

Aus dem Institut für vegetative Physiologie der Universität Frankfurt

Wie wird der Brennstoffbedarf sichergestellt (endogen-exogen)?¹⁾

Von H. Förster

Mit 7 Abbildungen und 2 Tabellen

Zur Energiegewinnung werden im wesentlichen die drei Hauptnährstoffe Kohlenhydrat, Fett und Eiweiß herangezogen. In der Regel werden alle drei Nährstoffe nebeneinander verwertet, lediglich ihr Anteil am Gesamtumsatz variiert. Auch der gesamte Energiebedarf des menschlichen Organismus kann recht erheblich schwanken, für eine 70 kg schwere Normalperson beträgt der Ruhenernährungsatz zum Beispiel etwa 1800 kcal/24 Std. Bei schwerer körperlicher Belastung kann der Energiebedarf auf 5000, ja auf 7000 kcal/24 Std. ansteigen. Voraussetzung für die Aufrechterhaltung des Energieumsatzes über einen längeren Zeitraum ist die Aufnahme von Nährstoffen in den Organismus, die in der Regel als Resorption der Nahrungszufuhr über den Gastrointestinaltrakt erfolgt. Die Tab. 1 zeigt eine grobe Schätzung der maximalen Resorptionskapazität für die drei Hauptnährstoffe. Dieser Schätzung liegen eine Reihe von experimentellen Daten zugrunde (1). Man kann ohne weiteres überschlagen, daß lediglich Kohlenhydrate allein in der Lage wären, den extremen Energiebedarf von 5000–7000 kcal zu decken. Am geringsten ist die Aminosäureresorption, nur 2300 Eiweißkalorien könnten pro 24 Std. resorbiert werden, wenn man eine vollständige Spaltung des zugeführten Eiweißes zugrunde legt. Das ist nur wenig oberhalb des Grundumsatzes. Von der Resorption her gesehen ist also eine Deckung des Kalorienbedarfs am ehesten mit Kohlenhydraten möglich, sie ist unter nicht zu extremen Bedingungen noch möglich mit Fett, sie ist ausgeschlossen allein mit Eiweiß.

Tab. 1. Vergleich der Resorptionskapazität des menschlichen Darms
(nach Wilson)

Substanz	Gramm	Mol	kcal
Wasser	18 000	1 000	—
Glucose	3 600	20	14 000
Aminosäuren	600	5	2 300
Triglyceride	700	0,9	6 500

Bei den angegebenen Werten handelt es sich um theoretisch mögliche Maximalwerte, die Realwerte liegen mit Sicherheit wesentlich niedriger,

¹⁾ Vorgetragen auf dem Symposium „Die Kalorie“ in Bad Schachen (Bodensee) am 26. April 1972.

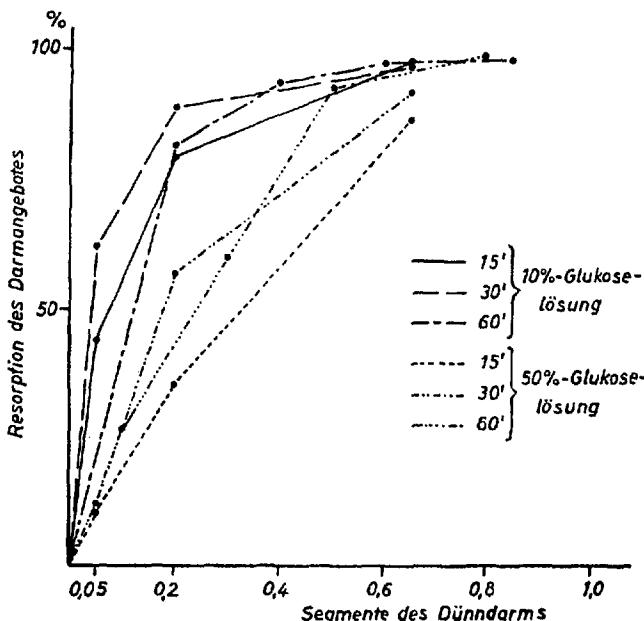


Abb. 1. Die Abhängigkeit der Resorption 10%iger und 50%iger Glucoselösungen von der Resorptionsdauer und die Lokalisierung der Resorption in verschiedenen Segmenten des Dünndarms der Ratte (1,0 = Gesamtlänge des Dünndarms).

da der intestinalen Resorption noch die Magenentleerung und auch die Verdauung vorangestellt ist. Die Magenentleerung reguliert die Resorption, sie führt dazu, daß letztlich die Resorptionskapazität nur teilweise ausgenutzt wird. Dies gilt für alle Nahrungsmittel. In Abb. 1 wird gezeigt, daß nach oraler Glucosezufuhr die Resorption fast ausschließlich im oberen Darmdrittel stattfindet, in tieferen Darmsegmenten ist kaum noch Glucose zu finden (2). Umfangreiche Untersuchungen verschiedenster Arbeitsgruppen haben gezeigt, daß dies für Eiweiß und insbesondere auch für Fett ebenso gültig ist (siehe bei 1 und 3). Dementsprechend müßte man die gezeigten Maximalwerte für die Resorptionskapazität noch wesentlich reduzieren und erhielt dann die unter Berücksichtigung der Magenentleerung real mögliche Resorption für 24 Std. (Tab. 2). Hierbei ist nicht berücksichtigt, daß auch während des Nachschlafes keine Nahrungszufuhr erfolgt. Es ist offenkundig, daß die größten Reserven bei der Kohlenhydratresorption, die niedrigsten bei der Eiweißresorption liegen.

Tab. 2. Resorptionskapazität und Nahrungszufuhr beim Menschen (70 kcal Körpergewicht, Grundumsatz ca. 1800 kcal/Tag; Energiebedarf ca. 3000 kcal/Tag)

Substanz	Kapazität g/Tag	Kapazität (kcal/Tag)	Zufuhr g/Tag	Zufuhr (kcal/Tag)	Reserve
Glucose	2 500	(10 000)	350	(1300)	86%
Aminosäuren	400	(1 600)	100	(400)	74%
Triglyceride	500	(4 500)	140	(1300)	72%

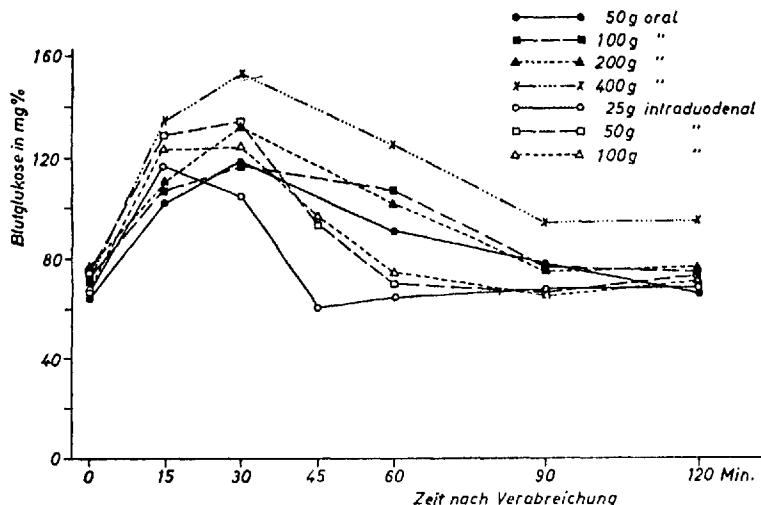


Abb. 2. Das Verhalten der Blutglucose bei oraler und bei intraduodenaler Glucosebelastung.

Andererseits ist jede Nahrungszufuhr von einer länger dauernden Resorptionsperiode gefolgt, einer Periode, die teilweise an den Blutspiegeln gar nicht mehr verfolgt werden kann! Im Gegenteil, man kann bei isolierter Betrachtung von Blutkonzentrationen zu wesentlichen Irrtümern gelangen. Wir haben dieses Verhalten bei oralen Glucosebelastungen untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, daß sich nach einiger Zeit ein „steady state“ einstellt, bei dem zwar noch eine Resorption statthat, jedoch ein Gleichgewicht zwischen intestinaler Aufnahme und peripherer Verwertung besteht (4, 5). Die Blutglucosekonzentration nach einer oralen Glucosebelastung mit 400 g Glucose ist zwar nach 2 Std. wieder normalisiert (Abb. 2), die Glucoseresorption ist jedoch erst nach etwa 6–8 Std. vollständig beendet. Während die Blutglucosekonzentration nach 120 Min. kaum noch erhöht ist, kann man immer noch eine deutliche periphere Glucoseaufnahme nachweisen (Abb. 3). Hier wurde die kapillarvenöse Glucosekonzentrationsdifferenz bestimmt. Nach oraler Zufuhr von 30 g Glucose und von 50 g Glucose ist nach 120 Min. keine Konzentrationsdifferenz mehr vorhanden. Demgegenüber ist nach Zufuhr von 100 g Glucose und erst recht nach höheren Dosierungen die kapillare Glucosekonzentration noch deutlich gegenüber der venösen Glucosekonzentration erhöht. Bei Nachweis einer ausgeprägten peripheren Glucoseaufnahme zu einem Zeitpunkt, bei dem die Blutglucosekonzentration weitgehend normalisiert ist, liegt die Schlußfolgerung nahe, daß zu diesem Zeitpunkt auch noch Glucose aus dem Intestinaltrakt aufgenommen wird. Eine ganze Reihe weiterer Tatsachen, auf die ich jetzt nicht näher eingehen kann, sprechen für diese Ansicht (siehe bei 4, 5).

Pauschal kann man als Resorptionsphase nach der Nahrungszufuhr bei mittleren Mahlzeiten einen Zeitraum von mindestens 4–6 Std. betrachten. Daraus folgt, daß die Nahrungszufuhr zwischen Frühstück und 4–5 Std.

nach dem Abendessen in wellenförmigen Bewegungen erfolgt, Resorptionsfreie Perioden sind bei fehlendem 2. Frühstück die letzten Stunden vor dem Mittagessen und die letzten Stunden vor dem Abendessen, falls nicht nachmittags nochmals Nahrung zugeführt wird.

Nach der oralen Aufnahme werden alle höher-molekularen Verbindungen im Intestinaltrakt zu kleineren Bruchstücken aufgespalten: Stärke zu Glucose, Triglyceride zur freien Fettsäure, zu Diglyceriden, Monoglyceriden und auch zu Glycerin, Proteine zu Aminosäuren. Während dieser Verdauung kommt es auch zu einer Proteinsekretion in das Darmlumen. Es wird geschätzt, daß pro Tag zwischen 50 und 100 g Proteine, z. T. Verdauungsenzyme, z. T. abgeschilferte Epithelien, in das Darmlumen gelangen (siehe bei 6). Die Verdauungskapazität für Kohlenhydrate ist am wenigsten begrenzt. Die Proteinverdauung ist dagegen in der Regel unvollständig. Die Proteinzufluhr wird dementsprechend auch durch die sog. Verdaulichkeit der Proteine eingeschränkt. Diese Verdaulichkeit kann unter 50% liegen, sie ist in der Regel bei pflanzlichen Proteinen niedriger als bei tierischen Proteinen (siehe bei 6). Aminosäuren und Zucker passieren dann unverändert das Darmepithel und gelangen direkt in den Blutkreislauf. Fettsäuren werden in der Regel schon im Darmepithel zu Triglyceriden resynthetisiert und gelangen unter Umgehung des Pfortader-systems über die Lymphe in den großen Kreislauf.

In der Resorptiven Phase wird ein Teil der zugeführten Nährstoffe direkt zur Energiegewinnung herangezogen, der Rest muß gespeichert werden. Von den drei Nährstoffen ist Fett die ideale Speichersubstanz: es hat den höchsten Energieinhalt pro Gramm und kann als hydrophobe Substanz praktisch wasserfrei abgelagert werden. Fettgewebe hat einen Brennwert von etwa 7 kcal/g. Kohlenhydrate sind wesentlich schlechter als Speicher-substanzen geeignet, sie enthalten weniger Energie pro Gramm und können infolge ihrer hydrophilien Eigenschaften nur zusammen mit größeren Mengen Wasser abgelagert werden. Proteine sind im Verhältnis zu den

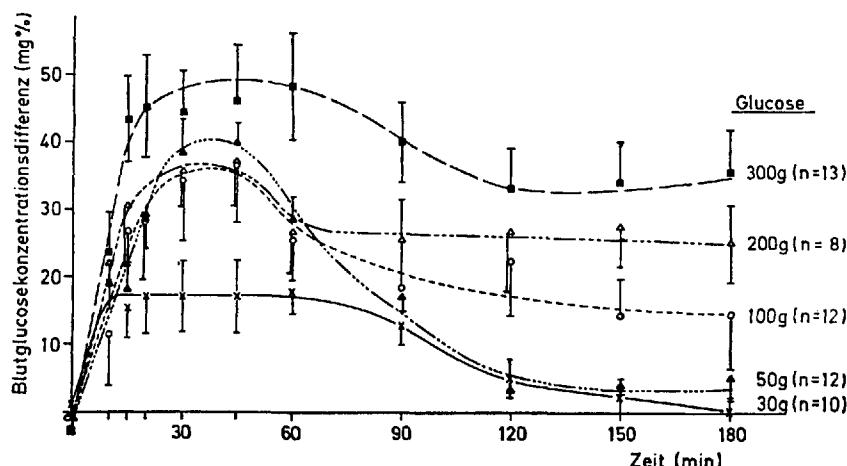


Abb. 3. Kapillar-venöse Blutglukosekonzentrationsdifferenzen bei jungen stoffwechselgesunden Versuchspersonen nach oraler Belastung mit verschiedenen Glucosemengen.

anderen beiden Substanzen außerordentlich komplizierte Gebilde, die zudem ebenfalls hydrophil sind. Eine Eiweißspeicherung ist daher aus verschiedenen Gründen nur schwer vorstellbar.

Auch im Organismus wird entsprechend der physikalisch-chemischen Voraussetzungen verfahren: die wesentlichste Speichersubstanz sind die Triglyceride, das Fett. Kohlenhydrate können kaum gespeichert werden, auch Eiweiß kann praktisch nicht wirklich gespeichert werden: Jede Eiweißspeicherung ist eine Pseudospeicherung. Proteine werden immer in Strukturen eingebaut. Im Hungerzustand werden dann die entsprechenden Strukturen abgebaut, insbesondere das Muskeleiweiß wird hier angegriffen. Bei einem 70 kg schweren, normal ernährten Durchschnittsmenschen sind etwa 15 kg Fett gespeichert. Etwa 6 kg Eiweiß kann unter extremen Bedingungen mobilisiert werden, aber nur 0,2–0,4 kg Glucose sind als Glykogen maximal vorhanden! Im gespeicherten Fett sind also etwa 140 000 kcal, im Eiweiß etwa 24 000 kcal und im Glykogen lediglich ca. 1000 kcal enthalten. Die gespeicherten Kohlenhydrate können dementsprechend den Energiebedarf nur sehr kurzfristig – nicht einmal 24 Std. – decken, die Proteine würden für etwa 15 Tage ausreichen, und das Fett würde den Bedarf von fast 100 Tagen decken.

Aus diesen Überlegungen folgt, daß Fett, sofern es nicht direkt umgesetzt wird, zwangsläufig unbegrenzt als solches gespeichert wird, sofern es in den Organismus gelangt. Im Überschuß zugeführte Kohlenhydrate werden zum geringen Teil als Glykogen abgelagert, zum größeren Teil jedoch zu Fett umgebaut und dann als solches gespeichert. Im Überschuß zugeführtes Eiweiß muß ebenfalls vollständig zu Kohlenhydrat und Fett umgebaut werden, ehe es gespeichert werden kann. Entsprechend diesen biochemischen Grundlagen muß man erwarten, daß nach Fettzufuhr die geringste, nach Eiweißzufuhr der höchste Energieaufwand von der Zufuhr bis zur Speicherung des entsprechenden Nährstoffes erforderlich ist. Dieser Energieaufwand wird als spezifisch dynamische Wirkung bezeichnet. Es handelt sich dabei um die meßbare Steigerung des Ruhenüchternumsatzes nach Zufuhr des jeweiligen Nährstoffes. Diese spezifisch dynamische Wirkung kann als Ausdruck der gesamten zusätzlichen Stoffwechselleistungen nach der Zufuhr des Nährstoffes betrachtet werden. Die spezifisch dynamische Wirkung nach Fett ist erwartungsgemäß am geringsten, sie beträgt 4 %, nach Kohlenhydraten ist sie nur etwas höher, sie beträgt 6 %. Nach Eiweiß ist die spezifisch dynamische Wirkung erwartungsgemäß am höchsten, sie beträgt 15–30 %. Am eindrucksvollsten an diesen Werten ist, daß sie zu einem Zeitpunkt erarbeitet wurden, an dem von den biochemischen Umsätzen noch sehr wenig bekannt war, erst viel später wurde durch Aufklärung der einzelnen Stoffwechselschritte die theoretische Grundlage für diese empirischen Werte erbracht. Andererseits besteht keine Ursache, an der Richtigkeit der Daten für die spezifisch dynamische Wirkung zu zweifeln, auch wenn die grundlegenden Messungen mehr als 70 Jahre zurückliegen (7).

Es ist zwar immer wieder versucht worden, diese Werte zu verändern (siehe bei 8). Die experimentellen Daten haben jedoch bislang nicht überzeugen können. Dies gilt insbesondere auch für Berichte über fehlende Gewichtszunahme oder sogar Gewichtsabnahme bei extremer Fettzufuhr, mit denen die Öffentlichkeit in letzter Zeit verwirrt worden ist (8, 9, 10).

Die Autoren wollen durch überhöhte Fettzufuhr eine Grundumsatzsteigerung um mehr als 100% erzielt haben. Keiner von beiden Autoren konnte allerdings bislang eine Grundumsatzsteigerung bei Fettzufuhr nachweisen; Irsigler konnte bei kurzzeitiger indirekter Kalorimetrie lediglich eine geringfügige Senkung des Grundumsatzes bei Glucosezufuhr feststellen (8), daraus kann man keinesfalls eine Steigerung des Grundumsatzes bei Fettzufuhr ableiten!

Von den drei Nährstoffen ist an sich nur Eiweiß unbedingt erforderlich. Kohlenhydrat und Fett kann, abgesehen von den essentiellen Fettsäuren, im Stoffwechsel gebildet werden, während ein Teil der Aminosäuren die essentiellen Aminosäuren, nicht im menschlichen Organismus synthetisiert werden können. Kohlenhydrat und Fett haben als Energieträger den wesentlichen Vorteil, daß sie rückstandslos zu Kohlendioxyd und Wasser umgesetzt werden. Eiweiß enthält zusätzlich Stickstoff, der zum größten Teil als „Schlacke“, als Harnstoff ausgeschieden wird.

Eine vollständig fettfreie Ernährung ist nicht nur wegen des Fehlens der essentiellen Fettsäuren, sondern auch wegen der Zufuhr der fettlöslichen Vitamine nicht zu empfehlen. Ein Fettanteil von wesentlich weniger als 10 Kalorienprozent wäre jedoch im übrigen wahrscheinlich unproblematisch. Bei unterentwickelten Völkern ist eine derartige Ernährung recht häufig anzutreffen. Bei weitgehendem Fehlen der Kohlenhydrate und entsprechender Steigerung der Fettzufuhr kommt es – besonders bei Kleinkindern – zur Ketose (11). Diese Ketoacidose führt dann in der Regel sekundär zur prompten Einschränkung der Nahrungszufuhr und damit indirekt zur mangelnden Gewichtszunahme oder gar Gewichtsabnahme. Allein aus diesem Grund sollten die Kohlenhydrate in der Nahrung auf keinen Fall zu drastisch vermindert werden. Da Harnstoff im eigentlichen Sinne kein Abbauprodukt darstellt – er enthält noch einen Teil der im Eiweiß vorhandenen Wärmeenergie –, muß dies bei der kalorischen Berechnung berücksichtigt werden. Tatsächlich werden für Fett und für Kohlenhydrate bislang die im Kalorimeter bei der Verbrennung der Substanzen zu Kohlendioxyd und Wasser gemessenen Werte verwendet, während für Eiweiß diese Werte um den Energiegehalt des Harnstoffs korrigiert werden. Bei einem derartigen Vorgehen kann es sich in jedem Fall nur um Näherungen handeln, da z. B. nur 50–80% des Stickstoffs tatsächlich als Harnstoff ausgeschieden werden (12, 13).

Es muß noch etwas ausführlicher auf den Eiweißstoffwechsel eingegangen werden. Beim Eiweißumsatz entsteht primär Ammoniak, das außerordentlich toxisch ist. Die normale Konzentration im Blut ist entsprechend außerordentlich niedrig; sie beträgt 0,05–0,1 mg/100 ml. Auch die Ausscheidung des weniger toxischen Harnstoffs als Rückstand des Eiweißumsatzes ist nicht so einfach wie diejenige von Kohlendioxyd und Wasser, die die ausschließlichen Endprodukte des Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsels darstellen. Für die Harnstoffausscheidung ist die Funktionsfähigkeit der Nieren erforderlich. Als Obergrenze für die Harnstoffkonzentration wird etwa 50 mg/100 ml angesehen. Diese Grenze kann bei hoher Eiweißzufuhr auch bei vollständig gesunden Personen erreicht, ja überschritten werden (Abb. 4, nach 14). 2,5 g/kg und 24 Std. entspräche bei einer 70 kg schweren Person 175 g Eiweiß pro 24 Std. Dieser Wert dürfte in der Bundesrepublik mit einem durchschnittlichen Verbrauch von etwa 90–100 g Eiweiß pro

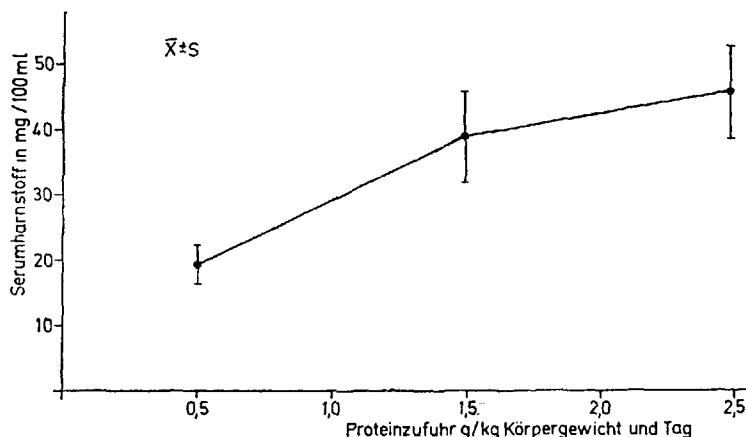


Abb. 4. Beziehung zwischen Proteinzufuhr und Harnstoffkonzentration im Serum (nach Addis et al.).

Kopf der Bevölkerung von einem nicht zu geringen Prozentsatz erreicht werden. Bekannte Symptome bei übermäßiger Eiweißzufuhr sind Übelkeit und Widerwillen gegen die entsprechende Nahrung, die regelmäßig zu einer Einschränkung der Nahrungszufuhr führen und den Erfolg eiweißreicher Abmagerungsdiäten begründen. Dies ist der Fall trotz nachgewiesener adaptativer Erhöhung der Aktivität der aminosäureabbauenden Enzyme (15). Eiweiß ist als Kalorienträger offensichtlich aus verschiedenen Gründen nur bedingt geeignet. Die Eiweißzufuhr ist zwar wegen der essentiellen Aminosäuren erforderlich, sie sollte jedoch ein wünschenswertes Maß nicht überschreiten. Sowohl die beschränkte Aminosäureresorption, wie auch die beschränkte Ausscheidung der Eiweißschlacke Harnstoff sprechen gegen eine übermäßige Eiweißzufuhr. Die Ernährungsstatistiken zeigen, daß die Gesamtbevölkerung die Eiweißzufuhr über lange Zeiträume, trotz stark veränderter Ernährungsbedingungen, sehr konstant hält. Nach einer schwedischen Statistik ist der Eiweißgehalt der Nahrung mit 10–11 Kalorienprozent in den letzten 80 Jahren sehr gleichmäßig geblieben (Abb. 5). Dagegen ist der Kohlenhydratgehalt der Nahrung von 70% auf unter 50% gefallen, der Fettanteil entsprechend von 20% auf fast 50% angestiegen. In der Abb. ist die Situation in Schweden dargestellt, da in diesem Land die kontinuierliche Entwicklung durch die beiden Weltkriege nicht wesentlich beeinträchtigt worden ist (nach 16).

In den Nahrungsmitteln tierischer Herkunft ist – neben Eiweiß – nur Fett enthalten, die Kohlenhydrate fehlen praktisch vollständig. In den pflanzlichen Nahrungsmitteln sind dagegen meist nur Kohlenhydrate vorhanden, während – von Ausnahmefällen abgesehen – hier das Fett fehlt. Die verbesserte wirtschaftliche Situation führte also dazu, daß Kohlenhydrate in der Nahrung durch das schmackhaftere Fett ersetzt wurden. Gleichzeitig wird natürlich auch pflanzliches Eiweiß durch tierisches Eiweiß ersetzt. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Verdaulichkeit und damit die Verwertung des pflanzlichen Eiweißes wesentlich geringer ist als die des tierischen Eiweißes (siehe bei 6).

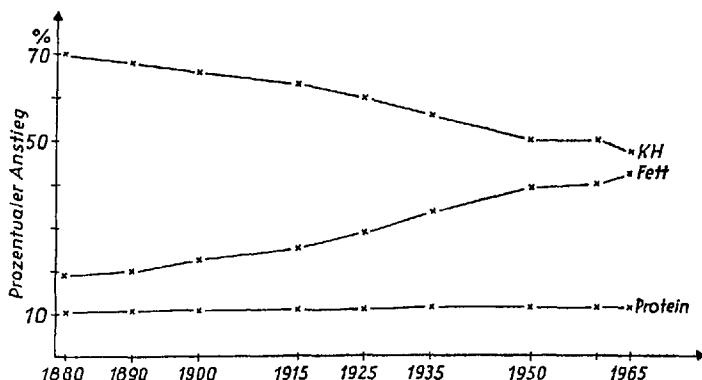


Abb. 5. Prozentuale Verteilung der Energiezufuhr auf Protein, Fett und Kohlenhydrate zwischen 1880 und 1965 in Schweden (nach Hellström und Wretlind).

Die verschiedenen Organe und Körperegewebe können die drei verschiedenen Nährstoffe in unterschiedlichem Ausmaß umsetzen. Der Eiweißabbau stellt hier den stärksten Engpaß dar. Lediglich in der Leber sind alle jene Enzyme vorhanden, die zum vollständigen Umsatz der Aminosäuren erforderlich sind. Vor allen Dingen die Enzyme des Harnstoffzyklus und die Glutaminsäuredehydrogenase in höherer Aktivität sind praktisch ausschließlich in diesem Organ zu finden (siehe bei 17). Daraus folgt, daß der Aminosäureabbau zumindest weitgehend in der Leber stattfindet. Die übrigen Organe (mit Ausnahme der Niere) können Aminosäuren nur sehr begrenzt umsetzen. Auch Fettsäuren können nicht in allen Organen abgebaut werden, so fehlen z. B. den Ganglienzellen und den Erythrozyten die entsprechenden fettsäureaktivierenden Enzyme.

Deswegen sind Ganglienzellen und Erythrozyten essentiell auf die Zufuhr von Glucose angewiesen. Eines der ersten Symptome bei einer Senkung der Blutglucosekonzentration ist die Bewußtseinstrübung und später die Bewußtlosigkeit. Eine wesentliche Funktion des intakten Organismus ist daher die Aufrechterhaltung der Glucosekonzentration im Blut. Auch hierfür kommt der Leber eine zentrale Stellung zu. Etwa 80% der Glucoseneubildung findet in der Leber statt, die restlichen 20% in den Nieren. Nur diese beiden Organe haben die für diese Leistung erforderlichen Phosphatasen, d. h. nur dort kann aus den Zuckerphosphaten freie Glucose gebildet werden (siehe bei 18).

Nun sind die Kohlenhydrate sehr schlecht zu speichern, wie schon ausgeführt wurde. Die Glykogenspeicher der Leber – nur diese können ja für die Regulierung der Blutglucosekonzentration verwendet werden – enthalten maximal 150 g Glykogen, in der Regel jedoch nicht mehr als 60–80 g. Glykogen wird während der Nahrungszufuhr mit einer Speicherungsrate von maximal etwa 1 g pro 100 g Feuchtgewicht gespeichert (19). In der Abb. 6 ist die Glykogenbildung bei Ratten während intravenöser Glucosedauerinfusionen dargestellt (20). Die Ausgangswerte bei den nicht gehungerten Tieren liegen etwa in der angegebenen Größenordnung von 4–6% Glykogen auf Feuchtgewicht gerechnet. Die Glykogenbestimmung

erfolgte am Morgen, d. h. bei Ratten nach der Nahrungsaufnahmeperiode. Es soll darauf hingewiesen werden, daß Ratten – im Gegensatz zum Menschen – nachts fressen, und daher in den Morgenstunden die höchsten Leberglykogenkonzentrationen haben.

Der Glykogenabbau in der nahrungszufuhrfreien Periode erfolgt etwa mit der gleichen Geschwindigkeit wie die Synthese, nämlich mit 0,5–1 % pro Feuchtgewicht, d. h. 8 % Leberglykogen sind nach 8–12 Std. Hunger vollständig abgebaut, dementsprechend ist die menschliche Leber in den Morgenstunden vor dem Frühstück glykogenfrei, der Glucosebedarf wird zu diesem Zeitpunkt ausschließlich durch Glucoseneubildung gedeckt. In der Hungerphase kann durch Abbau von Leber-Glykogen etwa 10–15 g Glucose pro Std. geliefert werden. Da sich der Gesamtglucosebedarf auf etwa 7,5 g/Std. beläuft, ist eine Glucoseneubildung in den ersten Stunden nach Abschluß der Resorption an sich nicht erforderlich. Erst 8–12 Std. nach der letzten Nahrungszufuhr muß der Glucosebedarf des Organismus durch Glucoseneubildung bestritten werden. Erfahrungen mit der sogenannten Nulldiät, also mit langdauernder vollständiger Einstellung der Nahrungszufuhr zur Gewichtsabnahme zeigen, daß auch Hungerperioden von mehreren Monaten durchgeholt werden können (13, 21). Bei solchen Fastenkuren durchgeführte Untersuchungen brachten unter anderem das bemerkenswerte Ergebnis, daß die Blutglucosekonzentration praktisch normal bleibt, trotzdem andauernd Glucose verbraucht wird. Die Ergebnisse für den Stoffwechsel unter solchen extremen Bedingungen sind in der folgenden Abb. 7 festgehalten; die Daten beruhen auf den Untersuchungen der Arbeitsgruppe von Cahill (aus 12 nach 13, 21). Der minimale Eiweißumsatz von 75 g Eiweiß pro Tag kann sich bei sehr langen Fastenperioden noch weiter verringern, da auch der Glucoseverbrauch noch weiter zurückgeht. Ich möchte noch darauf hinweisen, daß der Eiweißumsatz bei normalen Ernährungsbedingungen natürlich unter optimalen Bedingungen wesentlich geringer sein kann. Wann z. B. der Zwang zur Gluconeogenese entfällt, kann bei eiweißfreier Ernährung der Eiweißumsatz unter optimalen Bedingungen auf etwa 15–30 g/Tag zurückgehen.

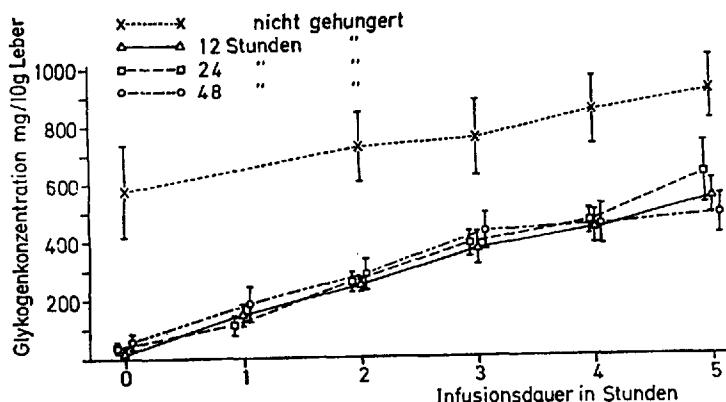


Abb. 6. Glykogenbildung bei intravenösen Glucosedauerinfusionen bei Ratten (300 mg Glucose/Std.).

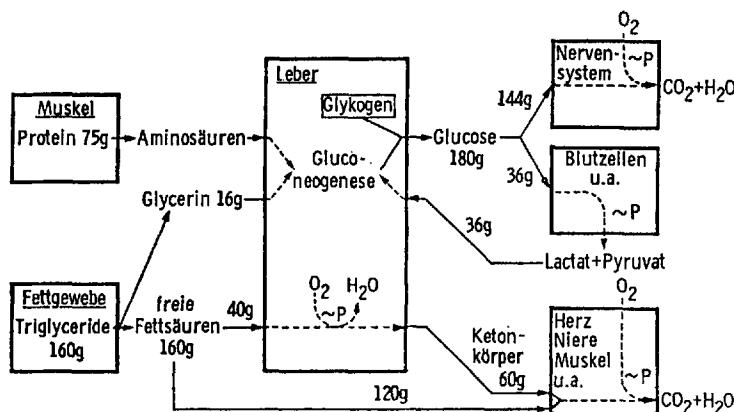


Abb. 7. Herkunft, Umwandlung und Verbrauch von Nährstoffen (entsprechend einem Grundumsatz von 1800 kcal/24 Stunden) beim fastenden, stoffwechselgesunden Menschen (nach Cahill).

Schlußfolgerungen

Eiweiß ist wegen seines Gehaltes an essentiellen Aminosäuren als Nahrungsmittel unbedingt erforderlich. Seine Zufuhr wird allerdings durch die begrenzte Verdauung der Proteine und durch die beschränkte Resorbierbarkeit der Aminosäuren limitiert. Auch der beschränkte Umsatz und die erforderliche Ausscheidung der Eiweißschlacken lässt eine begrenzte Eiweißzufuhr wünschenswert erscheinen.

Fett ist die ideale Speichersubstanz, da der größte Energiegehalt pro Gewichtseinheit abgelagert werden kann. Die beiden anderen Kalorienträger Eiweiß und Kohlenhydrate werden weitgehend zu Fett umgebaut, sofern sie im Überschuß zugeführt werden. In den Fettspeichern sind praktisch unbegrenzte Energiereserven sowohl für die akuten Hochleistungen, wie auch für lang anhaltende Dauerleistungen enthalten. Auch im Hungerzustand wird Fett als Energielieferant für die meisten Stoffwechselleistungen verwendet. Eine geringe Fettzufuhr ist wegen des Bedarfs an essentiellen Fettsäuren und an fettlöslichen Vitaminen erforderlich.

Im Gegensatz zu Fett und Aminosäuren ist Glucose für den Stoffwechsel bzw. für die Aufrechterhaltung der Funktion einiger Organe unbedingt erforderlich. Da Glucose nur in sehr geringem Ausmaß als Glykogen gespeichert werden kann, muß selbst bei kurzfristigen Hungerperioden Glucose neu gebildet werden. Ausgangsstufe für die Glucoseneubildung ist zum überwiegenden Teil Eiweiß, das zu etwa 50% zu Glucose umgebaut werden kann. Von den Triglyceriden kann lediglich der Glycerinanteil in die Gluconeogenese einbezogen werden. Wenn der Kohlenhydratanteil in der Nahrung zu stark gesenkt wird, kann es zur Ketoacidose kommen. Daher ist ein geringer Kohlenhydratanteil in der Nahrung unbedingt zu fordern.

Wegen der relativ unbegrenzten Resorptionskapazität für Kohlenhydrate ist ein sehr hoher Kalorienbedarf lediglich durch Kohlenhydrate zu decken. Über die Fettresorption und die Eiweißresorption ist bei extremen Bedingungen nur ein Teil des Bedarfs zu befriedigen.

Literatur

1. Wilson, T. H., Intestinal Absorption (Philadelphia-London 1962). - 2. Förster, H., Inauguraldissertation (München 1962). - 3. Wiseman, G., Absorption from the intestine (New York 1964). - 4. Förster, H., Ernährungswiss. Suppl. 11, 49 (1971). - 5. Förster, H., M. Haslbeck, H. Mehnert, Diabetes (im Druck). - 6. Lang, K., Biochemie der Ernährung, 2. Aufl. (Darmstadt 1970). - 7. Rubner, M., Z. Biologie 42, 261 (1901). - 8. Koven, N., (Referat) Diagnostik 5, IX (1972). - 9. Schiele, K., (Referat) Fortschr. Med. 90, 224 (1972). - 10. Irsigler, K., Wien. Klin. Wschr. 81, 845 (1969). - 11. Ellenberg, M., H. Rifkin, Diabetes mellitus (New York 1970). - 12. Mehnert, H., H. Förster, Stoffwechselkrankheiten. Biochemie und Klinik (Stuttgart 1970). - 13. Cahill, G. F., M. G. Herrera, A. P. Morgan, S. Soeldner, J. Steinke, P. L. Levy, G. A. Reichard, D. M. Kipnis, J. Clin. Invest. 45, 1751 (1966). - 14. Addis, T., E. Barrett, L. J. Poo, D. W. Yuen, J. Clin. Invest. 26, 869 (1947). - 15. Harper, A. E., Aminoacid balance and food intake regulation. In: H. C. Meng and D. H. Law eds. (Springfield 1970). - 16. Hellström, V., A. Wretlind, Ernährungsumschau 17, 141 (1970). - 17. Colombo, J. P., Congenital disorders of the urea cycle and ammonia detoxication (Basel 1971). - 18. Förster, H., H. Mehnert, Kohlenhydratstoffwechsel. In: Klinische Pathophysiologie. W. Siegenthaler (Hrsg.), S. 34 (Stuttgart 1970). - 19. Friedmann, B., E. H. Goodman, S. Weinhouse, Endocrinology 81, 486 (1967). - 20. Förster, H., E. Meyer, M. Ziege, Klin. Wschr. 50, 478 (1972). - 21. Owen, O. E., P. Felig, A. P. Morgan, J. Wahren, G. F. Cahill, J. Clin. Invest. 48, 575 (1969).

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Harald Förster, Institut für vegetative Physiologie,
6000 Frankfurt/Main 70, Ludwig-Rhen-Straße 14