

*Aus dem Forschungsinstitut für Kinderernährung in Dortmund
(Direktor: Professor Dr. W. Droese)*

Die Bestimmung des Caloriengehaltes von Nahrung*)

1. Mitteilung: Allgemeine Umrechnungsfaktoren nach dem ATWATER-System für den gegenwärtigen Lebensmittelverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland

Von C. SCHLAGE

Mit 5 Tabellen

(Eingegangen am 10. Januar 1971)

Die heute in Deutschland fast ausschließlich verwendeten Faktoren zur Berechnung des Caloriengehaltes von Lebensmitteln wurden vor fast 100 Jahren von RUBNER (1) aufgestellt. Die Zahlen beruhen teils auf calorimetrischen Bestimmungen von reinen Nährstoffen (Kohlenhydrat, Fett), teils auf kurzfristigen Bilanzversuchen mit zwei Hunden. Es spricht für die Genialität RUBNERS, daß er dabei zu Daten kam, die bis heute weithin unangefochten verwendet werden.

Im Jahre 1900 veröffentlichte ATWATER (2) ein System zur Berechnung des Caloriengehaltes von Nahrung, das in Deutschland kaum beachtet wurde. Seine Methode gilt nach wiederholter Nachprüfung (3, 4, 5, 6, 7) im wesentlichen für einwandfrei und wurde auch von der FAO empfohlen (8). Die Berechnungen ATWATERS beruhen u. a. auf 185 Ernährungsstudien, die er aus 250 als zuverlässig genug ausgewählte, sowie auf etwa 100 Resorptionsstudien mit 13 Erwachsenen und außerdem auf zahlreichen Bestimmungen von Verbrennungswärmen unterschiedlicher Arten von Proteinen, Kohlenhydraten, Fetten und von Ausscheidungsprodukten. Aus den seinerzeit verfügbaren Daten errechnete ATWATER für eine Reihe von Lebensmittelgruppen spezielle Faktoren für die Berechnung des Caloriengehaltes. Aus dem Muster des Lebensmittelverbrauches in den Vereinigten Staaten vor 1900 leitete er dann allgemeine Faktoren ab, die vor allem in den angelsächsischen Ländern verwendet werden.

Unter der Annahme, daß das ATWATER-System in sich richtig ist (die speziellen Faktoren werden z. B. in der Lebensmitteltabelle von FACHMANN-SOUCI-KRAUT (9) verwendet) erscheint es notwendig nachzuprüfen, wie weit die allgemeinen Faktoren auch unter heutigen Bedingungen verwendbar sind.

Definitionen

Alle Daten beziehen sich im Folgenden auf die Nahrungsmengen, die tatsächlich verzehrt werden, jedoch im nicht zubereiteten, rohen Zustand.

Der Energiegehalt der Nahrung kann im Calorimeter bestimmt werden. Dabei wird die *physikalische Verbrennungswärme* ΔH bestimmt, die durch die Verbrennungsprodukte CO_2 gas, H_2O flüssig, N_2 gas, SO_2 gas bestimmt ist.

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

Die Verbrennung *in vivo*, vor allem die von Protein, resultiert in erheblich energiereicheren Produkten als N_2 , beim Menschen überwiegend in Harnstoff. Nicht vollständig verbrannte Substanzen werden im Harn ausgeschieden, so daß die *physiologische Verbrennungswärme* $\Delta H'$ definiert werden kann als Differenz zwischen den physikalischen Verbrennungswärmern von Nahrung (ΔH_N) und Harn (ΔH_H):

$$\Delta H' = \Delta H_N - \Delta H_H$$

Einige Ungenauigkeiten können dabei in Kauf genommen werden, da sie quantitativ kaum ins Gewicht fallen:

1. Im Calorimeter wird tatsächlich nicht die Enthalpie ΔH , sondern die innere Energie ΔU bestimmt. Da die Anzahl der Mole, die als Gas verbraucht werden (O_2) und entstehen (CO_2), sich annähernd die Waage halten, ist die Differenz sehr klein.
2. Nach der DIN-Vorschrift (10) errechnet sich die Verbrennungswärme ΔU unter Berücksichtigung von SO_2 als Endprodukt der Verbrennung des Schwefels. Sowohl im Calorimeter als auch *in vivo* wird Schwefel überwiegend zu Sulfat verbrannt. Damit erübrigt sich eine Korrektur, die nach DIN bei der Berechnung von ΔU anzubringen ist.

In Ermangelung zuverlässiger Daten über die tatsächliche Resorptionsrate soll mit ATWATER die *verfügbare Verbrennungswärme* $\Delta H''$ (available energy) (11) definiert sein als die Differenz der physikalischen Verbrennungswärmern von Nahrung (ΔH_N), Harn (ΔH_H) und Kot (ΔH_K):

$$\Delta H'' = \Delta H_N - (\Delta H_H + \Delta H_K).$$

Man muß sich darüber im klaren sein, daß hierbei nicht resorbierte Nahrungsreste mit im Kot ausgeschiedenen Stoffwechsel- und Abfallprodukten zusammen geworfen werden. Deswegen sollen mit ATWATER die Begriffe *Resorptionsrate* (digestibility) und *Verfügbarkeit* (availability) klar getrennt werden.

Die Resorptionsrate drückt den Anteil der Nahrungsbestandteile aus, die unter normalen Bedingungen aus dem Magen-Darm-Trakt resorbiert werden. Die Verfügbarkeit drückt den Anteil der Nahrungsbestandteile aus, der scheinbar resorbiert wird und stellt die Differenz zwischen verzehrten und im Kot ausgeschiedenen Nährstoffen (bzw. Calorienträger) dar.

Berechnung der allgemeinen Faktoren

Die speziellen Umrechnungsfaktoren für die verschiedenen Lebensmittelgruppen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Dabei handelt es sich zum kleineren Teil um revidierte Faktoren nach MERILL und WATTS (12), wie sie auch von SOUCI et al. (9) verwendet wurden.

Die speziellen Faktoren erlauben es, mit Hilfe der Kenntnis der relativen Zusammensetzung der Zufuhr von Protein, Fett und Kohlenhydraten (13) die derzeit gültigen allgemeinen Faktoren für eine durchschnittliche Nahrungszusammensetzung zu berechnen (Tab. 2-4).

Die resultierenden Umrechnungsfaktoren sind in Tabelle 5 zusammengefaßt und denen von RUBNER und ATWATER gegenübergestellt.

Diskussion

Es ist erstaunlich, wie genau die Faktoren, die sich aus der durchschnittlichen Nahrungszusammensetzung in der Bundesrepublik 1968/69 ergeben, mit denen übereinstimmen, die für die Vereinigten Staaten 1949 und 1900 berechnet wurden (Tab. 5), obwohl zwei Haupttrends der Änderungen zwischen 1900 und 1970 zu beobachten sind: erhöhter Zuckerkonsum und Einführung der Margarine als Nahrungsmittel.

Tab. 1. Spezielle Faktoren für die Berechnung der physiologischen Verbrennungswärmen in Lebensmittelgruppen nach ATWATER

Lebensmittelgruppe	$\Delta H'$ (kcal/g)	Protein Verfüg- barkeit (%)	$\Delta H''$ (kcal/g)	$\Delta H = \Delta H'$ (kcal/g)	Fett Verfüg- barkeit (%)	$\Delta H''$ (kcal/g)	$\Delta H = \Delta H'$ (kcal/g)	Kohlenhydrate Verfüg- barkeit (%)	$\Delta H''$ (kcal/g)
Fleisch, Fisch	4,40	97	4,27	9,50	95	9,02	3,951)	98	3,87
Milch, Milchprodukte	4,40	97	4,27	9,25	95	8,79	3,95	98	3,87
Eier	4,50	97	4,36	9,50	95	9,02	3,75	98	3,68
andere tierische Fette				9,50	95	9,02			
Weizennmehl (70–74% Extraktion) ²⁾	4,55	89	4,05	9,30	90	8,37	4,20	98	4,12
Roggenmehl ³⁾	4,55	71	3,23	9,30	90	8,37	4,20	95	3,99
Reis, weiß oder poliert	4,55	84	3,82	9,30	90	8,37	4,20	99	4,16
andere Getreideprodukte	4,55	85	3,87	9,30	90	8,37	4,20	98	4,12
Hülsenfrüchte	4,45	78	3,47	9,30	90	8,37	4,20	97	4,07
Kartoffeln	3,75	74	2,78	9,30	90	8,37	4,20	96	4,03
Gemüse	3,75	65	2,44	9,30	90	8,37	4,20	85	3,57
Obst allgemein	3,95	85	3,36	9,30	90	8,37	4,00	90	3,60
Zitronen u. ä.	3,95	85	3,36	9,30	90	8,37	2,75	98	2,70
Zucker, Zuckerwaren ⁴⁾	4,35	42	1,83	9,30	90	8,37	3,95	98	3,87
Margarine	4,40	97	4,27	9,30	95	8,84	3,95	98	3,87
andere pflanzliche Fette und Öle				9,30	95	8,84			

Werte für $\Delta H'$, Verfügbarkeit und $\Delta H''$ nach Tab. 13, S. 25 in (12), wenn nicht anders angegeben. ¹⁾(12), S. 26. ²⁾ entsprechend Type 450/550 (12), S. 28. ³⁾ entsprechend „medium“. ⁴⁾ Faktoren für Protein und Fett wie für Schokolade in Tab. 13 (12).

Abgesehen davon, ist das Grundmuster der Nahrungszusammensetzung fast konstant geblieben. Offenbar werden die allgemeinen Faktoren verhältnismäßig wenig beeinflusst innerhalb eines Grundmusters der Nahrung, wie es in Mitteleuropa und Nordamerika üblich ist.

Tab. 2. Berechnung des allgemeinen Calorienfaktors F_P für Protein nach dem ATWATER-System für den durchschnittlichen Nahrungsverbrauch in der BRD 1968/69

Proteinträger	A Beitrag zum Protein- verbrauch (13) (%)	B Spezieller Faktor für $\Delta H'$ (kcal/g)	A × B	C	A × C
				Spezieller Faktor für $\Delta H''$ (kcal/g)	
Fleisch, Fisch	38,8	4,40	170,72	4,27	165,68
Milch, Milchprodukte	21,0	4,40	92,40	4,27	89,67
Eier	4,9	4,50	22,05	4,36	21,36
Weizenmehl	15,7	4,55	71,44	4,05	63,58
Roggenmehl	4,2	4,55	19,11	3,23	13,57
Reis	0,3	4,55	1,36	3,82	1,15
andere Getreideprodukte	1,4	4,55	6,37	3,87	5,42
Hülsenfrüchte	0,7	4,45	3,12	3,47	2,43
Kartoffeln	6,6	3,75	24,75	2,78	18,35
Gemüse	2,7	3,75	10,12	2,44	6,59
Obst, allgemein	2,3	3,95	9,08	3,36	7,73
Südfrüchte (Zitronen)	0,4	3,95	1,58	3,36	1,34
Zucker, Zuckerwaren	0,7	4,35	3,04	1,83	1,28
Margarine	0,3	4,40	1,32	4,27	1,28
Summe:	100,0		436,46		399,43
$F_P = \frac{\sum}{100,0} :$			4,36		3,99

Tab. 3. Berechnung des allgemeinen Calorienfaktors F_F für Fett nach dem ATWATER-System für den durchschnittlichen Nahrungsverbrauch in der BRD 1968/69

Fettträger	A Beitrag zum Fett- verbrauch (13) (%)	B Spezieller Faktor für $\Delta H'$ (kcal/g)	A × B	C	A × C
				Spezieller Faktor für $\Delta H''$ (kcal/g)	
Fleisch, Fisch	24,0	9,50	228,00	9,02	216,48
Milch, Milchprodukte	27,8	9,25	257,15	8,79	244,36
Eier	3,2	9,50	30,40	9,02	28,86
andere tierische Fette	12,6	9,50	119,70	9,02	113,65
Weizenmehl	1,0	9,30	9,30	8,37	8,37
andere Getreideprodukte	0,3	9,30	2,79	8,37	2,51
Obst, allgemein	2,8	9,30	26,04	8,37	23,44
Zucker, Zuckerwaren	0,6	9,30	5,58	8,37	5,02
Margarine	15,6	9,30	145,08	8,84	137,90
andere pflanzliche Öle u. Fette	11,7	9,30	108,81	8,84	103,43
Summe:	99,6		932,85		884,02
$F_F = \frac{\sum}{99,6} :$			9,37		8,88

Tab. 4. Berechnung des allgemeinen Calorienfaktors F_K für Kohlenhydrate nach dem ATWATER-System für den durchschnittlichen Nahrungsverbrauch in der BRD 1968/69

Kohlenhydraträger	A	B	A × B	C	A × C
	Beitrag zum KH-verbrauch (13) (%)	Spezieller Faktor für $\Delta H'$ (kcal/g)		Spezieller Faktor für $\Delta H''$ (kcal/g)	
Milch, Milchprodukte	5,9	3,95	23,31	3,87	22,83
Eier	0,1	3,75	0,38	3,68	0,37
Weizenmehl	28,7	4,20	120,54	4,12	118,24
Roggenmehl	9,5	4,20	39,90	3,99	37,91
Reis	1,0	4,20	4,20	4,16	4,16
andere Getreideprodukte	2,2	4,20	9,24	4,12	9,06
Hülsenfrüchte	0,5	4,20	2,10	4,07	2,04
Kartoffeln	13,6	4,20	57,12	4,03	54,81
Gemüse	2,1	4,20	8,82	3,57	7,50
Obst, allgemein	9,2	4,00	36,80	3,60	33,12
Südfrüchte (Zitronen)	0,6	2,75	1,65	2,70	1,62
Zucker, Zuckerwaren	26,4	3,96	104,28	3,87	102,17
Summe:	99,8		408,34		393,83
$F_K = \frac{\sum}{99,8} :$			4,09		3,95

Tab. 5. Zusammenstellung allgemeiner Calorienfaktoren für Protein, Fett und Kohlenhydrate (kcal/g)

Quelle	Protein		Fett		Kohlenhydrate	
	$\Delta H'$	$\Delta H''$	$\Delta H'$	$\Delta H''$	$\Delta H'$	$\Delta H''$
RUBNER (1885) (1)	—	4,1	9,3	—	4,1	—
ATWATER (1899) (2)	4,4	4,0	9,4	8,9	4,1	4,0
MERRILL und WATTS (1949) (12)	4,40	4,00	9,39	8,92	4,09	3,97
BRD (1968/69)	4,36	3,99	9,37	8,88	4,09	3,95

Selbst die von RUBNER aufgestellten Faktoren sind vergleichbar, wenn man berücksichtigt, daß er bei der Berechnung des Faktors für Protein in gewisser Weise die scheinbare Resorptionsrate (Verfügbarkeit) berücksichtigte, nicht dagegen bei den Fett- und Kohlenhydrat-Faktoren.

Bei der Anwendung der Umrechnungsfaktoren sind die Voraussetzungen zu berücksichtigen, unter denen sie aufgestellt wurden und die im folgenden zusammengefaßt sind:

1. Die allgemeinen Faktoren sind nur anwendbar zur Berechnung einer gemischten Nahrung des europäisch-nordamerikanischen Typs.
2. Mit den Faktoren 4,36, 9,37 und 4,09 für Protein, Fett und Kohlenhydrate wird der physiologische Brennwert der Nahrung berechnet, mit den Faktoren 3,99, 8,88 und 3,95 wird zusätzlich die nach derzeitigen Kenntnissen durchschnittliche Verfügbarkeit beim Erwachsenen berücksichtigt.
3. Die Faktoren für Protein berücksichtigen einen Energieverlust durch unvollständig verbrannte, mit dem Harn ausgeschiedene Stoffwechselprodukte in Höhe von

7,9 kcal/g Stickstoff bzw. 1,25 kcal/g Protein. Die Voraussetzung dafür ist Bilanzausgleich für Stickstoff.

4. Kohlenhydrate sind berechnet als Differenz Trockensubstanz minus (Protein + Fett + Asche).
5. Der Proteingehalt der gemischten Nahrung ist aus dem Stickstoffgehalt unter Verwendung eines Faktors zu berechnen, der das gewogene Mittel aus den speziellen Faktoren für die beteiligten Proteine darstellt.

Zusammenfassung

Es werden allgemeine Faktoren für die Berechnung des Caloriengehaltes gemischter Nahrung aus dem Gehalt an Fett, Protein und Kohlenhydraten aufgestellt. Die Grundlage bilden die speziellen Faktoren nach dem ATWATER-System und die gegenwärtige Zusammensetzung der Nährstoffversorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Die Voraussetzungen für eine sachgemäße Anwendung dieser Faktoren werden dargestellt.

Summary

Average factors for the calculation of the caloric value of mixed diets out of the contents of fat, protein and carbohydrates are determined. The factors are based on the ATWATER-system and the present pattern of food consumption in the Federal Republic of Germany. The conditions for correct application of the factors are set out.

Literatur

1. RUBNER, M., Z. Biol. **21**, 250 (1885). — 2. ATWATER, W. O. und A. P. BRYANT, The availability and fuel value of food materials. 12th Annual Report Storrs Agricultural Experiment Station p. 73 (Storrs, Conn. 1900). — 3. MOREY, N. B., Nutr. Abstr. Rev. **6**, 1 (1936). — 4. MAYNARD, L. A., J. Nutr. **28**, 443 (1944). — 5. WIDDOWSON, E. M., Proc. Nutr. Soc. **14**, 142 (1955). — 6. HOLLINGSWORTH, D. F., Proc. Nutr. Soc. **14**, 154 (1955). — 7. WIDDOWSON, E. M., Note on the calculation of the calorific value of food and of diets. Medical Research Council, The composition of foods. Special Report Series No. 297 S. 153 (London 1960). — 8. FAO, Report of Expert Committee, Energy-yielding components of foods and computation of caloric values. (Washington D. C. 1947). — 9. SOUCI, S. W., W. FACHMANN, H. KRAUT, Die Zusammensetzung der Lebensmittel (Nährwert-Tabellen), Bd. I, S. 23 (Stuttgart 1969). — 10. DIN-Vorschrift 51900 (1966). — 11. ATWATER, W. O., Discussion of the terms digestibility, availability and fuel value. 12th Annual Report Storrs Agricultural Experiment Station p. 69 (Storrs, Conn. 1900). — 12. MERILL, A. L., B. K. WATT, Energy value of foods, basis and derivation. U. S. Dept. Agriculture Handbook No. 74 (Washington D. C. 1955). — 13. Persönliche Mitteilung von Prof. Dr. W. WIRTHS, Max-Planck-Institut für Ernährungsphysiologie, Dortmund.

Anschrift des Verfassers:

Dr. rer. nat. CHRISTOPHER SCHLAGE

Forschungsinstitut für Kinderernährung

46 Dortmund-Brünninghausen, Jägerndorfstraße 11