

Die Bestimmung des Caloriengehaltes von Nahrung*)

2. Mitteilung: Vergleich verschiedener Methoden zur Bestimmung des Caloriengehaltes von Nahrung

Von C. SCHLAGE und HELGA STOLLEY

Mit 3 Tabellen

(Eingegangen am 27. Februar 1971)

Einleitung

In der ersten Mitteilung (1) wurden einige Voraussetzungen für die Berechnung des Caloriengehaltes von Nahrung dargestellt und allgemeine Faktoren für die Berechnung der Nahrungscalorien aus dem Gehalt an Trockensubstanz, Protein, Fett und Asche angegeben. Die Grundlage bilden die speziellen Faktoren für Nahrungsmittelgruppen nach ATWATER (2, 3) und der durchschnittliche Nahrungsverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland 1968/69 (4).

Im Verlauf von Studien zur Bestimmung des Nährstoffgehaltes in der Nahrung gesunder Kinder in einem Dortmunder Kinderheim (5) ergab sich die Möglichkeit, die oben genannten allgemeinen Faktoren zur Berechnung des Caloriengehaltes aus dem Nährstoffgehalt anzuwenden. Parallel durchgeführte Berechnungen mit Hilfe von Nährstofftabellen und calorimetrische Bestimmungen konnten dabei zum Vergleich herangezogen werden.

Methoden

Im Rahmen von Erhebungen über den Nahrungsverbrauch wurde einzelnen Kindern eines Kinderheimes von einer Ernährungsberaterin oder einer Diätassistentin das Essen einzeln zugewogen. Die Verzehrsreste wurden zurückgewogen. Parallelproben sämtlicher verzehrter Speisen und der zwischendurch genossenen Leckereien wurden gesammelt, aliquote Mengen genau abgewogen und zu einer Tagesprobe vereinigt. Nach dem Homogenisieren mit dem ULTRA-TURRAX wurde mit entionisiertem Wasser auf ein bestimmtes Volumen aufgefüllt (Homogenisat).

Für die calorimetrische Bestimmung der Verbrennungswärme wurde ein Teil des Homogenisats im Vakuumtrockenschrank bei 70 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Im offenen Gefäß wurde die Probe dann im klimatisierten Raum stehengelassen, bis sich die Gleichgewichtsfeuchtigkeit einstellte. Die Rückwaage erlaubte die Restfeuchtebestimmung der zur Verbrennung kommenden Substanz. Etwa 1 g davon wurde im adiabatischen Calorimeter in einem Quarztiegel verbrannt. Aus dem Temperaturanstieg wurde der Caloriengehalt

*) Die Untersuchungen wurden mit Mitteln des Landesamtes für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

nach der DIN-Vorschrift (6) ermittelt und auf die Tagesmenge der Nahrung umgerechnet (physikalische Verbrennungswärme ΔH (kcal/Tag), Spalte B in Tab. 1).

Stickstoff wurde im Homogenisat nach KJELDAHL bestimmt und mit dem Faktor 6,25 auf Protein umgerechnet. Der Fettgehalt wurde nach STOLDT-WEIBULL durch Extraktion nach Aufschluß mit Salzsäure festgestellt. Für die Aschebestimmung wurde getrocknetes Homogenisat bei 450 °C im Muffelofen verbrannt. Der Wassergehalt wurde durch Trocknen bei 105 °C bestimmt.

Berechnungsmethoden

Aus den Verzehrsmengen und der quantitativ erfaßten Zusammensetzung der Speisen wurde der Calorienverzehr pro Kind und Tag mit Hilfe von Nährstofftabellen (7, 8) berechnet (physiologische Verbrennungswärme $\Delta H'_{\text{Tab}}$ (kcal/Tag), Spalte A in Tab. 1).

Aus der calorimetrisch bestimmten physikalischen Verbrennungswärme ΔH (Spalte B in Tab. 1) wurde die physiologische Verbrennungswärme $\Delta H'_{\text{cal}}$ durch Abzüge für nicht ausgenutzte, durch den Harn ausgeschiedene Calorienträger berechnet (9):

$$\Delta H'_{\text{cal}} = \Delta H - P \times 1,26 - TS \times 0,006^*) \quad (\text{Spalte C in Tab. 1})$$

Aus dem Gehalt der Tagesnahrung an Trockensubstanz (TS), Protein (P), Fett (F) und Asche (A) wurde die physiologische Verbrennungswärme $\Delta H'$ nach drei verschiedenen Formeln berechnet. $\Delta H'_{\text{At}}$ („nach ATWATER“) wurde mit den erwähnten neu berechneten allgemeinen Faktoren nach dem ATWATER-System berechnet (Spalte D in Tab. 1):

$$\Delta H'_{\text{At}} = P \times 4,36 + F \times 9,37 + (TS - P - F - A) \times 4,09$$

Die Berechnung von $\Delta H'_{\text{Atv}}$ („ATWATER, vereinfacht“) stellt einen Versuch zur vereinfachten Berechnung des Caloriengehaltes auf der Grundlage des ATWATER-Systems dar (Spalte E in Tab. 1):

$$\Delta H'_{\text{Atv}} = F \times 9,4 + (TS \times 0,95 - F) \times 4,2$$

Ein durchschnittlicher Aschengehalt wird durch Multiplikation des Gehaltes an Trockensubstanz mit 0,95 berücksichtigt. Der Faktor 4,2 für Kohlenhydrat + Protein beruht auf dem verhältnismäßig konstanten Verhältnis von Protein zu Kohlenhydrat im europäisch-nordamerikanischen Ernährungsmuster. Ohnehin sind die allgemeinen Faktoren nur für eine solche Nahrungszusammensetzung anwendbar, so daß damit keine zusätzliche Einschränkung gemacht wird. Die dritte Formel für $\Delta H'_{\text{Ru}}$ („nach RUBNER“) entspricht der in Deutschland überwiegend verwendeten Methode (10) (Spalte F in Tab. 1):

$$\Delta H'_{\text{Ru}} = F \times 9,3 + (TS - F - A) + 4,1$$

Die verfügbare Verbrennungswärme $\Delta H''$ wurde nach zwei verschiedenen Formeln berechnet. Für $\Delta H''_{\text{At}}$ finden die neu berechneten Faktoren nach dem ATWATER-System für die verfügbare Verbrennungswärme (1) Anwendung (Spalte G in Tab. 1):

$$\Delta H''_{\text{At}} = F \times 8,88 + P \times 3,99 + (TS - P - F - A) \times 3,95$$

Unter der Annahme einer durchschnittlichen Verfügbarkeit (scheinbare Resorption, „availability“) von 95% errechnet sich vereinfacht $\Delta H''_{\text{Atv}}$ (Spalte H in Tab. 1):

$$\Delta H''_{\text{Atv}} = 0,95 \times \Delta H'_{\text{Atv}}$$

Ergebnisse

Die Analysenwerte und die Ergebnisse sind in Tab. 1 zusammengefaßt.

Eine Betrachtung der Mittelwerte zeigt, daß die physikalische Verbrennungswärme ΔH (Spalte B) mit 1975 kcal/Tag im Durchschnitt etwa 3% höher liegt als die physiologische Verbrennungswärme $\Delta H'$ mit 1888–1921 kcal/Tag (Spalten A und C

*) Die physiologische Verbrennungswärme wurde in einer vorausgegangenen Arbeit (9) so berechnet, daß ein Betrag für die Rohfaser zusätzlich in Rechnung gestellt wurde. In der vorliegenden Arbeit unterbleibt dieser Abzug, da die calorimetrisch bestimmte Verbrennungswärme mit der Berechnung aus den Analysendaten ohne Berücksichtigung der Rohfaser erfolgen soll.

bis F). Die verfügbare Verbrennungswärme $\Delta H'$ (Spalten G und H) liegt im Mittel mit 1822 bzw. 1832 kcal/Tag etwa 4% unter der physiologischen Verbrennungswärme. Die Mittelwerte der Caloriengehalte nach ATWATER (Spalte D) und nach ATWATER, vereinfacht (Spalte E) sind nahezu identisch und liegen etwas höher als nach RUBNER (Spalte F). Der niedrigste Mittelwert für $\Delta H'$ ergab sich bei der Berechnung aus Nährstofftabellen (Spalte A).

Ein Vergleich der Einzelwerte ergibt zum Teil erheblich größere Unterschiede. Vor allem zwischen der Berechnung nach Tabellenwerten (Spalte A) und der korrigierten calorimetrischen Bestimmung (Spalte C) ergeben sich in 6 von 20 Fällen größere Differenzen. Auf diese Unterschiede wurde in unserer früheren Arbeit hingewiesen (9). Nur in zwei von 20 Fällen überschreitet die Differenz zwischen den aus der Analyse nach ATWATER berechneten (Spalte D) und den korrigierten calorimetrischen Werten (Spalte C) die sich aus der Fehlerfortpflanzung ergebenden Genauigkeitsgrenzen von etwa 3%. Die gute Übereinstimmung der aus der Analyse berechneten Caloriengehalte untereinander beruht darauf, daß dieselben analytischen Daten die gemeinsame Grundlage bilden.

Die Korrelationen (Tab. 2) bestätigen, daß die geringste Übereinstimmung ($r \sim 0,955$) zwischen der Berechnung aus Nährstofftabellen (Spalte A) und allen anderen Methoden besteht. Am besten vergleicht sich die Berechnung aus den Tabel-

Tab. 2. Vergleich der verschiedenen Bestimmungen des Caloriengehaltes
(A bis H nach Tab. 1)

	A	B	C	D	E	F	G
b_1	1,113	—	—	—	—	—	—
B b_0	—126	—	—	—	—	—	—
r	0,9556	—	—	—	—	—	—
b_1	1,069	0,962	—	—	—	—	—
C b_0	—121	— 1	—	—	—	—	—
r	0,9543	0,9998	—	—	—	—	—
b_1	1,050	0,943	0,980	—	—	—	—
D b_0	— 61	+60	+63	—	—	—	—
r	0,9540	0,9976	0,9974	—	—	—	—
b_1	1,046	0,976	0,976	0,994	—	—	—
E b_0	— 57	+67	+69	+8	—	—	—
r	0,9561	0,9975	0,9972	0,9997	—	—	—
b_1	1,040	0,934	0,971	0,991	—	—	—
F b_0	— 61	+58	+60	—1	—	—	—
r	0,9537	0,9976	0,9974	0,9999	—	—	—
b_1	1,004	0,901	0,936	0,955	—	0,964	—
G b_0	— 63	+54	+56	—3	—	— 1	—
r	0,9547	0,9978	0,9975	0,9998	—	0,9998	—
b_1	0,989	0,887	0,922	0,941	0,950	0,949	0,988
H b_0	— 53	+64	+66	+8	+0,5	+10	+12
r	0,9563	0,9975	0,9972	0,9997	1,000	0,9997	0,9997

$$y = b_1 \cdot x + b_0$$

r = Korrelationskoeffizient

len mit der nach ATWATER berechneten verfügbaren Verbrennungswärme (Spalte G) (Regressionskoeffizienten $b_1 = 0,962$, $b_0 = -63$)*). Der korrigierte Calorimeterwert (Spalte C) läßt sich mit großer Genauigkeit als 96% der physikalischen Verbrennungswärme (Spalte B) ausdrücken ($r = 0,9998$, Regressionskoeffizienten $b_1 = 0,962$, $b_0 = -1$). Die Berechnung des Caloriengehaltes nach RUBNER (Spalte F) stimmt mit der nach ATWATER (Spalte D) am besten überein ($r = 0,9999$, Regressionskoeffizienten $b_1 = 0,991$, $b_0 = -1$). Nach RUBNER ergeben sich dabei 1% niedrigere Werte. Eine ähnliche Übereinstimmung zeigt der Vergleich der Berechnungen nach ATWATER (Spalte D) und nach ATWATER, vereinfacht (Spalte E) ($r = 0,9997$, $b_1 = 0,994$, $b_0 = +8$). Die verfügbare Verbrennungswärme $\Delta H''$ nach ATWATER (Spalte G) läßt sich gut als etwa 95% der physiologischen Verbrennungswärme (Spalte D) angeben ($b_1 = 0,995$). Darauf beruht die vereinfachte Berechnung von $\Delta H'_{Atv}$ (Spalte H) als 95% von $\Delta H'_{Atv}$ (Spalte E).

Diskussion

Bemerkenswert gut bilden sich in den Ergebnissen die den Berechnungen zugrunde liegenden Konzepte ab. Den Daten in Spalte A ($\Delta H'_{Tab}$) liegen Tabellen zugrunde, die den Caloriengehalt auf der Grundlage des ATWATER-Systems angeben. Die dabei verwendeten Calorienfaktoren beziehen sich auf Kohlenhydrate aus der Differenz *ohne* Berücksichtigung der Rohfaser. Demgegenüber werden in der Tabelle die Kohlenhydrate *mit* Berücksichtigung der Rohfaser angegeben und auch zur Calorienberechnung herangezogen. Damit werden die Ergebnisse niedriger als es sich aus der konsequenten Anwendung des ATWATER-Systems ergeben würde. Ebenso fallen die Ergebnisse nach RUBNER niedriger aus, da bei der Aufstellung des Faktors 4,1 für Protein bereits die Verfügbarkeit des Proteins berücksichtigt wurde.

Nach RUBNER (11) werden bei gemischter Kost 4–9% der Nahrungs-calorien im Kot des Erwachsenen ausgeschieden. MACY (12) fand bei 4–12jährigen Kindern in langfristigen Bilanzversuchen, daß im Kot durchschnittlich 4,2%, im Harn durchschnittlich 3,6% der physikalischen Verbrennungswärme der aufgenommenen Nahrung ausgeschieden werden. Nach den in dieser Arbeit verwendeten Begriffen bedeutet das eine durchschnittliche physiologische Verbrennungswärme $\Delta H'$ von 96,4% der physikalischen Verbrennungswärme ΔH bei MACY. Die verfügbare Verbrennungswärme $\Delta H''$ ergibt sich bei MACY als 92,2% von ΔH . Setzt man für die Angaben von RUBNER die in dieser Arbeit errechneten 96,4% für die physiologische Verbrennungswärme voraus, so ergibt sich damit die verfügbare Verbrennungswärme als 88–92% der physikalischen Verbrennungswärme. Diese Werte sind mit den von uns errechneten in Tab. 3 zusammengestellt.

Obwohl die Calorienfaktoren auf Versuchen und Beobachtungen mit Erwachsenen beruhen, sind die Resultate der Berechnungen mit den Ergebnissen aus Bilanzversuchen mit Kindern vergleichbar. Die Berechnungen nach ATWATER und die Bilanzversuche von MACY ergeben übereinstimmend, daß zwischen 92 und 93% der physikalischen Verbrennungswärme der Nahrung für den Körper nutzbar sind. In allen Fällen ergibt sich die physiologische Verbrennungswärme als 96–97% der physikalischen Verbrennungswärme. Der niedrigere Wert für die verfügbare Ver-

* b_1 Anstieg der Regressionsgeraden

b_0 Koordinatenabschnitt der Regressionsgeraden

Tab. 3. Vergleich der berechneten $\Delta H'$ und $\Delta H''$ in Prozent der physikalischen Verbrennungswärme ΔH

Methode	b_1	$\Delta H'$ b_0	Mittelwert % von ΔH	b_1	$\Delta H''$ b_0	Mittelwert % von ΔH
MACY (1942)	—	—	96,4	—	—	92,2
ATWATER (D bzw. G)	0,943	+60	97,3	0,901	+54	92,8
calorimetrisch (C)	0,962	— 1	96,1	—	—	—
ATWATER, vereinfacht (E bzw. H)	0,939	+ 67	97,1	0,887	+64	92,3
Tabellenwert (A)	0,887	+126	95,6	—	—	—
RUBNER (F)	0,934	+ 58	96,4	—	—	—
RUBNER (1901)	—	—	(96,4)	—	—	92–88

b_1 : Anstieg der Regressionsgeraden

b_0 : Koordinatenabschnitt der Regressionsgeraden

brennungswärme bei RUBNER (11) ist mit darauf zurückzuführen, daß er die auf Protein entfallenden Kotcalorien doppelt zum Abzug bringt, nämlich bei der Berechnung des Faktors 4,1 für Protein und bei dem Abzug der gesamten Kotcalorien, um die scheinbare Resorption (Verfügbarkeit) zu berücksichtigen.

Trotz der unterschiedlichen Voraussetzungen errechnet sich der Caloriengehalt nach den verschiedenen Verfahren derart ähnlich, daß die Wahl der Berechnungsmethode für praktische Zwecke innerhalb unseres Ernährungsgrundmusters belanglos wird. Wir sind geneigt, diesen Befund mit den Worten von LEGRANGE (1736–1813) über die Mathematik des ausgehenden 18. Jahrhunderts zu kommentieren: „Es wimmelt in ihr von Widersprüchen. Aber Gott in seiner Allgüte hat es so gefügt, daß sich die Fehler gegenseitig aufheben. Nur aufgrund dieser göttlichen Güte sind die großen Erfolge der Mathematik zu erklären.“ (13).

Zusammenfassung

In 20 Tagesnahrungen gesunder Kinder wurde der Caloriengehalt nach folgenden Methoden bestimmt und miteinander verglichen:

1. Berechnung mit Nährstofftabellen
2. Calorimetrische Bestimmungen
3. Berechnungen aus der chemischen Analyse
 - a) nach ATWATER
 - b) nach RUBNER
 - c) nach einer vereinfachten Formel, basierend auf dem ATWATER-System.

Die Berechnung der physiologischen Verbrennungswärme ergibt nach allen Methoden ähnliche Werte, nach ATWATER die höchsten, aus Nährstofftabellen die niedrigsten. Diese Unterschiede werden im Blick auf die Berechnungsgrundlagen diskutiert.

Bezogen auf den Durchschnittswert für die physiologische Verbrennungswärme liegt die calorimetrisch bestimmte physikalische Verbrennungswärme etwa 3% höher, die verfügbare Verbrennungswärme etwa 5% niedriger.

Mit einer vereinfachten Formel:

$$\Delta H' = \text{Fett} \times 9,4 + (0,95 \times \text{Trockensubstanz} - \text{Fett}) \times 4,2$$

läßt sich die physiologische Verbrennungswärme einer gemischten Nahrung des europäischen-nordamerikanischen Grundmusters für praktische Zwecke hinreichend genau berechnen.

Obwohl die Grundlagen zur Calorienberechnung überwiegend auf Untersuchungen mit Erwachsenen beruhen, stimmen die Resultate langfristiger Bilanzversuche mit Kindern (MACY) gut damit überein.

Summary

The caloric values of 20 daily food intakes of healthy children were determined by different methods:

- 1) based on food composition tables
- 2) by calorimetric determinations
- 3) by calculations from the chemical composition
 - a) according to the ATWATER-system
 - b) according to RUBNER
 - c) using a simplified formula based on the ATWATER-system.

The physiological fuel value as calculated by the different methods is the highest according to ATWATER, the lowest by use of the food composition tables. However, they are all rather similar. The differences are discussed in view of the basic concepts of the different methods.

Regarding the averages, the heat of combustion („physical fuel value“) as determined in the calorimetric bomb is about 3% higher, the available fuel value („per total nutrient intake“) about 5% lower than the physiological fuel value („per available nutrient intake“).

A simplified formula:

$$\Delta H' = \text{fat} \times 9,4 + (0,95 \times \text{dry matter} - \text{fat}) \times 4,2$$

allows a fairly accurate calculation of the physiological fuel value (per available nutrient intake) of a mixed diet within the European-North American pattern of food consumption.

Although the factors for the calculation of the calorific value of diets are mainly based on experiments with adults, the results are comparable to those of long term balance studies with children (MACY).

Literatur

1. SCHLAGE, C., Z. Ernährungswiss. 10, 351 (1971). — 2. ATWATER, W. O. und A. P. BRYANT, The availability and fuel value of food materials. Conn. (Storrs) Agric. Exper. Stat. 12th Annual Report (1899). — 3. MERRIL, A. L. and B. K. WATT, Energy value of foods, basis and derivation. U. S. Dept. Agric. Handbook No. 74 (Washington D. C. 1955). — 4. Persönliche Mitteilung von Prof. Dr. W. WIRTHS, Max-Planck-Institut für Ernährungsphysiologie, Dortmund. — 5. STOLLEY, H. und W. DROESE, Med. u. Ernähr. 11, 129–131 (1970). — 6. DIN-Vorschrift Nr. 51900 (Berlin und Köln 1966). — 7. SOUCI, S. W., W. FACHMANN und H. KRAUT, Die Zusammensetzung der Lebensmittel (Nährstofftabellen). Bd. I, II, III (Stuttgart 1969). — 8. SOUCI, S. W. und H. BOSCH, Lebensmitteltabellen für die Nährwertberechnung (Stuttgart 1967). — 9. SCHLAGE, C. und H. STOLLEY, Med. u. Ernähr. 11, 181–184 (1970). — 10. RUBNER, M., Z. Biologie 21, 250 (1885). — 11. RUBNER, M., Z. Biologie 42, 261–308 (1901). — 12. MACY, I. C., Nutrition and Chemical Growth in Childhood. Bd. I, S. 73 (Springfield III 1942). — 13. FUCHS, W. R., Knaurs Buch der modernen Mathematik, S. 87 (München/Zürich 1966).

Anschrift der Verfasser:

Dr. rer. nat. CHRISTOPHER SCHLAGE und Dr. med. HELGA STOLLEY
Forschungsinstitut für Kinderernährung
46 Dortmund-Brünninghausen, Jägerndorfstraße 11