

### Eiweißernährung und Leistungsfähigkeit

Von Prof. Dr. HEINRICH KRAUT, Kaiser-Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie in Dortmund

Die Frage nach dem Nahrungsbedarf wird fast in jedem größeren Krieg von neuem erörtert – ein Zeichen, daß sie noch nicht als gelöst betrachtet werden kann. Unter den heutigen Umständen kommt der Deckung des Nahrungsbedarfes eine besondere Bedeutung zu, weil von ihr nicht nur die Gesundheit, sondern auch die gesamte volkswirtschaftliche Leistung abhängt. Um die Frage nach dem Nahrungsbedarf beantworten zu können, ist es darum notwendig, nicht nur die sonst üblichen Maßstäbe für eine genügende Ernährung heranzuziehen, sondern die Leistung selbst zum Maßstab einer ausreichenden Versorgung mit den einzelnen Nährstoffen zu machen.

Am Beispiel des Kalorienbedarfs läßt sich dies deutlich zeigen. Der Grundumsatz des erwachsenen Mannes, d. i. sein täglicher Kalorienverbrauch bei völliger Körperruhe, sowie der Kalorienaufwand für die Verdauungsarbeit beträgt durchschnittlich 1800 Kalorien. Bei mäßiger Körperbewegung kann er darüber hinaus mit 400–600 Kalorien auskommen, bei den schwersten Arbeitsformen braucht er zusätzlich 2000–3000 Arbeitskalorien. Infolgedessen ist, was leider manchmal übersehen wird, der Kaloriengehalt der Nahrung bei mittelschwerer und schwerer körperlicher Arbeit der begrenzende Faktor der körperlichen Leistungsfähigkeit. Als Maßstab dient der Respirationsversuch, der den Kalorienverbrauch bei einer bestimmten Arbeitsleistung zu messen gestattet, für die gesamte Arbeitsleistung und für längere Dauer aber die Gewichtskontrolle. Übersteigt der Kalorienbedarf die Zufuhr, so müssen Körperreserven eingeschmolzen werden. Das Körpergewicht schwindet und setzt der Ausführung der zu schweren Arbeit eine unüberwindbare Grenze. Die Abstufung der Rationen für Normalverbraucher, Schwer- und Schwerstarbeiter trägt dem Rechnung.

Der Zusammenhang zwischen Eiweißbedarf und Leistungsfähigkeit wird gefühlsmäßig dahin beantwortet, daß für einen Schwerarbeiter eine eiweißreiche Kost notwendig sei. Dieser Eindruck ist so stark, daß er bekanntlich sogar *Liebig* zu seiner verfehlten Theorie veranlaßte, die Eiweißsubstanz werde bei Arbeitsleistung abgenutzt, und es sei die Hauptaufgabe der Nahrung, diese Eiweißabnutzung rückgängig zu machen. Welche objektiven Maßstäbe besitzen wir, um den Eiweißbedarf bei körperlicher Arbeit festzustellen?

#### 1. Die Abnützungquote

Man versteht darunter nach *M. Rubner* die Stickstoff-Ausscheidung im Harn bei kalorisch ausreichender stickstoff-freier Ernährung. Nachdem längere Zeit verschiedene Auffassungen über den Einfluß der Arbeit auf die Abnützungquote geherrscht hatten, ist von *W. H. Chambers* und *A. T. Milhorat*<sup>1)</sup> 1928 einwandfrei entschieden worden, daß bei genügender Zuckerzufuhr eine Mehrausscheidung im Harn bei Arbeit nicht auftritt. Man muß natürlich zur Feststellung des Eiweißbedarfs bei körperlicher Arbeit das Isodynamiegesetz von *Rubner* berücksichtigen, welches besagt, daß sich für die Energielieferung alle Nährstoffe einschließlich des Eiweißes nach ihren Brennwerten vertreten können. Daher läßt sich der Eiweißbedarf bei Schwerarbeit nur feststellen, wenn kein Eiweiß zur Energielieferung verbrannt werden muß, d. h., wenn genügend Kohlehydrat und Fett hierfür zur Verfügung stehen. In diesem Fall wird die Abnützungquote durch körperliche Arbeit nicht verändert.

#### 2. Das physiologische Eiweißminimum

Dies ist nach *Rubner* diejenige geringste Eiweißmenge, mit der bei kalorisch ausreichender Ernährung das Gleichgewicht zwi-

schen Stickstoff-Aufnahme und Stickstoff-Ausscheidung erreicht wird. Es kann, aber es muß nicht mit der Abnützungquote übereinstimmen. Das Eiweißminimum hängt nach *K. Thomas* ab von der biologischen Wertigkeit des Nahrungseiweißes, nach *R. Berg* und *K. Röse* auch vom Säurebasen-Gleichgewicht der Nahrung. Nachdem aber schon in der klassischen Untersuchung *C. Voits* festgestellt war, daß Arbeit die Stickstoff-Ausscheidung nicht vermehrt, ist durch zahlreiche, zuletzt durch unsere eigenen, an Bergleuten über Monate ausgeführten Untersuchungen bestätigt worden, daß das physiologische Eiweißminimum nicht von der Arbeitsleistung abhängt. *M. Rubner*<sup>2)</sup> drückt dies so aus: „Der Eiweißstoffwechsel spielt sich innerhalb des Gebietes des Basalstoffwechsels, d. h. des Ruhestoffwechsels ab, wenigstens unter den beim Menschen durchschnittlich gegebenen Verhältnissen“. Am schärfsten präzisiert es *O. Kestner*<sup>3)</sup>: „Für den Eiweißstoffwechsel ist es gleichgültig, ob der Mensch seine Muskeln und sein Nervensystem stärker oder schwächer beansprucht... Energiwechsel und Baustoffwechsel sind unabhängig voneinander. Der Baustoffwechsel ist für alle Menschen ungefähr gleich oder wenigstens ganz unabhängig von der Art ihrer beruflichen Tätigkeit“.

Trotzdem behielt aber diese Beurteilung des Eiweißbedarfs etwas unbefriedigendes. *Max Eyth* berichtet einmal in seinen Briefen, englische Ingenieure seien der Ansicht, ohne tägliches Beefsteak könne der Mensch kein tüchtiger Maschinenbauer sein. Tatsächlich verbrauchen nach den Ermittlungen von *Benedict* und von *Campbell* Völker höherer Arbeitsleistung mehr Eiweiß als andere. Es war daher notwendig, die Fragestellung: „Hängt der Eiweißverbrauch von der Arbeitsleistung ab?“, umzukehren und zu fragen: „Hängt die Arbeitsleistung vom Eiweißverbrauch ab?“ oder besser: „Hängt die Leistungsfähigkeit vom Eiweißverbrauch ab?“

Natürlich ist diese Frage nicht zum ersten Mal im Krieg gestellt worden. Sie hat vielmehr in dem heftigen Streit um den Eiweißbedarf des Menschen schon lange eine große Rolle gespielt<sup>4)</sup>. Gerade die Vertreter einer eiweißarmen Ernährung, *Chittenden*, *Hindhede*, *Röse*, *Berg*, *Bircher-Benner* rühmen immer wieder, daß ihre Ernährungsform besonders leistungsfähig mache. Wenn andererseits die Gegner wie *Benedict*, *Kestner* u. a. die Propaganda für Eiweißarmut der Nahrung eine gemeingefährliche Agitation nennen, so begründen sie dies damit, daß zwar die eiweißarme Kost normalerweise zum Leben ausreiche, aber auf die Dauer anfällig und zu besonderen Leistungen unfähig mache. In neuerer Zeit betonten *G. M. Wishart*<sup>5)</sup>, *U. Cassinis*<sup>6)</sup>, *E. Schmid*<sup>7)</sup>, daß eine Steigerung des Nahrungseiweiß über das physiologische Minimum hinaus die Leistungsfähigkeit erhöhe, wobei sie allerdings mehr die subjektive Seite der Leistungsfähigkeit, die man besser Leistungsbereitschaft nennt, im Auge hatten. Auch der von *P. Schenk*<sup>8)</sup> festgestellte enorme Eiweißverbrauch der Olympiakämpfer wird für die Notwendigkeit einer eiweißreichen Kost der körperlich Arbeitenden ins Treffen geführt.

*Rubner* bemühte sich, mangels eines exakten Beweises doch wenigstens eine wissenschaftliche Begründung für einen höheren Eiweißbedarf zu geben. Er gibt zu, daß bei kalorisch ausreichen-

<sup>1)</sup> Hdb. der norm. u. path. Physiol. Bd. II, S. 147, 1928.

<sup>2)</sup> Hdb. der norm. u. path. Physiol. Bd. XVI, S. 985.

<sup>3)</sup> Siehe Abschnitt Eiweißminimum von *Bertram* u. *Bornstein* im Hdb. d. norm. u. path. Physiol. Bd. V, S. 111, 1928.

<sup>4)</sup> J. Physiology 82, 189 [1934].

<sup>5)</sup> Arch. Fisiol. 34, 384 [1935].

<sup>6)</sup> E. Schmid, Mitt. Lebensmittelunters. 24, 195 [1933].

<sup>7)</sup> Münchener med. Wschr. 11, 1536 [1936].

der Ernährung der Mensch sich theoretisch nur das physiologische Eiweißminimum zuführen müsse. Aber der Bedarf an Kalorien müßte dann wirklich in jedem Augenblick gedeckt sein. Der Wechsel der Nahrungsversorgung und der Beanspruchung der Muskeln bedinge aber notwendig Zeiten mit Überschuß und solche mit Mangel. „Im letzteren Fall verschiebt sich die Ernährung auch bei nur stundenweisem Mangel zu Ungunsten des Eiweißbestandes, der Verlusten unterliegt, die nur durch Mehrung eines Eiweißüberschusses über die Grenzen des vorher durchschnittlichen Verbrauches hinaus bestimmt auszuschließen sind. Mit diesen ernährungsphysiologischen Gründen steht die direkte praktische Beobachtung der Ernährungsweise Arbeitender im Einklang. Die Eiweißmenge der natürlichen freigewählten Kost nimmt mit steigender Arbeitsmenge gewöhnlich zu“. Er kommt so zur Forderung eines hygienischen Eiweißminimums, als derjenigen Menge, die den Anforderungen durch Arbeitsbeanspruchung, Krankheit etc. auf jeden Fall gerecht wird, und die er auf rund 100 g pro Tag schätzt.

Aber eine solche Forderung ist in der Sprache des Patentamtes eine Problemstellung und keine Lösung. Die Lösung unterblieb, weil es bisher an brauchbaren und für längere Versuchsreihen genügend einfachen wissenschaftlichen Methoden zur Messung der Leistungsfähigkeit fehlte. Als daher in den letzten Jahren G. Lehmann in unserem Institut mehrere solcher Methoden geschaffen hatte, nahmen wir gemeinsam die Frage in Angriff, wie weit die Leistungsfähigkeit vom Eiweißgehalt der Nahrung abhängt.

Die körperliche Leistungsfähigkeit – und nur von dieser soll hier die Rede sein – ist ein sehr komplexer Begriff. Es ist daher verständlich, daß es ein allgemeines Maß „der“ Leistungsfähigkeit nicht geben kann. Man muß vielmehr nach solchen körperlichen Funktionen suchen, die im allgemeinen oder wenigstens in der Mehrzahl der Fälle die körperliche Leistungsfähigkeit begrenzen. Dabei ist wohl zu unterscheiden zwischen der maximalen Leistungsfähigkeit, d. h. demjenigen maximalen Betrag an Arbeit, den der Mensch unter den jeweils gegebenen Bedingungen über eine bestimmte – meist kurze – Zeit überhaupt verwirklichen kann, und der Leistungsbereitschaft, d. i. nach einer kürzlich von Lehmann gegebenen Definition derjenige Anteil der Leistungsfähigkeit, den der Mensch im gegebenen Augenblick der Arbeit oder des Versuches zu verwirklichen bereit ist, und der meist erheblich unter dem maximal möglichen liegt. Die begrenzenden Faktoren der körperlichen Leistung bilden in den meisten Fällen die Sauerstoffversorgung und der Blutkreislauf. Ihnen entnehmen wir daher die Maßstäbe zur Messung der Leistungsfähigkeit und zwar unterscheiden wir drei Arten der Messung:

1. Die Leistung in mkg/sec., die erreicht wird, bis ein bestimmter Betrag an Erholungsventilation notwendig wird, bis also eine bestimmte Sauerstoffschuld eingetreten ist ( $L_e$ )<sup>9)</sup>.

2. Die Leistung, die bis zum Eintreten einer bestimmten Pulsbeschleunigung z. B. bis zu 120 Pulsschlägen pro Minute bewältigt wird ( $L_p$ )<sup>10)</sup>.

3. Die Leistung, die erreicht wird, bis ein bestimmtes Produkt aus Blutdruckamplitude (in mm Hg-Säule) und Pulszahl je Minute (willkürlich auf 10000 festgesetzt) eingetreten ist ( $L_{ap}$ )<sup>11)</sup>.

Die Arbeitsleistung wird dabei am besten auf dem Fahrradergometer ausgeführt, das die Belastung genau zu dosieren gestattet. Neuerdings bevorzugen wir für die Methoden 2. und 3. eine in unserem Institut entwickelte Konstruktion, bei der die Belastung automatisch gesteigert wird, so daß nur noch die Blutdruckamplitude und der Puls und die bis zur beabsichtigten Pulszahl bzw. dem Amplitudenfrequenzprodukt verstreichende Zeit gemessen werden muß.

Alle drei Methoden stellen ein Maß der Leistungsfähigkeit dar, aber nicht dasselbe. Sie stehen gleichberechtigt nebeneinander und werden von uns auch meist nebeneinander verwendet. Der Einfluß der Nahrung auf die durch sie gemessene Art der Leistungsfähigkeit kann, aber muß keineswegs derselbe sein. Hinzuweisen ist ferner darauf, daß bei allen drei Methoden zeitliche und individuelle Schwankungen unvermeidlich sind, so daß es zweckmäßig

ist, diese bei längeren Versuchsreihen durch Mittelbildung, etwa durch Anwendung des gleitenden Mittels über drei aufeinander folgende Messungen auszugleichen.

Wählt man nicht ganz extreme Unterschiede der Kostformen, auf die es hier nicht ankommt, da wir ja gerade die Grenze der notwendigen Eiweißzufuhr aufsuchen wollen, so kann man nicht mit raschen Ergebnissen rechnen. Über längere Zeit – Tage und Wochen – ist der Körper imstande, aus seinen Reserven Mängel der Nahrung auszugleichen. Eine bestimmte Kostform muß daher über mehrere Wochen gegeben werden, ehe ein Urteil über ihren Einfluß auf die Leistungsfähigkeit möglich ist. Auch ist es unbedingt notwendig, am Schluß einer Versuchsreihe zu den Bedingungen des 1. Abschnittes zurückzukehren, um festzustellen, ob der Körper auf diese Bedingungen noch in derselben Weise reagiert, oder ob während des Versuches Änderungen in seinem Verhalten eingetreten sind. Unsere Versuche erstrecken sich daher stets über mehrere Monate, meist über  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  Jahre.

Natürlich wird man sich bemühen, das körperliche Geschehen während der Versuchszeit durch die Registrierung von möglichst vielen Funktionen festzuhalten. Wir ermitteln laufend die Kalorienaufnahme, die Stickstoff-Bilanz, die Phosphat- und Kalkbilanz, den Grundumsatz, den Respiratorischen Quotienten, den Ruhepuls, die Blutdruckamplitude, den Leistungspulsindex nach Lehmann u. Szakall<sup>12)</sup>; den Sauerstofftransport je Pulsschlag, Hämoglobingehalt, Blutbild und schließlich die Leistungsfähigkeit bei konstanter Erholungsventilation, bei konstanter Pulszahl und bei konstantem Amplituden-Frequenzprodukt. Von diesen Feststellungen werden im folgenden nur Stickstoff-Aufnahme und Stickstoff-Bilanz, sowie die Messungen der Leistungsfähigkeit wiedergegeben.

Unser erster Versuch (Bild 1–3) wurde an 3 Bergleuten ausgeführt. Sie erhielten zuerst bei körperlicher Untätigkeit (Urlaub ohne sportliche Betätigung) 65 g Eiweiß, dann wurde die Eiweißration auf das Eiweißminimum gesenkt, das bei der gewählten Kost ungefähr bei 45 g lag. Eine Minderung der Leistungsfähigkeit trat dadurch nicht ein. Bei mäßiger Körperbewegung genügt also eine dem physiologischen Minimum entsprechende Eiweißernährung zur Erhaltung der Leistungsfähigkeit.

Nach zwei Monaten nahmen die Versuchspersonen ihre schwere Bergmannsarbeit als Hauer unter Tage wieder auf. Nach der langen Ruhe mußten sie sich erst wieder an die Arbeit, ja sogar an die erforderliche große Nahrungsaufnahme gewöhnen, so daß der dritte Abschnitt über mehr als 2 Monate ausgedehnt werden mußte. Die Eiweißaufnahme stieg allmählich bis auf 75 g. Die Kurven der Leistungsfähigkeit sind in diesem Abschnitt typische Trainingskurven. Im vierten Abschnitt wurde nun die Eiweißaufnahme allmählich bis auf das physiologische Minimum gesenkt. In den ersten 14 Tagen blieb die Leistungsfähigkeit erhalten, dann aber sank sie ab, bevor noch das physiologische Eiweiß-Minimum erreicht war, was besonders deutlich bei den  $L_p$ -Kurven zum Ausdruck kommt. Auf die Dauer reicht also bei körperlicher Schwerarbeit eine noch über dem physiologischen Minimum liegende Eiweißernährung nicht zur Erhaltung der Leistungsfähigkeit aus.

Im letzten Abschnitt wurde die Eiweißaufnahme mehr und mehr bis auf 180 g pro Tag gesteigert, um zu erfahren, ob eine so hohe Zufuhr zu einer weiteren Steigerung der Leistungsfähigkeit führen würde. Das ist nicht der Fall. Erst mit einer Latenz von 2–3 Wochen kehrte die Leistungsfähigkeit zur alten Höhe zurück, um sie nirgends wesentlich zu überschreiten. Die üblichen Mengen von Eiweiß, wie sie sich in den Kriegsrationen der Schwer- und Schwerstarbeiter vorfinden, scheinen also genügend, um von der Eiweißseite her die volle Höhe der Leistungsfähigkeit zu garantieren.

Eine wesentliche Beobachtung über das Verhalten der Versuchspersonen bedarf aber noch der Erwähnung. Gerade in den eiweißarmen Abschnitten wurde besonders auf eine schmackhafte Zubereitung der Nahrung geachtet. Während der Ruhezeit waren die Versuchspersonen in dem eiweißarmen Abschnitt durchaus bei guter Laune. Ganz anders aber während ihrer schweren Berufsarbeit. Ungefähr gleichzeitig mit dem Absinken der Leistungsfähigkeit verschlechterte sich rapid die Stimmung der Versuchs-

<sup>9)</sup> G. Lehmann u. A. Szakall, Arb. physiol. angew. Entomol. Berlin-Dahlem 5, 278 [1932].

<sup>10)</sup> G. Lehmann u. A. Szakall, ebenda, 11, 259 [1941].

<sup>11)</sup> G. Lehmann u. H. Michaelis, ebenda, 11, 376 [1941].

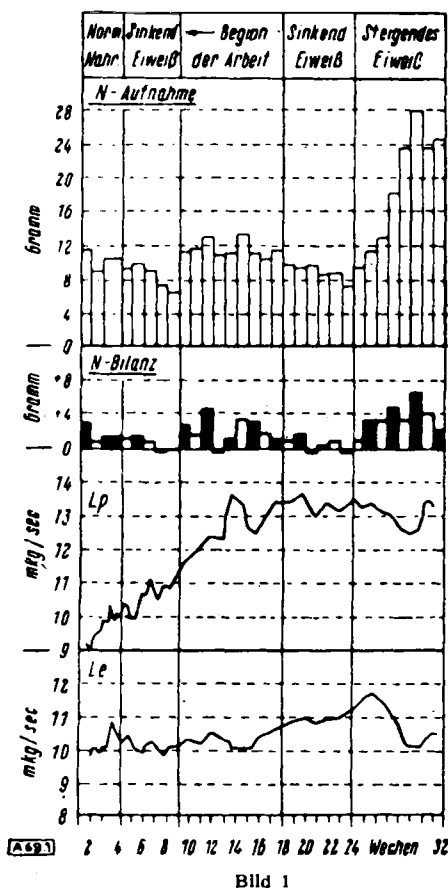


Bild 1

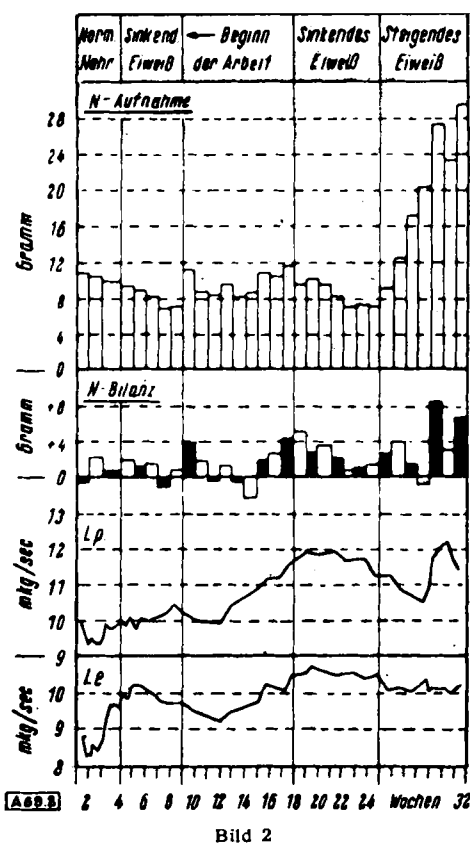


Bild 2

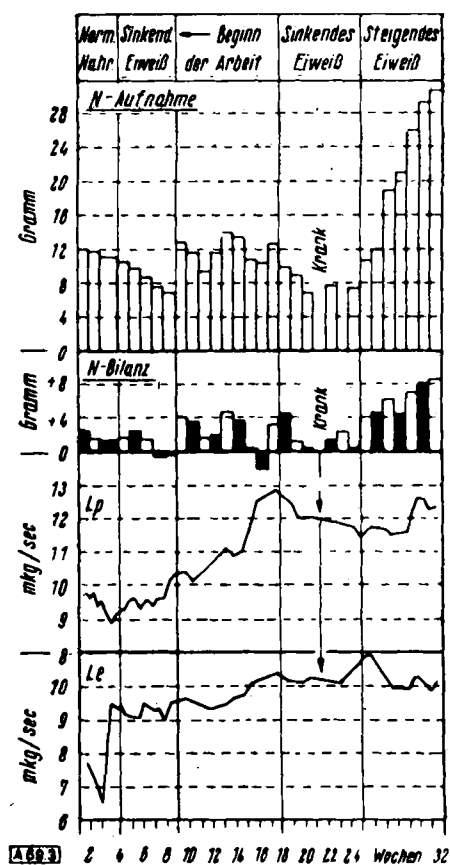


Bild 3

personen. Sie beklagten sich über das sehr gute Essen, drohten, die Versuche abubrechen; aus fleißigen und sehr wohlgeleiteten wurden sie zu arbeitsunwilligen, faulen und unkameradschaftlichen Arbeitern, so daß der Steiger, der vom Versuchsplan keine Ahnung hatte, sich über sie beschwerte und sie aus der Gruppe, in der sie gearbeitet hatten, für einige Zeit ausschloß. Ebenso rasch, wie diese Schwierigkeiten entstanden waren, verschwanden sie im letzten, eiweißreichen Abschnitt. Die Leistung besserte sich in wenigen Tagen, der Widerwille gegen die Versuche verschwand, und der Steiger berichtete voll Erstaunen, daß alle drei wieder zu den alten, brauchbaren und umgänglichen Bergleuten geworden seien. Es sieht so aus, als ob die Stimmung das Regulierventil sei, durch das sich der Körper vor einer Verausgabung seiner Kräfte unter ungenügenden Ernährungsbedingungen schützt.

In dieser ersten Versuchsreihe hatten wir die Änderungen im Eiweißgehalt der Nahrung hauptsächlich durch den Austausch von Fleisch und Fett vorgenommen. Man könnte den Einwand machen, daß nicht das Eiweiß, sondern irgend eine andere leistungssteigernde Nahrungskomponente des Fleisches die Ursache der Veränderungen gewesen sei. Daher verglichen wir in einer zweiten analog aufgebauten Untersuchung die Wirkung von Casein, Fleisch und Fleischextrakt. Auch mit Casein ließ sich der beim Rückgang auf das physiologische Eiweiß-Minimum eingetretene Leistungsrückgang wieder aufheben, doch war tatsächlich daneben ein gewisser kreislaufverbessernder Einfluß des Fleischextraktes zu erkennen, der zeigt, wie vorsichtig man bei der Deutung von Ernährungsversuchen sein muß.

In einer dritten noch nicht abgeschlossenen Untersuchung vergleichen wir schließlich die Wirkung von pflanzlichem und tierischem Eiweiß, um zu erfahren, ob die biologische Wertigkeit des Eiweißes auch auf die Erhaltung der Leistungsfähigkeit von Einfluß ist. Es scheint, daß vom pflanzlichen Eiweiß (Mischung von Sojaeiweiß und Weizenkleber) etwas größere Mengen als vom tierischen benötigt werden.

Eine so große Zahl von Ermittlungen, wie sie zum Festhalten des Geschehens im Verlauf derartiger Versuche notwendig sind, lassen sich leider nur an wenigen (2–3) Versuchspersonen gleichzeitig ausführen. Es war daher notwendig, die Versuche mit vereinfachter Methodik an einem größeren Personenkreis zu wiederholen. Dazu wurden von G. Lehmann und F. H. Michaelis<sup>12)</sup> in

<sup>12)</sup> Noch unveröffentlichte Versuche.

Arbeiterlagern Leistungsfähigkeitsmessungen bei konstantem Amplitudenfrequenzprodukt während einer Variation der Eiweißernährung ausgeführt.

Bei der ersten Gruppe handelte es sich um 31 Schwerarbeiter aus der eisenverarbeitenden Industrie. Sie hatten ursprünglich ungefähr 90 g Eiweiß im Tag, wovon die Hälfte tierisches Eiweiß war. Mit dem Ersatz der Eiweißträger durch Fett und Speck waren sie – ohne daß ihnen der Versuchsplan zum Bewußtsein kam –, durchaus einverstanden. Die Reduktion auf 75 g Gesamteiweiß und 20 g tierisches war ohne Einfluß auf die Leistungsfähigkeit (Bild 4).

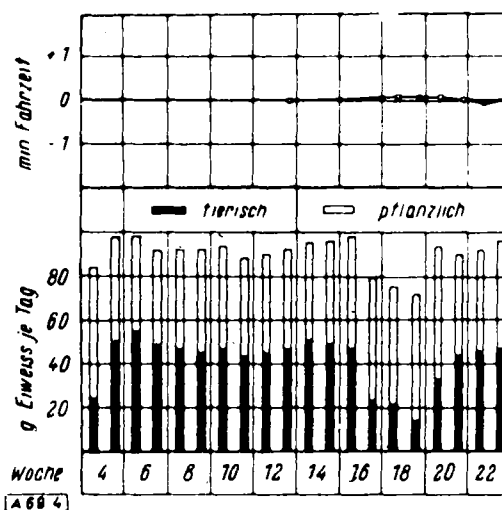


Bild 4

Die 2. Gruppe waren 23 Erdarbeiter, die ursprünglich genau dieselbe Ernährung wie Gruppe 1 hatten. Die Reduktion des Nahrungsproteins erstreckte sich fast ausschließlich auf das tierische Eiweiß. Sie erhielten im 2. Abschnitt 72 g Gesamteiweiß, darunter nur 10 g tierisches Eiweiß. Tatsächlich zeigte sich 14 Tage nach Verminderung des Proteingehalts eine mäßige Senkung der Leistungsfähigkeit, ein Zeichen, daß auch hierbei die biologische Wertigkeit eine Rolle spielt (Bild 5).

Die 3. Gruppe von 19 landwirtschaftlichen Arbeitern erhielt im einleitenden Versuchsabschnitt 60–65 g Gesamteiweiß, wovon 25 g tierisches waren, in dem eiweißarmen Abschnitt dagegen nur

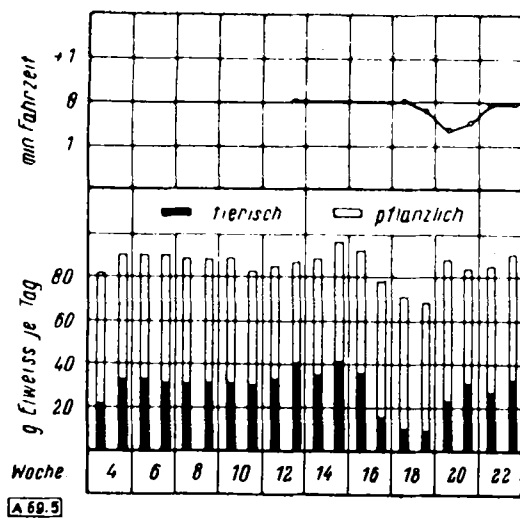


Bild 5

45–50 g Gesamteiweiß, darunter ca. 12 g tierisches. Hier war der Rückgang der Leistungsfähigkeit enorm. Im Bild 6 ist er in Minuten Fahrzeit am Fahrradergometer angegeben. Er beträgt in der 14.–16. Versuchswoche ca. 20% der in dem einleitenden Abschnitt gemessenen Leistungsfähigkeit und bestätigt so durchaus unsere mit der ausführlichen Methodik an wenigen Versuchspersonen gewonnenen Ergebnisse.

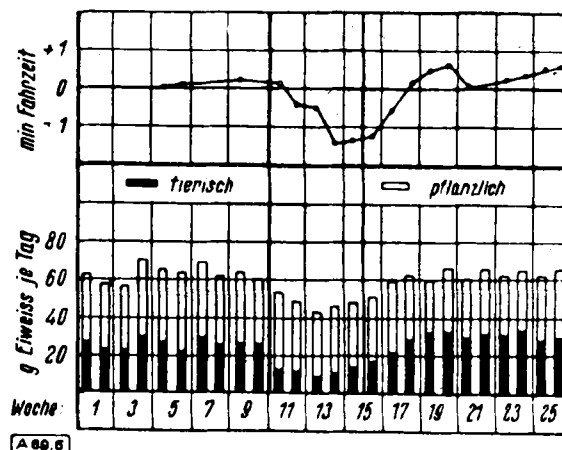


Bild 6

Von dem physiologischen Eiweißminimum, das bei Schwerarbeit nicht verändert ist, muß man ein funktionelles Eiweißminimum unterscheiden, das sich nach dem Grad der körperlichen Betätigung richtet. Für den Schwerarbeiter liegt es nach den bisherigen Erfahrungen bei gemischter Kost oberhalb von 65 g täglicher Eiweißaufnahme, also ungefähr 50% über dem physiologischen Eiweiß-Minimum.

Eingeg. am 26. Juni 1944. [A 69].

## Über die Kondensation aromatischer Verbindungen mit Formaldehyd

### Eine neue Gruppe reaktiver Formaldehydharze

Von Dr. habil. R. WEGLER, Wiss. Hauptlaboratorium der Farbenfabriken Bayer (I. G. Farbenindustrie A. G. in Auflösung), Leverkusen

Im Verlauf des letzten Krieges begannen wir in Leverkusen Arbeiten mit dem Ziel, das in größerer Menge vorhandene bzw. bei der Toluol-Destillation anfallende Xylol für die Chemie der Kunstharze nutzbar zu machen. Diese Arbeiten haben zu neuen Erkenntnissen über die Chemie der Formaldehyd-Kondensationsprodukte geführt, die von allgemeinerem Interesse für die Kunstharz-Chemie sind.

Phenole treten mit Formaldehyd besonders leicht in Reaktion, wobei die mildere alkalische Kondensation bei der Zwischenstufe der methylol-haltigen Kondensationsprodukte abgefangen werden kann (Resolstufe). Bei der Reaktion des Formaldehyds in saurem Medium dagegen wurden lange Zeit nur methylen-verknüpfte Kondensationsprodukte angenommen und isoliert; ein üblicher Novolack ist auch fast ausschließlich aus Dioxidiphenylmethan-Derivaten und den entsprechenden höheren Kondensationsprodukten aufgebaut<sup>1)</sup>. Nur bei Phenolen besonders begrenzter Reaktionsfähigkeit läßt sich auch sauer die Carbinol-Stufe leicht fassen, worauf ich später näher eingehen werde. Härtung und Reaktionen der Resole sind heute in ihren wesentlichen chemischen Grundlagen sichergestellt<sup>2)</sup>, wobei die Härtung nicht direkt zu methylen-verknüpften Phenolen führt, sondern, wie Greth sowie Zinke und Mitarbeiter feststellten, über die Oxybenzylätherstufe verläuft und oft auf dieser Stufe stehen bleibt. Auch die Vorgänge, die sich beim Modifizieren der Resole mit Alkoholen oder Carbonsäuren sowie ungesättigten Verbindungen

abspielen, dürfen weitestgehend als aufgeklärt gelten, wenngleich einzelne Reaktionen im Ausmaß ihres Ablaufes bei bestimmten Temperaturen umstritten sind<sup>3)</sup>. Auf Einzelheiten dieser Arbeiten, die fast gleichzeitig von verschiedenen Arbeitskreisen<sup>4)</sup> durchgeführt wurden, wird im folgenden nur soweit eingegangen, als es zum allgemeinen Verständnis erforderlich ist und notwendig erscheint, um Zusammenhänge aufzuzeigen.

### Historische Entwicklung

Die Reaktionsfähigkeit aromatischer Kohlenwasserstoffe mit Formaldehyd unter dem Einfluß starker Säuren wurde bereits von A. v. Baeyer und Mitarbeitern festgestellt<sup>4)</sup>. Stets wurde dabei nur die Bildung von Diphenylmethan-Derivaten beobachtet, obwohl Derivate des Benzylalkohols als erste Stufe vermutet wurden. Die Harze fanden infolge der fehlenden Reaktionsfähigkeit im Gegensatz zu den reaktiven Resolen keine nennenswerte technische Anwendung, wenngleich für einzelne Darstellungsweisen wiederholt Schutzrechte beansprucht wurden<sup>5)</sup> und auch eine Anwendung für Lackzwecke gesucht wurde<sup>6)</sup>. Die Katalysatoren für die Harz-Kondensation, ferner die Reaktionstemperatur nebst der Formaldehyd-Menge und die angewandten Kohlenwasserstoffe wurden in weitestgehendem Maße bei diesen Verfahren variiert. Folchi<sup>7)</sup> beobachtete auch eine Zersetzung von vorsichtig kondensierten Naphthalin-Formaldehyd-Harzen beim Trocknen in der Hitze, falls die Säure mangelhaft entfernt wurde. Dabei wurde auch Formaldehyd als Zersetzungsprodukt festgestellt. Eine weitere Untersuchung erfolgte aber nicht. Meist bemühte man sich, möglichst hochschmelzende Lackharze zu erhalten, weshalb auch bevorzugt

<sup>1)</sup> M. Köbner, diese Ztschr. 46, 251 [1933]; Chemiker-Ztg. 64, 619 [1930]; Seebach, Kunststoffe, 27, 55, 287 [1937]; Walker, ebenda, 32, 352 [1936].  
<sup>2)</sup> H. Stäger, J. Biert, Helv. chim. Acta 21, 641 [1938]; A. Greth, diese Ztschr. 61, 719 [1938]; A. Zinke, F. Hanus u. E. Ziegler, J. prakt. Chem. 152, 126 [1939]; F. Hanus u. E. Fuchs, ebenda 152, 328 [1939]; F. Hanus, ebenda 158, 246 [1941]; A. Zinke, F. Hanus, Ber. dtsh. chem. Ges. 74, 205 [1941]; A. Zinke u. E. Ziegler, ebenda 74, 541 [1941]; 74, 1729 [1941]; E. Ziegler, ebenda 74, 841 [1941]; E. Mayer-Pitsch u. H. Troger, Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. 47, 60 [1941]; H. v. Euler, A. Adler u. J. O. Cedwell, Ark. Kem. Mineral. Geol. Ser. A 14 Nr. 14 [1941]; 15 Nr. 7 [1941]; A. v. Euler, diese Ztschr. 54, 458 [1941]. Dort zahlreiche weitere Literaturstellen der früheren Arbeiten von A. v. Euler u. Mitarb.; Hultsch, J. prakt. Chem. 158, 285 [1941]; Ber. dtsh. chem. Ges. 74, 898 [1941]; J. prakt. Chem. 158, 355 [1941]; 159, 155 [1941]; Ber. dtsh. chem. Ges. 74, 1533 [1941]; 74, 1539 [1941]; 75, 106 [1942]; Kunststoffe 32, 69 [1942]; Hultsch u. G. Schiemann, Ber. dtsh. chem. Ges. 75, 369 [1942]; A. Greth, „Reaktive Phenolharze und Phenolharzabwandlungen“, Kunststoffe 32, 246 [1941]; E. Ziegler u. J. Simmler, Ber. dtsh. chem. Ges. 74, 1871 [1941]; A. Zinke, M. Tonio, K. Mercher, ebenda 75, 151 [1942]; E. Schauenstein u. S. Bontempo, ebenda 76, 75 [1943]; A. Zinke u. E. Ziegler, ebenda 77, 265 [1944]; Hultsch, Kunststoffe, 37, 43 [1947].

<sup>3)</sup> C. Dold, Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. 3, 287, 325 [1933]; Chem. Zbl. 1938 I 2959; 1939 II 3639; K. Buser, Farben-Ztg. 45, 148 [1940].  
<sup>4)</sup> A. v. Baeyer, Ber. dtsh. chem. Ges. 5, 1098 [1872]; 6, 223 [1873]; 7, 1190 [1874] usw., vgl. J. Scheiber: Chemie und Technologie der künstlichen Harze (1943), S. 601.  
<sup>5)</sup> R. Bohn, BASF, DRP. 207743 [1907]; A. P. 898307 [1908]; Dr. Kochler, BASF, DRP. 349741 [1918]; F. Bayer u. Co.  
<sup>6)</sup> BASF, DRP. 303891 [1917].  
<sup>7)</sup> P. Folchi, Chemiker-Ztg. 1922, 714; DRP. 387836 der Fa. Dr. K. Albert [1918]; DRP. 406152 [1919]; DRP. 406999 [1919], Farbwerke vorm. Lucius u. Brüning, Höchst; DRP. 403264 [1919], Farbwerke vorm. Lucius u. Brüning, Höchst; Kränzlein, Vogt, Brunner, DRP. 528391, I. G. Höchst; DRP. 319799 [1917], 333060, Tetralin GmbH.; F. P. 846901 [1938], Standard Oil Development; DRP. 305575 [1917], AGFA, Berlin; DRP. 332334 [1918], AGFA, Berlin; F. P. 420443 Bakelite-Ges.; Morgan u. Morrison, E. P. 319444.