

Ernährung und Leistungsfähigkeit

Von Prof. Dr. HEINRICH KRAUT und Dr. WERNER DROESE

Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie, Dortmund

I. Die Aufgabe der einzelnen Nahrungsbestandteile.

Zum ersten Male ist die Frage nach den chemischen Zusammenhängen zwischen Ernährung und Leistungsfähigkeit von J. Liebig in seinem Buch „Organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie“¹⁾ gestellt worden. Er sieht in jeder Bewegung, in jeder Kraftäußerung die Folge einer chemischen Umsetzung der Substanz der Organe und setzt sich mit größtem Nachdruck dafür ein, daß das Studium dieser Umsetzungen einen unentbehrlichen Teil physiologischer Forschungen bilden müsse. In seinen tierphysiologischen Untersuchungen bewies Liebig, daß die Verbrennung von Körpersubstanzen durch Luftsauerstoff die einzige Quelle der tierischen Wärme ist. „In dem tierischen Körper erkennen wir als die letzte Ursache aller Kräfteerzeugung nur eine, und diese ist die Wechselwirkung, welche die Bestandteile der Speisen und der Sauerstoff der Luft aufeinander ausüben.“ ... „Stoffwechsel, mechanische Kraftäußerung und Sauerstoffaufnahme stehen im Tierkörper in so enger Beziehung zueinander, daß man die Quantität von Bewegung, die Menge des umgesetzten belebten Stoffes in einerlei Verhältnis setzen kann mit einer gewissen Menge des von dem Tier in einer gegebenen Zeit aufgenommenen und verbrauchten Sauerstoffs.“

Damit ist die erste und wichtigste Frage des Zusammenhangs zwischen Ernährung und Leistungsfähigkeit beantwortet. Es ist die Aufgabe der Ernährung, dem Körper die zur Kräfteerzeugung verbrannten Stoffe wieder zur Verfügung zu stellen. Während aber Lavoisier in seinem berühmten Calorimeterversuch sich damit begnügt hatte, festzustellen, daß die von einem Meerschweinchen abgegebene Wärmemenge der Bildungswärme von CO_2 und H_2O aus C- und H-reichen organischen Verbindungen entsprach, hielt es Liebig für erforderlich, die Umsetzung der mit der Nahrung aufgenommenen Substanzen Schritt für Schritt bis zu den Exkretionsstufen, also den gesamten intermediären Stoffwechsel zu untersuchen. Als Endprodukte dieses Stoffwechsels erscheinen CO_2 und H_2O in der Ausatemungsluft, die stickstoffhaltigen Nahrungsbestandteile geben dagegen Harnstoff, Harnsäure usw., die zum größten Teil durch die Nieren, zu einem kleinen auch durch die Schweißdrüsen ausgeschieden werden. Liebig erkannte, daß die Bestimmung des Stickstoffs im Harn ein Maß für die Beteiligung der stickstoffhaltigen Nahrungsbestandteile an dem Verbrennungsprozeß ist.

Damit ist Liebig der Begründer der modernen Ernährungslehre geworden. Der Respirationsversuch zum Studium der Verbrennungsprozesse, der Vergleich von Aufnahme und Ausscheidung, also die Stoffwechselbilanz sind zu unentbehrlichen Verfahren der Forschung auf dem Ernährungsgebiet geworden. Indessen hat Liebig selbst aus den verschiedenen Abbauebenen der stickstoffhaltigen und der stickstofffreien Substanzen einen verfehlten Schluß gezogen und mit dem ihm eigenen Temperament verteidigt. Er glaubte nämlich, daß die stickstofffreien Substanzen, deren Endprodukte nur CO_2 und H_2O sind, „ausschließlich zur Aufrechterhaltung der Atmung“ dienen, also zur Erzeugung von Wärme. Er nannte sie daher Respirationsmittel. Zur Bildung von Blut und Organen stellten dagegen die stickstoffhaltigen Nährstoffe dienen, die er deshalb plastische Nahrungsmittel nannte. Da alle Bewegungserscheinungen im Tierorganismus von der Anzahl und Masse der geformten Teile abhängig sind, hielt er den Umsatz von plastischen Nahrungsmitteln für die Quelle der Muskelkraft. Diese Ansicht hat zuerst C. Voit²⁾ widerlegt,

dem wir vor anderen die Technik des Stoffwechselversuchs und seine kritische Bewertung verdanken. Er fand an Hunden und später gemeinsam mit M. Pettenkofer³⁾ auch an Menschen, daß mehrstündige körperliche Arbeit keine Vermehrung der Stickstoffausscheidung hervorruft, wenn man eine Ernährung wählt, die ein Gleichgewicht von Stickstoffaufnahme und -ausscheidung herbeizuführen in der Lage ist.

Fast zur selben Zeit haben zwei andere Forscher, A. Fick u. J. Wislicenus⁴⁾, einen berühmt gewordenen Versuch unternommen, um eine Entscheidung der Frage herbeizuführen, ob das Eiweiß die energieliefernde Substanz sei. Sie bestiegen vom Briener See aus das Faulhorn, wobei sie am Abend vorher und während des Versuches stickstoffhaltige Nahrung vermieden. Sie sammelten ihre Ausscheidungen und fanden, daß der aus dem Stickstoffgehalt des Harns berechnete Eiweißumsatz lange nicht ausreichte, um den Calorienbedarf für die 1950 m betragende Steigung zu decken, so daß unbedingt stickstofffreie Körpersubstanzen zur Verbrennung herangezogen sein mußten. Die energetische Betrachtungsweise stand von da ab im Vordergrund der Untersuchungen. Schon Lavoisier u. Seguin⁵⁾ hatten 1789 eine Vermehrung des Sauerstoffverbrauchs bei Muskelarbeit beobachtet. Wieweit Lavoisier, der den Satz von der Erhaltung der Substanz in klassischen Versuchen bewiesen hatte, den Satz von der Erhaltung der Energie, den ersten Hauptsatz der Wärmelehre, verwendet hat, ohne ihn zu formulieren, ist bekanntlich eine offene Frage. Sicher ist, daß sein Begründer Robert Mayer ihn auch auf die Vorgänge im lebenden Organismus anwandte, wobei er zu dem Ergebnis kam: „Der Oxydationsprozeß ist die physikalische Bedingung der mechanischen Arbeitsfähigkeit des Organismus“⁶⁾.

Eine Berechnung der Arbeitsfähigkeit setzt aber die Kenntnis dessen voraus, wie weit die einzelnen Nahrungsbestandteile zu der Energiebilanz der Arbeit beitragen. Sie wurde durch Max Rubner's große Untersuchung über „die Vertretungswerte der hauptsächlichsten organischen Nahrungsstoffe im Tierkörper“⁷⁾ gewonnen. Er fand, daß diejenigen Mengen von Eiweiß, Fett und Kohlenhydraten gleichwertig oder isodynam sind, die gleichen Energieinhalt haben. Man muß nur den Energieinhalt unter Berücksichtigung des restlichen Energieinhalts der Ausscheidungsprodukte im Harn und Kot ermitteln. Er schlägt daher vor, bei der Berechnung des Gesamtstoffwechsels an Stelle der isodynamen Größen einfach die Summe der calorischen Werte der Nahrungsstoffe einzusetzen, nämlich

4,1 cal pro Gramm Eiweiß,
4,1 cal pro Gramm Kohlenhydrat,
9,0 cal pro Gramm Fett.

Wieviel von jedem im einzelnen Fall verbrannt wurde, läßt sich aus den Ausscheidungen berechnen. Der Stickstoffgehalt des Harns gibt ein Maß des Eiweißabbaus. Das Verhältnis von abgegebener Kohlensäure zu aufgenommenem Sauerstoff, das man nach Pflüger den respiratorischen Quotienten (R.Q.) nennt, ergibt nach Abzug der auf die Eiweißverbrennung entfallenden Mengen das Verhältnis der Verbrennung von Kohlenhydraten und Fett. Der R.Q. ist bei reiner Kohlenhydratverbrennung = 1,0, bei reiner Fettverbrennung = 0,71, bei reiner Eiweißverbrennung = 0,80.

Damit ist eine ungeheure Vereinfachung und Klärung unserer ernährungsphysiologischen Vorstellungen und Berechnungen gewonnen worden. Ebenso wie bei einer Kraftmaschine können wir auch bei menschlicher Arbeitsleistung von dem Brennwert der Nahrungsmittel ausgehen. Dies

¹⁾ Organ. Chemie in ihrer Anwendung auf Physiol. und Pathol. 1. Aufl. 1842.

²⁾ Untersuchung über den Einfluß des Kocalsalzes, des Kaffees und der Muskelbewegung auf den Stoffwechsel, München 1860.

³⁾ Z. Biol. 2, 459 [1866].

⁴⁾ Vjschr. naturforsch. Ges. Zürich 10, 317 [1866].

⁵⁾ Oeuvres de Lavoisier 1789, Bd. 2, S. 688, 696.

⁶⁾ Mayers Schriften 1893, Bd. 2, S. 249.

⁷⁾ Z. Biol. 19, 313 [1883].

scheint uns heute selbstverständlich. Es war aber keineswegs vorauszu sehen, sondern mußte erst durch besondere Versuche erwiesen werden, daß die verschiedenen Nährstoffe tatsächlich zu den energieliefernden Prozessen herangezogen werden. Für das Eiweiß trifft dies auch nur mit einer gewissen Einschränkung zu. Die wichtigste Aufgabe des Nahrungseiweißes ist nicht die Calorienlieferung, sondern die Gewährleistung von Wachstum und Erhaltung des Zellprotoplasmas. Es war wiederum Rubner⁶⁾, der aus der Vielzahl von Untersuchungen, unter denen die von Voit, Pflüger, Hofmeister besonders hervorzuheben sind, unsere heutigen Vorstellungen über den Eiweißstoffwechsel herausgearbeitet hat. Nach Rubner ist „das energetische Prinzip der Nahrungsregulierung in der Natur das Tiefergehende und Universellere, weil es die Zellen unabhängig von den Lebensbedingungen macht, ihnen unter den verschiedensten Umständen erlaubt, ihren Aufgaben und Zielen gerecht zu werden.“ Der Eiweißstoffwechsel ist daher nur im Zusammenhang mit dem gesamten Zelleben zu betrachten, aus dem die energetischen Beziehungen nicht weggedacht werden können. Zur Deckung des Energiebedarfs greift der Körper, wenn ihm nicht genügend Nahrung zur Verfügung steht, seine eigenen Bestände an, und zwar neben Kohlenhydraten und Fett auch das Eiweiß. Die erste Aufgabe der Nahrung kann daher auch darin erblickt werden, den Bestand des Körpers zu sichern. Unter den Körperinhaltsstoffen spielt aber das Eiweiß eine besondere Rolle. Liebig erkannte richtig, daß sich am Eiweiß — an den „plastischen“ Bestandteilen — die Lebensprozesse abspielen. Der Umfang der dem Körper möglichen energetischen Betätigung hängt daher von seinem Bestand an Protoplasmaeiweiß ab. „Die Mehrung der lebenden Substanz hat mit dem Kraftwechsel selbst nichts zu tun, beides sind getrennte und wohl zu scheidende Funktionen“ (Rubner). Es muß also der ersten Forderung nach einer calorisch ausreichenden Ernährung die zweite Forderung nach einer den notwendigen Eiweißbestand des Körpers garantierenden Ernährung angefügt werden. Es ist aber ein Zeichen für die wunderbare Ökonomie der Lebensprozesse, daß alles Eiweiß, das nicht zu diesem Zweck verwendet wird, von den stickstoffhaltigen Gruppen befreit und nun den energetischen Zwecken zugeleitet wird.

Zur Erhaltung des Eiweißbestandes genügt es nicht, daß eine calorisch ausreichende Nahrung den Rückgriff auf die Eiweißbestände des Körpers verhindert. Es findet auch bei calorisch ausreichender Ernährung eine dauernde Abnutzung des Körpereiwisses statt, die Rubner mit „Abnutzungsquote“ bezeichnet. Ihr Umfang hängt von dem Eiweißbestand ab, ist also für einen eiweißreichen Körper größer als für einen eiweißarmen. Diejenige kleinste Menge Nahrungseiweiß, die bei ausreichender Deckung des Calorienbedarfs gerade noch in der Lage ist, den Stickstoffverlust des Körpers auszugleichen, nennt man „das physiologische Eiweißminimum“. Es liegt i. allg. höher als die Abnutzungsquote, aber seine Höhe ist, wie Rubner feststellte, je nach dem zur Nahrung verwendeten Eiweiß verschieden. Diese verschiedene Wertigkeit des Nahrungseiweißes hat K. Thomas⁹⁾ näher untersucht. Er definiert als biologische Wertigkeit eines Eiweißkörpers diejenige Zahl, die angibt, wieviel Teile Körperstickstoff von 100 Teilen Nahrungseiweiß vertreten werden können. Die höchste biologische Wertigkeit fand er bei Rindfleisch mit 105, dann folgten Milch mit 100, Fisch mit 95, Reis mit 88, Kartoffeln mit 79, Hefe mit 70 und schließlich das übrige pflanzliche Eiweiß, wobei Mais mit 30 unter den geprüften die letzte Stelle einnahm. Wenn sich auch später herausstellte, daß der wechselnde Vitamingehalt der von K. Thomas verwendeten Nahrungsmittel das Ergebnis seiner Versuche etwas beeinflusst hatte, so blieb doch die Tatsache der Abstufung und i. allg. auch die von ihm gefundene Reihenfolge bestehen. Sehr wichtig ist, daß Gemische von Eiweiß verschiedener Herkunft eine höhere Wertigkeit besitzen als dem Durchschnitt der Komponenten entspricht. Der Grund für die Abstufung liegt in dem verschiedenartigen Aufbau der Proteine in bezug auf ihre Aminosäuren. Die Mehrzahl der Aminosäuren kann der menschliche Organismus selbst aus anderem Material aufbauen¹⁰⁾, während er nach W. C. Rose¹¹⁾ den Bedarf an fol-

genden 10 Aminosäuren aus der Nahrung decken muß: Valin, Leucin, Isoleucin, Lysin, (Arginin), Methionin, Threonin, Tryptophan, Histidin, Phenylalanin. Nach dem Bedarf des Körpers an den betreffenden Aminosäuren richtet sich der biologische Wert eines Eiweißkörpers. Es leuchtet daher ein, daß eine gemischte Kost viel leichter in der Lage ist, den Bedarf an allen unentbehrlichen Aminosäuren zu befriedigen als eine einseitig nur auf wenige Eiweißträger aufgebaute Nahrung.

Die zahlreichen Untersuchungen der beiden letzten Jahrzehnte über die Bedeutung der Vitamine haben gelehrt, daß eine ausreichende Vitaminversorgung ebenso wie für die Gesundheit, so auch für die Leistungsfähigkeit unerlässlich ist. Ferner wissen wir heute, daß den mineralischen Bestandteilen der Nahrung eine besondere Bedeutung für den richtigen Ablauf des Organismus zukommt. Das Verhältnis der Ionen zueinander ist für das allgemeine Zellgeschehen, andere anorganische Stoffe sind für bestimmte Funktionen, wie z. B. Phosphat für den Kohlenhydratabbau, von ausschlaggebender Bedeutung.

Wir kommen damit zu dem Ergebnis, daß für die Erhaltung der körperlichen Leistungsfähigkeit die Nahrung folgenden Anforderungen entsprechen muß:

- Ausreichender Gehalt an Calorien für den Energiebedarf,
- genügend Eiweiß zur Erhaltung oder Ergänzung des Körpereiwisses,
- genügend Vitamine und Mineralsalze zur Liganghaltung der Körperfunktionen.

Der Calorienaufwand bei einer bestimmten Tätigkeit läßt sich durch Bestimmung der ausgeatmeten Kohlensäure und des aufgenommenen Sauerstoffs mit großer Sicherheit bestimmen. Regnault u. Reiset¹²⁾ und später C. Voi u. M. Pettenkofer¹³⁾ verwendeten dazu Respirationskammern F. G. Benedict¹⁴⁾ setzte an ihre Stelle einen zirkulierenden Luftstrom, an den der Arbeitende durch ein Mundstück angeschlossen ist. Der Luftstrom passiert erst Trockenapparate dann einen Natronkalkturm, dessen Gewichtszunahme der ausgeatmeten Kohlensäure entspricht, während der Sauerstoffverbrauch einen Unterdruck in dem System erzeugt, so daß die Wiederherstellung des ursprünglichen Drucks mit der durch eine Gasuhr zuströmenden Sauerstoff zugleich ein Maß für dessen Verbrauch ist. Beide Verfahren haben den Nachteil der Ortsgebundenheit. Sie erlauben es wohl, eine bestimmte Laboratoriumsarbeit, z. B. auf dem Fahrrad-Ergometer genau zu studieren, sind aber unbrauchbar, wenn es sich um die Messung des Calorienbedarfs eines Berufes handelt. Hier kann man nach dem Vorschlag von C. G. Douglas u. J. v. Priestley¹⁵⁾ gummierte Leinwandsäcke verwenden, die der Arbeitende auf dem Rücken trägt und die er durch ein Atemventil mit Ausatemungsluft anfüllt. In einer Probe aus dem Atemsack wird dann gasanalytisch der Gehalt an CO₂ und O₂ bestimmt. Das Verfahren ist zuverlässig, aber die Größe der verwendeten Säcke (100—200 l) behindert den Arbeiter. Auch sind sie nach kurzer Zeit, bei Schwerarbeit schon in wenigen Minuten gefüllt.

Die Folge dieser Schwierigkeiten ist, daß wir über den Calorienbedarf der Berufe noch wenig zuverlässige Unterlagen besitzen. Man hat wohl für einzelne Arbeitsprozesse im Respirationsversuch den Calorienverbrauch festgestellt, aber die Berechnung ganzer Arbeitstage aus diesen Stichproben führte zu unwahrscheinlich hohen Zahlen. Die Calorienrechnung ist durch das offenbare Mißverhältnis zwischen dem tatsächlichen Verbrauch der Arbeiter und dem aus Respirationsversuchen errechneten viel höheren Bedarf der betreffenden Berufe etwas in Mißkredit geraten. So finden Wolpert¹⁶⁾, G. Becker u. J. W. Hämmäläinen¹⁷⁾, Th. M. Carpenter u. F. G. Benedict¹⁸⁾ viel zu hohe Werte. Schuld daran war nicht nur die zu kurze Versuchsdauer, sondern auch die Belastung des Arbeiters durch die fremde Umgebung und das Gefühl, beobachtet zu werden. Die gemessenen Arbeitselemente entsprechen daher sicher nicht der gewohnten

⁶⁾ Theorie d. Ernährung nach Vervollendung des Wachstums, Arch. Hyg. 86, 1 [1908].

⁷⁾ Arch. Physiol. 1909, 219; 1910 Suppl. 249.

⁸⁾ F. Knoop u. H. Oesterlin, Hoppe-Seyler's Z. physiol. Chem. 148, 294 [1925].

⁹⁾ Physiologic. Rev. 18, 109 [1933].

¹²⁾ Ann. chim. et phys. (3) 26, 299 [1849].

¹³⁾ Ann. Chem. Pharm. 2, Suppl. 47, 60, 376 [1863].

¹⁴⁾ Abderhalden: Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden 4, Tl. 10, 15 [1926].

¹⁵⁾ Human Physiology. A Practical Course. Oxford 1924.

¹⁶⁾ Arch. Hyg. 26, 68 [1896].

¹⁷⁾ Skand. Arch. Physiol. 31, 198 [1904].

¹⁸⁾ J. biol. Chemistry, 271 [1900].

Ausführungsform; auch muß man die Häufigkeit jedes einzelnen Arbeitsprozesses und seine Dauer, sowie sämtliche — auch die kürzesten — Ruhepausen mit dem richtigen Wert in die Gesamtberechnung des Calorienbedarfs einsetzen. Dies ist in vorbildlicher Weise bisher nur von G. Farkas u. Mitarbeitern¹⁹⁻²³⁾ an ungarischen Handwerkern und Erntearbeitern geschehen. Sie bestimmten den gesamten Tagesverlauf in eingehenden Zeitstudien, so daß jeder einzelne Arbeitsprozeß und die Ruhepausen nach Calorienverbrauch, Dauer und Häufigkeit richtig bewertet werden konnten. Hieraus setzten sie den Energieverbrauch des ganzen Tages zusammen und fanden für ungarische landwirtschaftliche Arbeiter einen täglichen Calorienverbrauch von 4700—5200 Calorien bei Erntearbeit, von rd. 4000 beim Dreschen. Ein Schneider verbrauchte z. B. während der Arbeitszeit rd. 60 Calorien pro Stunde mehr als bei körperlicher Ruhe, ein Schmied dagegen 300 Calorien. Das Zusammensetzen des Tageslaufs aus sehr vielen kleinen Stücken ist ein großer Nachteil dieser Methode, zumal der einzelne Respirationsversuch mit dem Douglas-Sack jeweils nur einige Minuten umfaßt. Es war daher ein wesentlicher Fortschritt, daß E. Kojrányi u. H. F. Michaelis²⁴⁾ eine kleine, leicht tragbare Gasuhr konstruierten, bei der aus der gemessenen Ausatemungsluft mit einer kleinen Pumpe ein bestimmter Bruchteil, z. B. $\frac{1}{1000}$ in eine Gummiblase (Fußballblase) abgezogen wird. Die Füllung der auch während des Versuches leicht auszuwechselnden Gummiblase dauert $\frac{1}{2}$ h, so daß man nunmehr Arbeitselemente von sehr viel größerer Dauer untersuchen kann.

Auch die Bewertung der Haushaltstatistik, deren Ergebnisse so wenig mit dem gemessenen Calorienverbrauch übereinstimmen, hat neuerdings eine wesentliche Veränderung erfahren. Man hatte es bisher versäumt, die Berufsschwere bei der Berechnung der Vollpersonenzahl, die allein den Vergleich verschiedener Haushaltungen erlaubt, einzusetzen, sondern für den arbeitenden Mann immer den Durchschnittsbedarf von 3000 Calorien angenommen. Die Schneider, die nur 2400 bis 2700 Calorien brauchen, erschienen daher stets unterernährt, die Bergleute mit einem Bedarf von 4200—4800 dagegen stets überernährt. Um dieses Mißverhältnis zu beseitigen, ist ein neues Verfahren zur Bewertung von Haushaltstatistiken unter Berücksichtigung der Berufsschwere von H. Kraut, G. Lehmann u. H. Bramsel²⁵⁾ ausgearbeitet worden. Es hat sich gezeigt, daß nunmehr die aus Zeitstudien und Respirationsversuch gewonnenen Zahlen des Calorienbedarfs mit den aus der Ernährungsstatistik erhaltenen Angaben des Calorienverbrauchs befriedigend übereinstimmen, so daß man an die Ausarbeitung einer Skala der Berufsschwere herangehen kann.

Während es zur Bestimmung des Calorienbedarfes genügt, einfache Stoffwechselbestimmungen auszuführen, ist es zur Beurteilung des Bedarfes an den übrigen Nahrungskomponenten notwendig, besondere Methoden zur Messung der Leistungsfähigkeit anzuwenden. Es ist klar, daß ein unterernährter Organismus weniger leistungsfähig ist als ein ausreichend oder reichlich ernährter, daß eine Vitaminmangelkrankheit oder auch schon ihre Vorstufe, die Hypovitaminose, uns nicht in den Vollbesitz körperlicher Frische und Leistungsfähigkeit gelangen läßt. Was uns aber hier besonders interessiert, ist die Frage, welcher Zusammenhang zwischen den einzelnen Komponenten der Nahrung und der Fähigkeit zur Leistung körperlicher Arbeit existiert.

Es ist darauf hinzuweisen, daß im folgenden stets von Leistungsfähigkeit die Rede ist, nicht aber von dem Umfang der Leistungen, etwa dem Tagespensum eines Arbeiters. Eine Steigerung der Leistungsfähigkeit wird aber notwendig auch zu einer Steigerung der Leistungen führen, wenn nur der Wille zu erhöhter Leistung vorhanden ist. Es ist deshalb gerade heute, wo der Mangel an Arbeitskräften den optimalen Einsatz der vorhandenen Kräfte gebieterisch verlangt, ein besonders wichtiger Zweig arbeitsphysiologischer Forschung, der sich mit den Zusammenhängen zwischen Ernährung und Leistungsfähigkeit beschäftigt.

II. Die Methoden zur Messung der Leistungsfähigkeit.

Um zu ermitteln, wie weit ein Nahrungsbestandteil die Leistungsfähigkeit beeinflusst, ist es notwendig, ein möglichst objektives Maß der Leistungsfähigkeit zu besitzen. Es läßt sich der Einfluß variiert Mengen eines zu prüfenden Nahrungsbestandteiles auf die Leistungsfähigkeit aus den Leistungsmessungen erkennen, wenn man nur gleichzeitig die Zutuhr der übrigen Nahrungsbestandteile, soweit möglich, konstant hält. Dieses Verfahren entspricht der Messung eines Enzyms auf Grund seiner Wirkungsweise. Ebenso wie man quantitative Methoden zur Enzymbestimmung ausarbeiten mußte, ehe man das Wesen der Enzymwirkung erkennen konnte, ist es notwendig, den Einfluß der Nahrungskomponenten auf die Leistungsfähigkeit quantitativ zu bestimmen, wenn man ihre Rolle studieren und von der Ernährungsseite her die Leistungsfähigkeit erhalten oder steigern will. Nur muß man sich darüber klar sein, daß es sich hier um noch viel kompliziertere Vorgänge handelt als bei der Untersuchung enzymatischer Reaktionen. Anderweitige Beeinflussungen der Leistungsfähigkeit, unter denen das normale Training, d. i. das Anwachsen der Leistungsfähigkeit durch die Wiederholung des Arbeitsvorganges, die wichtigste ist, sind möglichst auszuschalten. Es ist daher meist eine Vorperiode von mehreren Wochen zur Ermittlung der normalen Leistungsfähigkeit und zur Beurteilung ihrer Schwankungen notwendig. Der Versuch selbst muß so lange ausgedehnt werden, bis man eine Veränderung oder das Ausbleiben der Veränderung durch die zu untersuchende Veränderung des Ernährungsregimes mit Sicherheit festgestellt hat. Ist eine Veränderung eingetreten, so muß sich unbedingt eine Nachperiode anschließen, um festzustellen, ob sich mit der Rückkehr zum Ernährungsregime der Vorperiode der ursprüngliche Leistungszustand wieder einstellt. Erst dann kann man wirklich die beobachtete Veränderung der Leistungsfähigkeit der vorgenommenen Änderung des Ernährungsregimes zuschreiben. Häufig wird man die Messung der Leistungsfähigkeit durch gleichzeitig ausgeführte Stoffwechselbilanzen ergänzen, um festzustellen, ob die vorgenommene Ernährungsänderung wirklich eine entsprechende Änderung der Stoffwechsellaage im Gefolge hatte. Jeder einzelne Versuch dauert daher wochen- und monatelang und erfordert umfangreiche physiologische und physiologisch-chemische Meßreihen. Um so unentbehrlicher sind zuverlässige Methoden zur Bestimmung des wesentlichen Momentes, nämlich der Leistungsfähigkeit.

Der erste Schritt zur Leistungsbestimmung ist eine genaue Dosierung der auszuführenden Arbeit. Die in der Berufspraxis geleistete Arbeit verläuft nur in wenigen Sonderfällen so gleichmäßig, daß man sie unmittelbar als Maßstab verwenden kann. Für die Messung körperlicher Arbeit im Laboratorium sind zwei Apparate besonders geeignet, das Fahrrad-Ergometer und die Tretbahn, da sie erlauben, unabhängig von Witterungseinflüssen möglichst große Muskelmassen in einfacher Form zu bewegen und nicht nur die geleistete Arbeit genau zu messen, sondern auch an dem Arbeitenden noch beliebige andere Organfunktionen zu bestimmen. Auch läßt sich der einzelne Versuch genügend lang ausdehnen, um wirklich die Leistungsfähigkeit der Organe unter dem Einfluß körperlicher Belastung zu erfahren. Kurzversuche ergeben nämlich kein klares Bild der Leistungsfähigkeit, da ihr Ergebnis nur davon abhängt, wie Atmung und Kreislauf auf die plötzliche starke Beanspruchung reagieren.

Das feststehende Fahrrad-Ergometer wird häufig in der von A. Krogh angegebenen Form gebraucht²⁶⁾. Es besitzt an Stelle des Hinterrades eine kupferne Scheibe, die durch die Pedale in Bewegung gesetzt und durch neben der Kupferscheibe angebrachte, stromdurchflossene Magnete in genau dosierbarer Weise gebremst wird. Die Leistung wird durch Belastung der beweglichen Elektromagnete mit Gewichten variiert, die geleistete Arbeit aus Umdrehungszahl und Belastung in Meterkilogramm errechnet. Beim Knippingschen Fahrrad-Ergometer²⁷⁾ wird durch die Umdrehung elektrischer Strom erzeugt und in einem Widerstand vernichtet. Die Belastung kann durch die Änderung dieses Widerstandes reguliert und die geleistete Arbeit in Watt-Sekunden gemessen werden.

Die Tretbahn ist von N. Zuntz eingeführt worden. Eine zweckmäßige Form wird von F. G. Benedict¹⁴⁾ beschrieben. Sie

¹⁹⁾ Arch. Hyg. 104, 1 [1930].

²¹⁾ Ebenda 2, 97 [1930].

²²⁾ Ebenda 5, 434 [1932].

²³⁾ Ebenda 11, 148 [1940].

²⁴⁾ Arbeitsphysiol. 1, 466 [1929].

²⁵⁾ Ebenda 5, 569 [1932].

²⁶⁾ Ebenda 10, 440 [1939].

²⁷⁾ Skand. Arch. Physiol. 30, 375 [1913].

²⁷⁾ Z. ges. exp. Med. 66, 517 [1920].

ermöglicht es, im Laboratorium Marschleistungen bei verschiedener Marschgeschwindigkeit in der Ebene und bei Schrägstellung der Lauffläche auch im Steigen ausführen zu lassen.

Um mit diesen Werkzeugen quantitative Leistungsmessungen auszuführen, ist es am einfachsten, unmittelbar die maximal mögliche Arbeit zu bestimmen (Methode 1). Die Begrenzung hängt im wesentlichen ab von der Leistungsfähigkeit von Herz, Kreislauf und Atmung. Es können aber auch andere Funktionen, z. B. der Blutzuckerspiegel, die Ursache des „nicht mehr Könnens“ bilden, die sich nicht immer mit der wünschenswerten Genauigkeit erkennen lassen. Der Begriff der „Ermüdung“ enthält vor allem noch das psychische Moment, das sich jeder genauen Messung entzieht. In vielen Fällen ist wohl die totale Erschöpfung z. B. durch die äußerste Beanspruchung von Kreislauf oder Atmung objektiv feststellbar, in anderen dagegen ist objektiv noch kein Leistungsende zu erkennen, und trotzdem erklären die Versuchspersonen, völlig erschöpft zu sein. Es besteht also neben der objektiven eine subjektive Leistungsgrenze, die gekennzeichnet ist durch „die Summe aller negativen Funktionen der Ermüdung und Unlust, die größer empfunden werden als die positiven Faktoren des Antriebes und des Leistungswillens“ (Szakáll²⁸). Wie weit es gelingt, diese subjektive Leistungsgrenze zu überschreiten, die als Warnzeichen des Körpers vor zu weitgehender Erschöpfung zu betrachten ist, hängt von der individuell verschiedenen charakterlichen Veranlagung ab.

Die subjektive Leistungsgrenze läßt sich aber durch manche Stoffe erhöhen, die wir mit der Nahrung zu uns nehmen. Die meisten Genußmittel verdanken ihre Wertschätzung dem Einfluß auf die subjektive Leistungsgrenze. Die Verschiebung kann auf zweierlei Weise erfolgen, erstens durch eine zentrale Anregung, wie sie vor allem von Coffein und Cola²⁹) bekannt ist, zweitens durch Beseitigung des Ermüdungsgefühls und unmittelbare Erzeugung euphorischer Gefühle, wodurch jene Warnzeichen nicht mehr als solche empfunden werden, so daß ein verstärkter Rückgriff auf die Reserven ermöglicht wird. Zu dieser Gruppe gehört vor allem der in geringen Mengen genossene Alkohol³⁰). Bei zu starken Dosen überwiegt dagegen die lähmende Wirkung, so daß eine Leistungsverminderung eintritt³¹). Eine noch weitere Ausschöpfung der Reserven läßt sich auf pharmakologischem Weg erzielen durch die sog. Dopingmittel (z. B. Cocain und Benzedrinabkömmlinge³²).

Wesentlich ist, daß alle derartigen Stoffe keine tatsächliche Erhöhung der Leistungsfähigkeit bewirken³³), sondern nur ein Hinausschieben der subjektiven Leistungsgrenze.

Häufig ist es zweckmäßiger, als Maß der Leistungsfähigkeit nicht die bis zur völligen Erschöpfung geleistete maximale Arbeit zu wählen, sondern die Grenze der zu leistenden Arbeit durch eine objektiv feststellbare Veränderung, z. B. des Kreislaufs oder der Atmung zu ziehen.

Zu Beginn jeder Muskelarbeit liegt eine Phase, in der der Körper eine gewisse Sauerstoffschuld einget, die erst in der auf die Arbeit folgenden Erholungsphase wieder abgedeckt wird. Je größer die Leistungsfähigkeit, desto mehr Arbeit kann bei derselben Sauerstoffschuld geleistet werden. Umgekehrt ist bei gleicher Leistung die Größe der eingegangenen Sauerstoffschuld ein Maß der Leistungsfähigkeit (Methode 2)^{34, 35}). Man bestimmt die Sauerstoffschuld, indem man während einiger Erholungsminuten den Sauerstoffverbrauch mißt und von ihm den Sauerstoffverbrauch während körperlicher Ruhe abzieht.

K. Wachholder³⁶) bestimmte zur Leistungsmessung die Vitalkapazität (Methode 3) vor und nach der Belastung und fand, daß die Differenz um so größer war, und der Ruwert um so später erreicht wurde, je geringer die Leistungsfähigkeit war. Genauer ist das Verfahren von G. Lehmann u. A. Szakáll³⁷) (Methode 4).

Sie messen mit einer einfachen Gasuhr die auf eine Testarbeit von jeweils 5 min folgende Atemgröße während einer Erholungsminute und regeln in 5 dicht aufeinanderfolgenden Versuchen die

Belastung so, daß eine bestimmte Erholungsventilation, meist von 15 oder 20 l/min erreicht wird. Wiederholt man diese Versuche täglich über einen längeren Zeitraum, so ist die Größe der z. B. bei 15 l/min Erholungsventilation geleisteten Arbeit ein Maß für die Leistungsfähigkeit.

Als Maß für die Begrenzung der Leistungsfähigkeit kann man auch die Pulsfrequenz verwenden (Methode 5). Lehmann u. Szakáll³⁸) lassen dazu auf dem Fahrrad-Ergometer wie bei Methode 4 Arbeit unter verschiedener Belastung leisten und messen die Pulszahl in der Erholungsminute. Die bei bestimmter Pulszahl (z. B. 120/min) geleistete Arbeit ist dann der Leistungsfähigkeit proportional. Ebenso ist der Leistungspulsindex $\frac{\text{Geleistete mkg/min}}{\text{Pulszahl/min} \times 10}$ ein Maß für die Leistungsfähigkeit des Kreislaufs³⁹). Zweckmäßig kombiniert man die Methoden 4 und 5 miteinander.

Weitere Methoden gehen von der Sauerstoffaufnahme während der Arbeit aus. Die maximale Sauerstoffaufnahme steht in Beziehung zur körperlichen Leistungsfähigkeit⁴⁰). Den Höchstwert der Sauerstoffaufnahme erreichen ungeübte und leistungsschwache Personen schon bei viel geringeren Arbeitsleistungen als geübte und leistungsfähige. Man stellt durch Analyse der Ausatemungsluft oder durch Atmen aus einem mit Sauerstoff gefüllten Spirometer fest, bei welcher Arbeitsbelastung die maximale Sauerstoffaufnahme erfolgt (Methode 6). Sie tritt übrigens schon ein, bevor der Höchstwert des Atemvolumens erreicht ist⁴¹), da sie (bei Gesunden) vom Blutkreislauf, nämlich vom Minutenvolumen des Herzens abhängig ist^{34, 41, 42, 43}).

Wesentlich verfeinert wurde diese Methode von G. Zaeper u. H. W. Knipping⁴⁴), die bei einer bis zum Höchstwert des Atemvolumens gesteigerten Arbeit das maximale Sauerstoffaufnahmevermögen bestimmen und daraus sowie mit Hilfe der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz das maximale Herzminutenvolumen nach dem Fickschen Prinzip (Herzminutenvolumen = $\frac{\text{O}_2\text{-Aufnahme}}{\text{arterio-venöse O}_2\text{-Differenz}}$) berechnen (Methode 7).

Es liegt nahe, als Maß der Leistungsfähigkeit den Wirkungsgrad zu verwenden, d. i. diejenige Arbeit in mkg, die vom Körper mit Hilfe der aufgewendeten Calorien geleistet werden kann (Methode 8). Man bestimmt dazu die aufgewendeten Calorien im Respirationsversuch aus der während der Arbeitsleistung aufgenommenen Menge Sauerstoff und abgegebenen Menge Kohlensäure. Eine Verbesserung des Wirkungsgrades unter dem Einfluß der Ernährung ist zweifellos ein Zeichen für eine Steigerung der Leistungsfähigkeit, besonders wenn die Verbesserung in der Nachperiode nach Ausschaltung der betreffenden Nahrungskomponente wieder verloren geht. Die Schwankungen des Wirkungsgrades sind jedoch meist so gering, daß er sich zur quantitativen Bestimmung der Leistungsfähigkeit nicht eignet.

III. Die Beeinflussung der Leistungsfähigkeit durch die Ernährung.

a) Eiweiß.

Von wesentlicher Bedeutung für die Leistungsfähigkeit ist eine ausreichende Eiweißversorgung. Es ist aber auch heute noch eine Frage, wieviel Eiweiß bei starker körperlicher Beanspruchung erforderlich ist. Das berühmte Voitsche Kostmaß von 118 g Eiweiß, 56 g Fett und 500 g Kohlenhydrat, das übrigens nur als Beispiel und keineswegs als Regel aufgestellt war, ist wegen seines hohen Eiweißsatzes heftig angegriffen worden. Hindhede, Bircher-Benner, Chittenden, Röse, Süskind, Vogel u. a. vertraten den Standpunkt, daß eine Eiweißzufuhr wenig über dem Eiweißminimum, also in Mengen von 35–50 g pro Tag, für die Erhaltung einer guten Leistungsfähigkeit selbst bei körperlichen Anstrengungen nicht nur ausreichend, sondern sogar erwünscht sei. Sie berufen sich dabei u. a. auf die Erfolge vegetarisch lebender Sportsleute, vor allem bei Dauerleistungen. Dem steht aber entgegen, daß die Kämpfer der Olympiade von 1936 in Berlin nach den Ermittlungen von P. Schenk⁴⁵)

²⁸) Münchener med. Wschr. 35, 1344 [1939]. ²⁹) O. Graf, Arbeitsphysiol. 10, 376 [1939].

³⁰) O. Graf, Alkoholfrage 33 [1937]. ³¹) E. Atzler u. F. Meyer, Arbeitsphysiol. 4, 410 [1931].

³²) Vgl. hierzu auch Eichholtz, „Zentrale Stimulantia d. Adrenalin-Ephedrin-Gruppe“, diese Ztschr. 53, 517 [1940].

³³) E. Atzler, G. Lehmann, A. Szakáll, Arbeitsphysiol. 10, 30 [1939].

³⁴) Hill, Long u. Lupton, Proc. Roy. Soc. [London], Ser. B. 97, 155 [1925].

³⁵) E. Simonson, Pflügers Arch. ges. Physiol. Menschen Tiere 214, 380 [1926].

³⁶) Klin. Wschr. 1928 I, 295.

³⁷) Arbeitsphysiol. 5, 278 [1932].

³⁸) Arbeitsphysiol. 9, 630 [1937].

³⁹) G. Lehmann u. A. Szakáll, ebenda 10, 608 [1939].

⁴⁰) E. Atzler, Ergebn. Physiol., biol. Chem. exp. Pharmacol. 40, 346 [1938].

⁴¹) R. Herbst, Arch. klin. Med. 162, 33 [1928].

⁴²) Y. Henderson u. H. W. Haggard, J. Physiology 59, LXIX [1925].

⁴³) H. Herzheimer, Klin. Wschr. 1932 I, 89.

⁴⁴) Ebenda 1937 II, 1705; Zbl. inn. Med. 1937, 305.

⁴⁵) Münchener med. Wschr. 1936 II, 1535; Verh. Ges. Verdauungskrkh. 1936, 9; Med. Welt 1936, II, 1537.

die phantastische Eiweißmenge von durchschnittlich 320 g pro Tag (800 g Fleisch und 1 bis 2 1/2 l Milch!) zu sich nehmen. Schenk nimmt an, daß Dauerleistungen besser mit kohlenhydratreicher Kost, Schnellkraftübungen dagegen besser bei einer an tierischem Eiweißreichen Kost bewältigt werden. Auch manche anderen Untersuchungen, so die von G.M. Wishart⁴⁶⁾, U. Cassinis⁴⁷⁾, E. Schmid⁴⁸⁾, zeigten, daß eine Steigerung des Nahrungseiweißes besonders in Form von tierischem Eiweiß die Leistungsfähigkeit verbessert. Den Eiweißbedarf von normalen Schwerarbeitern, nämlich von Bergleuten, haben vor kurzem H. Kraut u. G. Lehmann⁴⁹⁾ untersucht. Sie konnten in mehrwöchigen Versuchen die in Einzelversuchen von Tagesdauer gewonnene experimentelle Feststellung von C. Voit bestätigen, daß das physiologische Eiweißminimum bei Schwerarbeit ebenso hoch liegt wie bei körperlicher Ruhe. Bei der Verminderung des Nahrungseiweißes trat aber schon vor dem Erreichen des Minimums eine erhebliche Senkung der (nach Methode 5 gemessenen) Leistungsfähigkeit ein, die auch subjektiv von den Versuchspersonen stark empfunden wurde. Bei der nachfolgenden Steigerung des Nahrungseiweißes wurde zwischen 60 und 70 g pro Tag wieder die normale Leistungsfähigkeit erreicht. Die im Kriegsernährungsplan den Schwer- und Schwerstarbeitern gebotene Zulage an Fleisch ist also durch diese Versuche als notwendig, aber auch als durchaus genügend erwiesen worden.

b) Fett und Kohlenhydrate.

E.H. Christensen u. O. Hansen⁵⁰⁾ ließen drei trainierte Versuchspersonen sowohl bei sehr fettreicher Ernährung (nur 5% der Gesamtcalorien aus Kohlenhydrat) als auch bei sehr kohlenhydratreicher Ernährung (90% der Calorien aus Kohlenhydrat) Arbeit auf dem Fahrrad-Ergometer bis zur Erschöpfung leisten. Bei der extrem fettreichen Ernährung war die Leistungsfähigkeit gering, 2- bis 3mal geringer als bei kohlenhydratreicher Ernährung, vermutlich wegen der niedrigen Blutzuckerwerte und des Auftretens von Acetonkörpern.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß eine fettreiche Ernährung nicht, wie häufig angenommen wird, eine besonders hohe Leistungsfähigkeit herbeiführt. Der Grund, weshalb ein Schwerarbeiter mehr Fett braucht als ein körperlich mäßig Arbeitender liegt nicht in einer leistungssteigernden Wirkung des Fettes, sondern darin, daß eine fettarme Ernährung, die dem Bedarf des Schwerarbeiters an Calorien entspricht, viel zu voluminös wäre. 1 g Fett enthält mehr als doppelt soviel Calorien wie 1 g Kohlenhydrat; dazu ist das Fett meist fast wasserfrei, während die Kohlenhydratträger 50 bis 75% Wasser enthalten. Außerdem aber ist die Verweildauer fetthaltiger Nahrung im Magen eine sehr viel größere, so daß durch sie für längere Zeit das Gefühl der Sättigung erhalten und das die Leistungsfähigkeit beeinträchtigende Hungergefühl vermieden wird. Die richtige Mischung des langsam resorbierbaren, calorienreichen Fettes, der voluminösen, Magen und Darm füllenden Reservekohlenhydrate und der leicht resorbierbaren niederen Kohlenhydrate ist ein wesentliches Erfordernis der rationellen Ernährung der körperlich Arbeitenden.

Daß die Zufuhr von Kohlenhydrat in leicht resorbierbarer Form, vor allem diejenige von Traubenzucker bei schwerer körperlicher Arbeit leistungssteigernd wirkt, ist seit langem bekannt. Neben dem subjektiven Urteil von Sportsleuten und Sportärzten finden sich zahlreiche objektive Messungen⁵¹⁻⁵⁵⁾ der Leistungssteigerung durch Glucose. Die ursprüngliche Annahme, daß der zugeführte Traubenzucker sofort zur Umsetzung und Energielieferung verfügbar sei, ist allerdings zu einfach gewesen. Wahrscheinlich muß die Glucose erst zu Glykogen aufgebaut werden, bevor sie im Muskelstoffwechsel Verwendung finden kann. E. Atzler, G. Lehmann u. A. Szakáll⁵⁶⁾ fanden nämlich bei Hunden, die über sehr geringe Kohlenhydratdepots verfügen, bei maximaler Arbeit ein rasches Absinken des R.Q. auf Werte reiner Fettverbrennung; wurde in diesem Zustand reichlich Glucose (z. B. 200 g) zu-

geführt, so stieg zwar die Leistungsfähigkeit, der R.Q. dagegen war nicht, oder nur unbedeutend erhöht. Außerdem aber beobachteten sie, daß die normalerweise einer starken Anstrengung folgende Vermehrung der Phosphatausscheidung durch die Traubenzuckergabe völlig aufgehoben wurde. Sie halten es danach für möglich, daß die günstige Wirkung auf der vermehrten Bildung der phosphathaltigen Zwischenprodukte des Kohlenhydratstoffwechsels beruht. Nach den Untersuchungen von Christensen u. Hansen⁵⁷⁾ sind die Verbrennungsvorgänge im Muskel unabhängig von der Höhe des Blutzuckerspiegels. Auch sie halten daher die unmittelbare Verwendung der Glucose im Muskel ohne vorherige Umwandlung in Glykogen nicht für möglich. Da aber das Gehirn im Gegensatz zum Muskel Glucose direkt zu Milchsäure⁵⁸⁾ abbaut, kann man mit Christensen u. Hansen eine Ermüdung des Zentralnervensystems als Folge des Absinkens der Blutzuckerwerte annehmen, die mit dem Steigen des Blutzuckerspiegels nach Glucosegaben wieder verschwindet.

c) Anorganische Nahrungsbestandteile.

Nachdem Embden u. Mitarbeiter⁵⁹⁾ die von ihnen aufgefundene „Lactacidogen“ genannte Zwischenstufe des Kohlenhydratabbaus als Phosphorsäureester der Glucose erkannt hatten, hielten sie es für möglich, daß die Vermehrung der Zwischenstufen den Kohlenhydratabbau und die Resynthese und damit die Leistungsfähigkeit steigern könnte. Um dieses festzustellen, ließen sie⁶⁰⁾ im Laboratorium maximale Arbeit leisten (Methode 1) und fanden bei einem Teil der Versuchspersonen deutliche Erhöhung der Leistungsfähigkeit durch Eingabe von 5–7,5 g primärem Natriumphosphat. Ein Großversuch an Bergleuten zeigte eine Erhöhung der Förderleistung durch Verabreichen eines Getränkes, das primäres Natriumphosphat enthielt. Auch die geistige Leistung wurde, wie W. Poppelreuter^{61, 62)} bestätigt, günstig beeinflusst. In zahlreichen späteren Untersuchungen wurden die günstigen Ergebnisse teils bestätigt⁶³⁻⁶⁷⁾, teils vermißt⁶⁸⁻⁷⁰⁾. Öfters wurde beobachtet, daß nur ein Teil der Versuchspersonen auf Phosphat mit Leistungssteigerung reagierte. Da die ersten und meist positiven Versuche hauptsächlich am Ende des Weltkrieges oder kurz nachher ausgeführt waren, bestand die Möglichkeit, daß in der Nahrung damals ein besonderer Phosphatmangel bestanden hatte, und daß die Zufuhr von Phosphat unter normalen Ernährungsverhältnissen wirkungslos wäre. E. Atzler u. Mitarbeiter⁷¹⁾ unternahmen daher langdauernde Bilanzversuche zur Aufklärung des Zusammenhangs von Phosphat und Arbeit. Die Leistungsfähigkeit wurde dabei nach der Methode 4 gemessen. Als dosierbare Schwerarbeit wurde Erdarbeit, als Geschicklichkeitsarbeit bei weiblichen Versuchspersonen Knüpfarbeit gewählt. Das Ergebnis war, daß die Steigerung der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit oft erst mit einer gewissen Latenz (bis zu einer Woche) eintritt, so daß kurzdauernde Versuche sie dann nicht erkennen lassen. Bei manchen Versuchspersonen blieb die Steigerung durch anorganisches Phosphat überhaupt aus, obwohl eine erkennbare Parallelität zwischen Nahrungsphosphat und Leistungsfähigkeit bestand. Es ist also offenbar nicht jeder Mensch in gleicher Weise befähigt, anorganisches Phosphat ebenso wie organisch gebundenes zu verwenden. Die Untersuchung lehrte außerdem, daß man die Bilanzen von Stickstoff und Phosphat nur im Zusammenhang miteinander beurteilen kann. Ein Einfluß schwerer Arbeit auf die Phosphatbilanz allein ist nicht erkennbar. Vergleicht man aber Phosphatbilanz und Stickstoffbilanz, so findet man zu Beginn jeder schweren Arbeit ein deutliches Absinken der Phosphatbilanz relativ zur Stickstoffbilanz, was auf den vermehrten Phosphat-

⁴⁶⁾ J. Physiology **82**, 189 [1934].

⁴⁷⁾ Verh. dtsh. Ges. inn. Med. **1933**, 422.

⁴⁸⁾ Skand. Arch. Physiol. **81**, 160 [1939].

⁴⁹⁾ J. H. Talbott, L. J. Henderson, H. T. Edwards u. D. B. Dill, J. biol. Chemistry **97**, XL [1932].

⁵⁰⁾ D. B. Dill, H. T. Edwards u. J. H. Talbott, J. Physiology **77**, 49 [1933].

⁵¹⁾ Christensen, Krogh u. Lindhard, Bull. Organisat. Hygiene **3**, Nr. 3, 13 [1936].

⁵²⁾ Miyama, Acta Scholae med. univ. imp. Kioto, **15**, 243 [1932].

⁵³⁾ Wieruchowsky u. Mitarb., C. R. heb. Séances Soc. biol. [Paris] **119**, 433 [1935].

⁵⁴⁾ Arbeitsphysiol. **9**, 579 [1937].

⁴⁷⁾ Arch. Fisiol. **34**, 384 [1935].

⁴⁸⁾ Noch unveröffentlicht.

⁵⁷⁾ Skand. Arch. Physiol. **81**, 172 [1939].

⁵⁸⁾ E. B. van n. K. Fehrenbach, Hoppe-Seyler's Z. physiol. Chem. **193**, 233 [1930]; **195**, 101 [1931].

⁵⁹⁾ G. Embden u. F. Laquer, ebenda **93**, 94 [1914]; **98**, 181 [1917].

⁶⁰⁾ G. Embden, E. Grafe u. E. Schmitz, ebenda **113**, 67 [1921].

⁶¹⁾ Arbeitsphysiol. **2**, 507 [1930].

⁶²⁾ Münchener med. Wschr. **1929** I, 912.

⁶³⁾ A. Puni, Arbeitsphysiol. **8**, 20 [1935].

⁶⁴⁾ H. Herzheimer, Klin. Wschr. **1922** I, 480.

⁶⁵⁾ A. Loewy, Arbeitsphysiol. **3**, 276 [1930].

⁶⁶⁾ H. Griesbach, Med. Welt **1928** I, 785.

⁶⁷⁾ J. Müller, ebenda **1932**, II 959.

⁶⁸⁾ K. Marbe, Naunyn-Schmiedeberg's Arch. exp. Pathol. **167**, 404 [1932].

⁶⁹⁾ M. Schorn, Verh. physik.-med. Ges. Würzburg NF. **56**, 105 [1931].

⁷⁰⁾ J. H. Talbott, A. Fölling, L. J. Henderson, D. B. Dill, H. T. Edwards, R. E. L. Berggren, J. biol. Chemistry **78**, 445 [1928].

⁷¹⁾ E. Atzler, K. Bergmann, O. Graf, H. Kraut, G. Lehmann u. A. Szakáll, Arbeitsphysiol. **8**, 621 [1935].

umsatz bei der Schwerarbeit schließen läßt. Bei Hunden, bei denen man durch gleichmäßige Ernährung wesentliche Schwankungen der Stickstoffbilanz verhindern kann, fand A. Szakáll tatsächlich eine starke Phosphatausschüttung im Anschluß an erschöpfende Arbeit⁷²⁾. Es ist damit erwiesen, daß der Phosphathaushalt, und damit auch die Phosphatzufuhr in der Nahrung in engem Zusammenhang mit der Leistungsfähigkeit steht. Bei der üblichen Kost unserer körperlich arbeitenden Bevölkerung ist eine zu voller Leistungsfähigkeit ausreichende Phosphatversorgung wohl im allgemeinen, aber keineswegs in allen Einzelfällen gesichert. Es ist daher der vermehrte Gebrauch phosphathaltiger Nahrungsmittel, wie Milch, insbes. entrahmte Milch, Käse und Gemüse auch aus Gründen der Leistungserhaltung zu empfehlen.

Mit der Phosphatwirkung in einem gewissen Zusammenhang steht die leistungssteigernde Wirkung des Lecithins als einer organischen Phosphorsäureverbindung. Auch sie tritt erst nach einer Latenzzeit von einigen Tagen ein. E. Atzler u. G. Lehmann⁷³⁾ stellten aber fest, daß Lecithin schon in sehr viel geringeren Dosen wirksam ist, als seinem Phosphatgehalt entspricht. Der Angriffspunkt des Lecithins liegt einerseits im Muskelstoffwechsel, andererseits in den blutbildenden Organen. Ähnlich wie bei der allgemeinen Phosphatwirkung tritt die Leistungssteigerung nach Lecithin nur bei einem Teil der Versuchspersonen ein.

Der Chlorgehalt des Körpers und seine Ergänzung durch die Nahrung kann unter besonderen Umständen, nämlich bei Hitzearbeit, eine Rolle für die Erhaltung der Leistungsfähigkeit spielen. Es ist bekannt, daß an Hitzearbeit Gewöhnte viel mehr Schweiß absondern als untrainierte^{74, 75)}. Wenn der Kochsalzverlust durch Schweiß und Harn eine bestimmte Grenze überschreitet, die ungefähr bei 10% des normalen Blutnatriumchloridgehaltes liegt⁷⁶⁾, sinkt die Leistungsfähigkeit beträchtlich ab, und es kann zu schwersten Störungen des Allgemeinbefindens, Krämpfen, Bewußtlosigkeit, Herzschädigungen kommen. Zufuhr von reinem Wasser verschlechtert in diesem Zustand das Befinden, während das Trinken eines Glases Wasser mit 1—2 g Kochsalz rasch die Störungen beseitigt. Man hat daher empfohlen, Hitzearbeitern kochsalzhaltige Getränke zu geben, was sich aber nicht bewährte. Den auffallenden Widerspruch, daß der an Hitzearbeit Gewöhnte mehr trinkt, mehr schwitzt, größere Leistungsfähigkeit bei Hitze besitzt und viel geringere Hitzeschäden zeigt als der untrainierte, konnten G. Lehmann u. A. Szakáll^{78, 79, 77, 78)} völlig aufklären. Man muß scharf unterscheiden zwischen dem Verhalten des trainierten und des untrainierten Hitzearbeiters. Der trainierte Hitzearbeiter verliert zunächst wie der untrainierte große Mengen von Kochsalz, z. B. 25—30% seines Chlorbestandes, dann aber scheidet er fast kein Chlor im Harn und nur noch sehr wenig Chlor im Schweiß aus, wobei sich ein Gleichgewicht zwischen Chlorverlust und Chlorzufuhr mit der Nahrung einstellt. In diesem Zustand des Chlormangels ist der Hitzearbeiter ganz besonders leistungsfähig. Durch Zufuhr von mehr Kochsalz geht dieser Zustand verloren, weshalb es falsch ist, dem Trainierten kochsalzhaltige Getränke zu geben.

Ganz anders verhält sich der Untrainierte. Er verliert ohne in einen Gleichgewichtszustand zwischen Einnahme und Ausgabe zu kommen, dauernd große Mengen von Chlorid im Schweiß, so daß schon nach der Abgabe von wenigen Litern die Grenze erreicht ist, wo seine Leistungsfähigkeit rapid absinkt und mit lebhaftem Hitzegefühl und starkem Herzklopfen, motorischer Unruhe und gereizter Stimmung die Hitzeschädigung einsetzt. In diesem Zustand ist die Zufuhr kochsalzhaltiger Getränke lebensnotwendig. Daher ist es auch zweckmäßig, bei einmaligen großen Anstrengungen bei hoher Temperatur, z. B. bei Gepäckmärschen im Sommer, kochsalzhaltiges Wasser zu geben, wodurch Frische und Leistungsfähigkeit der Truppe erhalten bleiben. Würde man dagegen neu eingestellten Hitzearbeitern dauernd kochsalzhaltige Getränke zuführen, so würde die Ausbildung des Hitzetrainings verzögert oder verhindert werden.

Da der Trainierte stärker schwitzt, muß und kann er sehr viel größere Wassermengen schon während der Schicht zu sich

nehmen, bis zu 80% des abgegebenen Schweißes, der eine Menge von 8—10 l erreichen kann. Geübte Hitzearbeiter trinken oft erstaunlich genau die als notwendig berechnete Menge. Es ist gefährlich, zuviel zu trinken. Eine zu geringe Wasseraufnahme ist zwar ungefährlich, setzt aber, wenn das Defizit 1 l übersteigt, die Leistungsfähigkeit herab. Auch führt die notwendige Ergänzung nach der Schicht dann leicht zu übermäßigem Genuß alkoholischer Getränke. Die Neigung, den Durst mit großen Mengen kalter Getränke zu löschen, ruft neben der unerwünschten Verdünnung der Gewebssäfte auch häufig Magen- und Darmerkrankungen hervor. Es empfiehlt sich, während der Schicht traubenzuckerhaltigen Tee (z. B. Himbeerblättertée oder Pfefferminztée) zu geben, der bis zu 5% Traubenzuckergehalt noch ausreichend den Durst stillt und außer der Erhaltung der Leistungsfähigkeit auch noch eine erheblich chloridsparende Wirkung besitzt.

Untersuchungen von H. Dennig, J. H. Talbott, H. T. Edwards u. D. B. Dill⁷⁹⁾ machten es wahrscheinlich, daß die Arbeitsleistung durch Vergrößerung des Neutralisationsvermögens des arbeitenden Körpers gesteigert werden könnte. Es schien nämlich, als sei die Sauerstoffschuld eine Funktion der während der Arbeit gebildeten Milchsäure. Bei der experimentellen Nachprüfung fanden Dill, Edwards u. Talbott, daß nach Bicarbonatzufuhr tatsächlich die Blutmilchsäure durch Arbeitsleistung auf 140% der normalen Beträge anstieg, während die Sauerstoffschuld nur 20% größer wurde⁸⁰⁾. Zahlreiche Untersuchungen von Dennig u. Mitarbeitern bestätigten die Leistungssteigerung nach Bicarbonatzufuhr; umgekehrt beobachteten sie eine Verminderung der Leistungsfähigkeit durch das eine Säuerung hervorrufende Ammoniumchlorid^{81, 82, 83)}.

Eine an alkalischen Komponenten reiche Ernährung, wie Sojakost⁸⁴⁾ soll ebenfalls die Leistungsfähigkeit heben. Vielleicht besteht auch die günstige Wirkung der Rohkost, die gelegentlich⁸⁵⁾ beobachtet wurde, zum Teil in einer Alkalisierung. Allerdings wurde die Leistungssteigerung nach Alkali oder nach Rohkost nicht von allen Untersuchern gefunden. Dill⁸⁶⁾ selbst vermiste sie später nach Bicarbonatgaben; G. W. Parade u. H. Otto⁸⁷⁾ fanden keinen Zusammenhang zwischen Alkalireserve und Leistungsfähigkeit, K. Eimer u. Paul⁸⁸⁾ sowie G. Kalle⁸⁹⁾ keine Verbesserung durch Rohkost.

d) Vitamine.

Es ist kein Zweifel, daß verschiedene Vitamine an chemischen Umsetzungen beteiligt sind, die mit der Arbeitsleistung in Zusammenhang stehen. So sind Lactoflavin als Komponente des gelben Atmungsfermentes, Nicotinsäureamid als Komponente der Codehydrasen an den energieliefernden Oxydationsprozessen beteiligt. Es ist aber noch nicht bekannt, ob ihre vermehrte Zufuhr eine Leistungssteigerung hervorruft. Versuche von A. v. Beznák u. J. Perjés⁹⁰⁾ und von L. Lászt u. F. Verző⁹¹⁾ an Ratten ergaben, daß die sonst nach körperlicher Arbeit auftretende Nebennierenrindenhypertrophie bei reichlicher Zufuhr des B₆-Komplexes ausbleibt.

Auch über die Wirkung von Vitamin C auf die Leistungsfähigkeit liegen noch wenig sichere Ergebnisse vor. Immerhin lassen die vorhandenen Untersuchungen einen Zusammenhang erkennen. J. Sievers⁹²⁾ beobachtete am isolierten Froschmuskel eine beträchtliche Leistungssteigerung durch Zusatz von kleinen Ascorbinsäuremengen. G. Lemmel⁹³⁾ gab von den 110 Kindern eines Taubstummenheims der Hälfte täglich 100 mg C und stellte nach 4 Monaten eine Erhöhung der geistigen Regsamkeit und der körperlichen Lebendigkeit bei den mit Vitamin C behandelten Kindern fest. Bei Untersuchungen über die C-Ausscheidung bei aktiv tätigen Sportlern in der Reichsakademie für Leibesübungen stellte S. Matthes⁹⁴⁾ bei vielen ein erhebliches C-Defizit fest, das er auf einen Mehrbedarf

⁷²⁾ Arbeitsphysiol. 8, 316 [1935].

⁷³⁾ Ebenda 9, 76 [1937].

⁷⁴⁾ K. N. Moss, Proc. Roy. Soc. Med. 95, 181 [1923].

⁷⁵⁾ K. N. Moss, Trans. Instn. Min. Engr. 66, 284 [1924]; 68, 377 [1925].

⁷⁶⁾ Talbott u. Michelson, J. clin. Invest. 12, 543 [1933].

⁷⁷⁾ Arbeitsphysiol. 9, 653, 678 [1937].

⁷⁸⁾ Ebenda 11, 73 [1940].

⁷⁹⁾ J. clin. Invest. 9, 601 [1930].

⁸⁰⁾ D. B. Dill, H. T. Edwards, J. H. Talbott, J. biol. Chemistry 97, LVIII [1932].

⁸¹⁾ H. Dennig, K. Peters u. O. Schneikert, Naunyn-Schmiedeberg's Arch. exp. Pathol. 165, 161 [1932].

⁸²⁾ H. Dennig, H. Becker-Freuseng, E. Krause, W. Althaus, ebenda 186, 611 [1937].

⁸³⁾ H. Dennig, ebenda 195, 258 [1940].

⁸⁴⁾ E. Krause, H. Becker-Freuseng u. G. Gilbricht, ebenda 186, 617 [1937].

⁸⁵⁾ Nikolaus, Diss. Marburg 1931.

⁸⁶⁾ Physiologic. Rev. 16, No. 2 [1936].

⁸⁷⁾ Z. klin. Med. 137, 7, 10, 13, 21 [1939].

⁸⁸⁾ Z. ges. exp. Med. 81, 703 [1932].

⁸⁹⁾ Diss. Köln 1936.

⁹⁰⁾ Pflügers Arch. ges. Physiol. Menschen Tiere 238, 181 [1935].

⁹¹⁾ Ebenda 237, 476 [1936]; 239, 136, 653 [1938].

⁹²⁾ Ebenda 242, 725 [1939].

⁹³⁾ Münchener med. Wschr. 1938 II, 1381.

⁹⁴⁾ Med. Welt 14, 405 [1940].

an C zurückführt. Betrug das Defizit mehr als 1000 mg, so bestand rasche Ermüdbarkeit. Durch entsprechende C-Zufuhr stiegen Leistungsfähigkeit und Spannkraft. Auch K. Wachholder⁹⁵⁾ konnte eine Steigerung des Tagesverbrauches an Vitamin C bei Arbeitsleistung nachweisen, und zwar nicht nur bei Sportlern, sondern auch bei beruflicher körperlicher Tätigkeit. Es ist danach wahrscheinlich, daß vor allem in der C-armen Jahreszeit (Januar—April) ein beträchtlicher Teil der körperlich arbeitenden Bevölkerung infolge ungenügender C-Zufuhr nicht die volle Leistungsfähigkeit besitzt, ohne daß sich sonst irgendwelche Merkmale eines C-Mangels erkennen lassen.

Arbeitsphysiologisch näher untersucht ist der Zusammenhang zwischen Aneurin und Leistungsfähigkeit. L. Csik u. J. Bencsik⁹⁶⁾ stellten bei B-armer Kost einen schnelleren Anstieg der Ermüdung und eine geringere Leistungsfähigkeit als bei B-reicher Kost fest. Miyama fand Verminderung der Erschöpfung und Beschleunigung der Erholung durch B-reiche Kost⁹⁷⁾. Auch am isolierten Froschmuskel ließ sich eine Verzögerung der Ermüdung durch Zusatz von B₁ zur Ringer-Lösung beobachten⁹⁷⁾. Da Vitamin B₁ als Bestandteil der Carboxylase in den Kohlenhydratstoffwechsel eingreift, und sich kombinierte Vitamintraubenzuckerpräparate gut bewährt hatten⁹⁸⁾, untersuchte W. Droese¹⁰⁰⁾ den Einfluß auf die Leistungsfähigkeit im Zusammenhang mit der Zufuhr von Traubenzucker. Bei längere Zeit fortgesetzter Verabfolgung von B₁ in Mengen von

0,5—1 mg zeigten sich eine Vermehrung der roten Blutkörperchen, eine Erhöhung des Ruheblutzuckers und eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Muskeltätigkeit (Methode 8). Als weiteres Zeichen der verbesserten Leistungsfähigkeit trat bei einigen Versuchspersonen Verringerung der Sauerstoffschuld (Methode 2) und des Atemvolumens (Methode 4) bei Standardarbeit ein. Bei der Bestimmung der maximalen Arbeit (Methode 1) wurde stets eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit durch B₁-Zulage beobachtet. Besonders interessant sind die Beobachtungen über die Verwertbarkeit einer Traubenzuckerzulage. B₁-normale Personen nützen die Traubenzuckerzulage unabhängig davon aus, ob sie gleichzeitig eine B₁-Zulage erhalten oder nicht. Personen dagegen, die B₁-arm ernährt sind, erfahren durch Traubenzuckerzulage allein keine Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit, wohl aber dann, wenn sie gleichzeitig mit dem Traubenzucker B₁ erhalten. Dieser Zustand tritt schon bei einem B₁-Bestand des Körpers ein, den man sonst noch als normal zu bezeichnen pflegt.

Hieraus geht hervor, daß als Maß einer vollwertigen Ernährung nicht nur das Fehlen von äußerlich feststellbaren Mangelsymptomen verwendet werden darf. Man muß von der Ernährung verlangen, daß sie uns in den Vollbesitz derjenigen Fähigkeiten bringt, die ein jeder zur Erfüllung seiner beruflichen Aufgaben braucht. Wenn auch die bei uns übliche gemischte Kost diese Anforderungen im allgemeinen erfüllt, so sind doch die Ansichten über eine zweckentsprechende Ernährung sehr geteilt. Erst die weitere wissenschaftliche Erforschung der Zusammenhänge zwischen Ernährung und Leistungsfähigkeit wird uns in die Lage versetzen, die Ernährung nach den besonderen Erfordernissen der verschiedenen Berufe auszurichten.

Eingeg. 11. Dezember 1940. [A. 115.]

⁹⁵⁾ Z. Orthopädi. Grenzgeb. 69, Beilageheft 15 [1939].

⁹⁶⁾ Klin. Wschr. 1927 II, 2275.

⁹⁷⁾ Acta Scholae med. univ. imp. Kioto 14, 248 [1932].

⁹⁸⁾ H. J. Briem, Pflügers Arch. ges. Physiol. Menschen Tiere 242, 450 [1939].

⁹⁹⁾ Th. Morell, Dtsch. med. Wschr. 1940, 398.

¹⁰⁰⁾ Arbeitsphysiol. (im Druck).

Neuere Methoden der präparativen organischen Chemie*)

8. Neuere Verfahren zur Reindarstellung von Proteinen

Von Dr. GERHARD SCHRAMM, Kaiser Wilhelm-Institut für Biochemie, Berlin-Dahlem

Die Darstellung einer chemisch reinen Verbindung setzt voraus, daß man neben geeigneten Trennungsvorgängen auch die Möglichkeit besitzt, die Reinheit der Verbindung fortlaufend zu prüfen.

In der Proteinchemie versagen die meisten Methoden, die in der organischen Chemie zur Charakterisierung und Reinheitsprüfung eines Stoffes angewendet werden. So können Schmelzpunkt- und Siedepunktbestimmungen nicht benutzt werden. Auch die optische Drehung der Proteine ist wenig charakteristisch. Außerdem ist die experimentelle Bestimmung dieser in der organischen Chemie so wichtigen Größe schwierig, da die Proteinlösungen häufig trübe sind und daher nicht in genügend großen Schichtdicken gemessen werden können. Auch die analytische Zusammensetzung der Proteine ist untereinander sehr ähnlich, so daß die Konstanz der chemischen Zusammensetzung keine sicheren Schlüsse zuläßt. Die Analyse ist dazu noch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, da wegen der starken Hydratisierung die Zusammensetzung von der Art der Trocknung abhängig ist. Man versucht aber, diese Schwierigkeit zu umgehen, indem man Angaben über die Zusammensetzung oder die biologische Wirksamkeit nicht auf Gramm Trockengewicht, sondern auf Gramm Protein-N bezieht.

Zur Charakterisierung und Prüfung der Proteine auf Einheitlichkeit müssen daher andere physikalische und chemische Konstanten herangezogen werden als in der Chemie der niedermolekularen Stoffe. Wir besitzen heute eine Anzahl von Verfahren, die gestatten, sichere und charakteristische Aussagen über ein Protein zu machen. In erster Linie sind hier die von T. Svedberg¹⁾ und seiner Schule entwickelten Methoden zur Bestimmung des Molekulargewichts, der Sedimentationskonstante, der Diffusionskonstante sowie die Elektrophorese²⁾ zu nennen. Daneben hat sich aber noch eine Reihe anderer Verfahren bewährt. So kann man aus der Abhängigkeit der Löslichkeit eines Proteins von der zugefügten Salzkonzentration

Rückschlüsse auf die Einheitlichkeit ziehen³⁾. Als weitere Kriterien der Reinheit können die Konstanz der biologischen Wirksamkeit, der Löslichkeit, der Viskosität usw. herangezogen werden. Auch die Goldzahl nach Zsigmondy mag in manchen Fällen nützlich sein. Sie wurde von Kausche zur Kennzeichnung verschiedener Virusarten herangezogen⁴⁾. Zur Charakterisierung größerer Proteinkomplexe wird die elektronenoptische Untersuchung Bedeutung erlangen. Durch elektronenmikroskopische Untersuchungen kann auf Abwesenheit von unerwünschten Molekülarten geprüft werden.

In der Eiweißchemie besitzt also das Bestreben des präparativen Chemikers, den gesuchten Stoff in kristallisiertem Zustand zu erhalten, nicht die überragende Bedeutung wie auf anderen Gebieten der Chemie. Dort besteht eines der sichersten und allgemeinsten Trennungsvorgänge im „Umkristallisieren“, und die Konstanz des Schmelzpunktes bildet eines der wichtigsten Kriterien der Reinheit. Hierzu kommt noch, daß der Übergang in den kristallisierten Zustand an sich schon als Zeichen der Einheitlichkeit gewertet wird, da Beimengungen die Kristallisationsfähigkeit oft völlig unterbinden. Anders in der Eiweißchemie. Durch die große Oberfläche der Eiweißmoleküle und die starken Absorptionskräfte werden leicht Verunreinigungen in die Proteinkristalle eingeschlossen, wie Versuche mit zugesetzten Farbstoffen zeigen. Die Fähigkeit zur Bildung von Mischkristallen ist sehr groß. So kann z. B. das kristallisierte Serumalbumin durch weitere Fraktionierung in chemisch verschiedene Kristallise zerlegt werden, die bei Vermischung den kristallisierten Ausgangsstoff wieder ergeben. Außerdem werden die Proteine sehr leicht durch die chemischen Methoden, die zur Kristallisation führen, zerstört. So hat sich bei der Darstellung biologisch wirksamer Proteine, z. B. der Katalase, gezeigt, daß oft gerade die prächtigsten Kristalle unwirksam geworden waren. Diese Tatsachen, die bereits von Tiselius⁵⁾ u. a. betont wurden, führen dazu, daß in der Proteinchemie auch physi-

*) Beitrag 7 dieser Reihe Witzka, „Molekulardestillation“, s. diese Ztschr. 53, 557 [1940].

¹⁾ Kolloid-Z. 85, 119 [1938].

²⁾ A. Tiselius, ebenda 85, 120 [1938].

³⁾ E. J. Cohn, Physiologic. Rev. 5, 349 [1925].

⁴⁾ Biol. Zbl. 59, 194 [1939].

⁵⁾ Svensk. kem. Tidskr. 50, 58 [1938] (in englischer Sprache).