und Hühnereiern. Über den chemischen Bau der C-Stoffe ist nichts bekannt, wir wissen nur, daß sie sowohl in Wasser wie in Alkohol löslich und wie alle Vitamine dialysabel sind. Der Faktor ist sehr empfindlich gegen höhere Temperatur, besonders unter Druck. Die Reaktion ist auch von großer Bedeutung, da Säuren schützend wirken, während alkoholische Reaktion schädigend wirkt. Auch Eintrocknen und längeres Lagern von Nahrungs-

mitteln schädigt den C-Vitamingehalt. Rasches Trocknen, beispielsweise von Milch oder Fruchtsäften, schädigt nach den Versuchen von Heß deren Vitamingehalt wenig oder gar nicht.

Auch gegen oxydierende Einflüsse ist das C-Vitamin recht empfindlich. Vielleicht wirkt die Oxydation am meisten zerstörend bei unseren Nahrungsmitteln, besonders beim Aufbewahren. Sämtliche Büchsenkonserven (Gemüse, Milch) sind ihres C-Vitamingehaltes beraubt. Was die Ausfallserscheinungen bei Skorbut angeht, so werden da besonders die Gefäße befallen, so daß aus denselben Blut in das umgebende Gewebe austritt. Im weiteren Verlauf der Erkrankung treten Knochenveränderungen auf, die nach neueren Untersuchungen einem noch unbekannten Stoff, der verschieden von C-Vitamin ist, zugeschrieben werden. Nicht alle Tierklassen benötigen das antiskorbutische Vitamin, so daß dessen Unentbehrlichkeit nicht so allgemein ist, wie der B-Faktor. Es sei noch bemerkt, daß jugendliche wachsende Organismen schwerer unter dem Mangel an C-Stoffen leiden als ausgewachsene. Während des Weltkrieges konnte bei allen Armeen beobachtet werden, daß skorbutartige Erscheinungen nur bei denjenigen Truppenteilen auftraten, die wenig frische Nahrungsmittel erhielten, sondern in der Hauptsache auf Konserven angewiesen waren. In dem Bericht des Medical Research Committees finden sich sehr interessante Angaben über den Ausbruch der Krankheit.

Die Verteilung der drei Ergänzungsfaktoren in den verbreitetsten menschlichen Nahrungsmitteln.

Art des Nahrungsmittels	Fettlöslicher Faktor A oder antirachitischer Faktor	Wasserlöslicher Faktor B (anti-neurit. od. Anti-Beriberi-F.)	Antiskorbutischer Faktor C
Fette und Öle:			
Butter	+++	0	
Rahm	+++	0	
Lebertran	+++	0	
Hammelfett	++		
Erdnuß- oder Arachisöl	+		
Rinderfett oder -Talg	++		
Schweineschmalz	0		
Olivenöl	0		
Baumwollsaamenöl	0		
Kokosnussöl	0		
Kokosbutter	0		
Leinsameng.	0		
Fischöl, Walfischtran, Herringöl	++		
Gehärtete Fette, tierischen oder pflanzlichen Ursprungs	0		
Margarine aus tierischen Fetten, Wert nach Maßgabe des verwendeten Fettes	0		
Margarine aus Pflanzenfett	0		
Nußbutter	+		
Fleisch, Fisch usw.:			
Magerfleisch (Rind, Hammel usw.)	+	+	+
Leber	++	++	
Nieren	++	+	
Herz	++	+	
Gehirn	+	++	
Bries (Thymusdrüse)	+	++	
Fisch, weißes Fleisch	0	sehr wenig, wenn überhaupt dgl.	
Dgl. Fett (Lachs, Hering usw.)	++		
Dgl. Roggen	+	++	
Fleischkonserven in Büchsen	?	sehr wenig	0
Milch, Käse usw.:			
Kuhmilch, Vollmilch roh	++	+	+
Dgl. abgerahmt	0	+	
Dgl. Trockenmilch	weniger als + unbestimmt	++	weniger als +
Dgl. Vollmilch gekocht		+	dgl.
Dgl. kondensiert mit Zucker	+	+	dgl.
Käse aus Vollmilch	+		
Dgl. aus Magermilch	0		
Eier:			
Frisch	++	+++	? 0
Getrocknet	++	+++	? 0
Getreidearten, Hülsenfrüchte usw.:			
Weizen, Mais, Reis, Vollkorn	+	+	0
Dgl. Keim	++	+++	0
Dgl. Kleie	0	++	0
Weißes Weizenmehl, Auszug, geschliffener Reis u. a.	0	0	0

heit bei den britischen Truppen in Mesopotamien, bei denen in der Zeit vom 1. Juli bis 31. Dezember 1916 11000 schwere Fälle von Skorbut vorkamen. Mit dem Augenblick, wo eine Regelung der Zufuhr von frischem Fleisch, frischem Gemüse und Obst einsetzte, verschwand auch die Epidemie. Auch bei der Epidemie unter den serbischen Soldaten an der Salonikifront bestand die Kost in Fleisch und Brot, ersteres gekochtes Gefrier- oder Büchsenfleisch. Auch hier war offenbar Mangel an C-Stoffen in der Nahrung das ausschlaggebende Moment für die Entstehung der Krankheit.

Freise konnte durch eingehende Untersuchungen den Nachweis erbringen, daß die Möller-Barlowsche Krankheit nichts anderes ist, wie Skorbut der Kinder. Dieselbe wird hervorgerufen bei überwiegender Ernährung mit Kindermehl und Milchpräparaten oder hochsterilisierter Milch. Zu erwähnen wäre noch, daß noch eine Reihe anderer Erkrankungen auf mangelhafte Diät oder auf Fehlen von Vitaminen zurückgeführt werden, z. B. Pellagra, die nach reichlichem Genuß von Mais auftritt. Doch dürfte die Aufzählung derselben zu weit führen, besonders da noch häufig die Frage ungeklärt ist, ob eine Intoxikation oder Infektion oder Vitaminmangel die entscheidenden Faktoren sind.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die bisher bekannten Vitamine im Pflanzenreiche weit verbreitet sind und beim Aufbau des Pflanzenkörpers eine wichtige Rolle spielen. Ob der tierische Organismus die Vitamine selbst zu bilden vermag, ist bisher nicht zu entscheiden. Sicher ist, daß sie für den Ablauf des normalen Stoffwechsels unentbehrlich sind.

Die Untersuchungen über die Vitaminwirkungen sind zurzeit noch zu sehr in Fluß, um sich ein abschließendes Urteil erlauben zu können. So liegen Ergebnisse von Untersuchungen vor, die für einen Einfluß auf die Salzsäuresekretion des Magens sprechen. Abderhalden stellte einen erheblichen Einfluß, z. B. der B-Stoffe, auf den Gaswechsel und die Oxydationsprozesse in den Zellen fest, auch gelang der Nachweis, daß Fermentprozesse durch diese Stoffe wesentlich gesteigert werden. Ebenso finden sich Beobachtungen über Einwirkungen auf die Tätigkeit der endokrinen Drüsen. Von großer Bedeutung ist die Eigenschaft der Vitamine, die Widerstandskraft des tierischen Organismus gegen Infektionen zu erhöhen. Es würde zu weit führen, ausführlich auf alle diese Beobachtungen einzugehen. In der Praxis macht man schon heute weitgehenden Gebrauch von den bisherigen Erfahrungen bei der Ernährung von Mensch und Tier.

Nebenstehend findet sich noch eine kurze Zusammenstellung über die Verteilung der drei Vitamine in den wichtigsten Nahrungsmitteln.

[A. 49.]

Beiträge zur Kenntnis der hydraulischen Bindemittel. I.

Von E. BERL und W. URBAN.

Mitteilung aus dem chemisch-technischen und elektrochemischen Institut der Technischen Hochschule Darmstadt.

(Eingeg. 19.3. 1923)

Gelegentlich der Untersuchung von Trassen, über die später berichtet werden soll, schien es von Wichtigkeit, die Reaktionen des Ätzalkals mit den hydraulischen Silikatmineralien im Tuffgestein zuerst an den Modellen der Einfachsysteme: Kalk/Kieselsäure, Kalk/Tonerde, Kieselsäure/Tonerde und anderer Kombinationen zu verfolgen.

Wenngleich dieser Gedankengang bei der Erforschung der künstlichen Zemente durch die Untersuchung der Schmelzflüsssynthesen¹⁾ bereits verfolgt wurde, so handelte es sich dabei stets infolge der Diffusion der flüssigen Komponenten um homogene Systeme. Die so erhaltenen Produkte, teils langsam abgekühlt, teils durch einen Granulationsprozeß in ihrem Hochtemperaturgleichgewicht stabilisiert, wurden auf ihre hydraulischen Eigenschaften hin geprüft²⁾.

Im vorliegenden Falle erstreckte sich die Untersuchung auf die heterogenen Systeme, die bei niedrigen Temperaturen durch die Einwirkung von Kalk auf Kieselsäure und auf Tonerde resultieren. Zu diesem Zweck wurden die Komponenten im amorphen Zustand, demnach in ihrer oberflächenreichsten und reaktionsfähigsten Form, zur Erreichung einer größeren Reaktionsgeschwindigkeit angewandt, und der jeweilige Verlauf der Erhärtung durch die

¹⁾ Vgl. besonders Zulkowsky: Erhärtungstheorie d. hydraul. Bindemittel, Berlin 1901; Le Chatelier: Mortiers hydrauliques, Paris 1904; C. Schott: Kalksilikate u. Kalkaluminat in ihrer Beziehung zum Portlandzement, Heidelberg 1906.

²⁾ Passow, Hochfenzement, Berlin 1913; Meißner, Zement 8, 296, [1919]; Endell, Zement 3 283, [1914]; 7 306, [1918]; 8 319, [1919]; Shepard-Rankin-Wright, Ztschr. f. anorgan. Chem. 71, 19 [1911]; Bates, Zement 2 76 [1913]; Mervin, Journ. Amer. Chem. Soc. 38 568 [1916]; Amer. Journ. Science 45 301 [1918] Olav Andersen, Norges Geologiske Undersokelse 101, Kristiania 1922.