

Das Aequivalenzverhältnis von Elektrizität und Holz beim Kochen

Autor(en): **Grütter, K.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Wasser- und Energiewirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbau, Wasserkraftnutzung, Energiewirtschaft und Binnenschifffahrt**

Band (Jahr): **26 (1934)**

Heft (7): **Schweizer Elektro-Rundschau**

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-922366>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

SCHWEIZER ELEKTRO-RUNDSCHAU

BEILAGE ZUR «SCHWEIZER WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFT» NR. 7, 1934

HERAUSGEGEBEN VON A. BURRI UND A. HÄRRY • REDAKTION: GUTENBERGSTRASSE 6, ZÜRICH 2

DAS AEQUIVALENZVERHÄLTNISS VON ELEKTRIZITÄT UND HOLZ BEIM KOCHEN

Von Dipl.-Ing. K. GRÜTTER, Betriebsleiter der A. G. Bündner Kraftwerke, Samaden

Der Verfasser stellt sich die interessante und bis heute zu wenig erforschte Frage nach dem Aequivalenzverhältnis von Elektrizität und Holz beim Kochen. Zur Einleitung beschreibt er den theoretischen Zusammenhang und Wertangaben der zur Bestimmung des Aequivalenzwertes nötigen Unterlagen im allgemeinen Ueberblick. Er verweist besonders auf die Unsicherheitsfaktoren, die in der Untersuchung des Holzherdes zu berücksichtigen sind, und zum Teil in der Natur des Brennstoffes, seiner Behandlung und Verwertung liegen, zum Teil aber auch im Mangel an geeigneten Versuchswerten. Diesen Mangel zu beheben, hat der Verfasser den Vergleich mit bekannten Kochapparaten und den praktischen, möglichst einfachen direkten Versuch zu Hilfe gezogen. Der Verfasser kommt zum Schluss, dass nur eine möglichst grosse Anzahl praktischer Versuche an verschiedenen Orten zu brauchbaren Mittelwerten führe.

Es wäre zu begrüßen, wenn ähnliche Versuche auch an anderer Stelle durchgeführt und bekannt gegeben würden. Dabei wären möglichst viele Detailangaben erwünscht, zum Beispiel Art, Qualität und Grösse des verwendeten Brennholzes, eventuell auch Rauchgasanalysen usw. *Die Redaktion*

Während das Verhältnis des Verbrauches von Gas und Elektrizität in der Küche durch zahlreiche Versuche abgeklärt ist, sucht man in der Literatur vergeblich nach einwandfreien Zahlen, wieviel kWh im elektrischen Kochherd aufgewendet werden müssen, um ein handelsübliches Mass Brennholz zu ersetzen. Der Grund dafür liegt offenbar darin, dass Vergleichsversuche zwischen Holz und Elektrizität viel schwieriger durchzuführen sind als zwischen Gas und Elektrizität. Im letzteren Fall können die zu vergleichenden Grössen leicht gemessen werden. Dagegen ist bei Holz schon das handelsübliche Mass, in der Regel ein Raummass (Ster = Raummeter = rm, oder Klafter = 3 rm) eine sehr ungenaue Grösse, die nicht nur von der Form der Holzmasse (dickere oder dünnere Spalten), sondern auch von der Art und Weise, wie das Holz aufgeschichtet wird, ab-

hängt. Vor allem ist aber der Brennwert, der nutzbar gemacht werden kann, sehr verschieden. Er hängt nicht nur von der Holzart ab, sondern in hohem Masse auch davon, wo und wie das Holz gewachsen ist und wie es auf dem langen Weg vom Wald bis in den Kochherd behandelt worden ist. Um Zahlen zu erhalten, die uns ebenso einwandfrei wie beim Gas gestatten, vergleichende Rentabilitätsberechnungen anzustellen, müssten durch eine grosse Zahl von Versuchen die Eigenschaften des Holzes als Brennmaterial erforscht werden.

Für eine bestimmte Kochleistung, z. B. Kochen für eine Familie während einer bestimmten Zeit, ist die Wärmemenge W in WE nötig. Hierfür sind in einem Holzherd, der einen durchschnittlichen Wirkungsgrad n_h hat, Q Raummeter Holz von spezifischem Gewicht g in kg/rm und vom Heizwert h in WE/kg zu verbrennen und es ist

$$W = Q \cdot g \cdot h \cdot n_h \quad 1)$$

Im elektrischen Kochherd, der mit dem Wirkungsgrad n_e arbeitet, sind für die gleiche Kochleistung E kWh aufzuwenden und es ist

$$W = 860 \cdot E \cdot n_e \quad 2)$$

Durch Gleichsetzen der Gleichungen 1 und 2 erhalten wir den massgebenden Vergleichswert r , der angibt, wieviel kWh aufgewendet werden müssen, um 1 rm Holz zu ersetzen.

$$r = \frac{E}{Q} = \frac{g \cdot h \cdot n_h}{860 \cdot n_e} \quad 3)$$

Wenn die einzelnen Faktoren auf der rechten Seite dieser Gleichung bekannt wären, könnte der Vergleichswert r festgestellt werden. Am unsicher-

sten ist der Wirkungsgrad n_h des Holzherdes. Es ist anzunehmen, dass er ungefähr gleich gross ist wie für einen mit Kohlen beheizten, den Rutishauser (Bulletin SEV 1925, Seite 622) zu $n_h = 12\%$ angibt. Weiss (Elektrizitätsverwertung 1931/32, S. 50) schätzt ihn auf höchstens $n_h = 15-20\%$. Nach Härry (Schweizerische Wasser- und Energiewirtschaft 1931, S. 137) liegt er auf Grund einer Arbeit von Klingemann und Naumann zwischen 5 und 15%. Auf Grund dieser Quellen rechnen wir mit einem Mittelwert von $n_h = 12\%$.

Auch über den Wirkungsgrad n_e des elektrischen Kochherdes gehen die Auffassungen auseinander. Es ist schwer zu definieren, was beim Kochen als Nutzarbeit angesehen werden kann. Ihr Verhältnis zur aufgewendeten Arbeit, der Wirkungsgrad, ist deshalb eine recht unbestimmte Grösse. Auf Grund einer Wirkungsgradtabelle im Buch von Mörtzsch «Elektrisches Kochen» rechnen wir mit $n_e = 65\%$.

Ueber spezifisches Gewicht g und Heizwert h des Holzes in lufttrockenem Zustand, d. h. bei zirka 15% Feuchtigkeit, entnehmen wir dem vom Verein Deutscher Ingenieure herausgegebenen Buch «Das Holz» folgende Zahlen:

Tabelle 1
Heizwerte der einzelnen Holzarten in lufttrockenem Zustand

Holzart	Gewicht in kg je fm	Gewicht in kg je rm	Heizwert in WE je kg
Eiche	740	520	2700
Hainbuche	800	560	3100
Fichte	470	330	3250
Kiefer	520	360	3400
Buche	720	410	3500

Mit diesen Zahlen erhalten wir für das Verhältnis r :

$$\text{Für Fichte } r = \frac{330 \cdot 3250 \cdot 12}{860 \cdot 65} = 230 \text{ kWh/rm}$$

$$\text{Für Buche } r = \frac{510 \cdot 3500 \cdot 12}{860 \cdot 65} = 385 \text{ kWh/rm}$$

Gewicht und Heizwert des Holzes sind von zahlreichen Faktoren abhängig und können von den in Tabelle 1 angegebenen Zahlen stark abweichen. Wir entnehmen hierüber der erwähnten Schrift «Das Holz»:

«Die verschiedenen Hölzer liefern für die gleiche Gewichtsmenge nahezu die gleichen Wärmemengen. Die eingelagerten Substanzen können von Einfluss auf den Brennwert des Holzes sein, so vor allem Lignin, welches kohlenstoffreicher als Zellulose ist. Licht und Wärme steigern den Ligningehalt des Holzes so, dass auf Südhängen gewachsenes Holz meist brennkraftiger ist als auf Nordhängen erwachsenes. Ebenso verhält es sich mit langsam erwachsenem Holz, da es ein festeres Gefüge zeigt.

Ausser Lignin erhöht den Heizwert des Holzes auch die Einlagerung von Harz. Zu grosser Harzgehalt setzt jedoch mittelbar den Heizwert herab, da er die vollkommene Verbrennung erschwert und deshalb starkes Russen verursacht.

Ausschlaggebend für den Heizwert des Holzes ist sein Feuchtigkeitsgehalt. Holz kann bis zur Hälfte seines Eigengewichtes Wasser aufnehmen und benötigt in diesem Zustand bei der Verbrennung fast die Hälfte seiner Wärmeerzeugung zur Verdampfung des Eigenwassers. Steigt der Feuchtigkeitsgehalt von 0 auf 90%, so kann der Heizwert von 4500 bis 0 WE abnehmen. Wesentlich für den Grad der Trockenheit des Brennholzes ist seine Behandlung im Walde. Je besser das Holz aufgespaltet, je luftiger es gestapelt wird, desto eher trocknet es aus und desto geringer wird sein Gewicht.»

Wegen der Unsicherheit der Unterlagen befriedigt die theoretische Berechnung des Verhältnisses r noch weniger als beim Vergleich mit Gas oder Kohle. Einen weiteren Anhaltspunkt für die Verhältniszahl r erhält man aus Vergleichsversuchen, die zwischen elektrischen Kochherden und mit Kohle gefeuerten gemacht worden sind, wenn man aus andern Vergleichsversuchen das Verhältnis des Brennwertes zwischen Kohle und Holz feststellen kann. Rutishauser (Bulletin des SEV 1925, Seite 624) gibt auf Grund von Versuchen in Davos an, dass 1 kg Kohle = 1,26 kWh elektrischer Energie entspricht.

Das Verhältnis zwischen Brennwert von Holz und Kohle kennen wir z. B. aus Versuchen an Backöfen (Bulletin des SEV 1927, Seite 701), wo festgestellt wurde, dass zum Backen von 1 kg Brot im Mittel 0,224 kg Kohle oder 0,310 kg Tannenholz verbrannt wurden, woraus sich ergibt, dass 1 kg Kohle $\frac{0,310}{0,224} = 1,37$ kg Tannenholz entspricht.

Bei Versuchen mit Futterkesseln (Bulletin des SEV 1930, Seite 705) wurde festgestellt, dass in Dampfkesseln mit Holzfeuerung 25–30 kg Hartholz und für die gleiche Wärmemenge bei Dampfkesseln mit Kohlenfeuerung 18–22 kg Kohle verbrannt wurden, woraus sich mit den Mittelwerten ergibt:

$$1 \text{ kg Kohle entspricht } \frac{27,5}{20} = 1,375 \text{ kg Hartholz.}$$

Da diese Zahlen für Backofen und Futterkessel das gleiche Verhältnis 1,37 zwischen Holz und Kohle ergeben, dürfen wir dasselbe auch für den Kochherd voraussetzen. In Verbindung mit dem von Rutishauser festgestellten Verhältnis von Kohle zu Elektrizität im Kochherd ergibt sich somit

$$1 \text{ kg Holz entspricht } \frac{1,26}{1,37} = 0,92 \text{ kWh/kg.}$$

Nach Angaben im Katalog der Therma ist im Holzherd mit einem Verbrauch von 1,5 rm pro Person und Jahr zu rechnen. Stellt man diese Zahl dem

Verbrauch von 1,2 kWh pro Person und Tag im elektrischen Herd gegenüber, so entspricht

$$1 \text{ rm Buchenholz} \frac{1,2 \cdot 365}{1,5} = 290 \text{ kWh/rm.}$$

Alle diese Zahlen beruhen auf recht unsicheren Grundlagen. Sie nehmen keine Rücksicht darauf, ob mit dem Holzherd ein Wärmeschiff oder ein Heisswasserspeicher vorhanden ist. Die Heisswasserbereitung mit dem Holzherd entwickelt sich immer mehr und kann die Resultate stark beeinflussen. Wir haben daher versucht, für unsere Gegend (Engadin) das Verhältnis zwischen Holz und Elektrizität in der Küche auf Grund praktischer Erfahrungen festzustellen. Eine Umfrage bei Abonnenten, die elektrisch kochen, hat zu keinem Ergebnis geführt, weil kein Abonnent in der Lage war anzugeben, wieviel Holz er für das Kochen braucht. Das Holz wird eben auch für andere Zwecke gebraucht und dasjenige für die Küche nicht ausgeschieden. Auch der Versuch, festzustellen, um wieviel sich der Gesamtholzverbrauch durch die Einführung der elektrischen Küche verminderte, führte zu keinem Resultat, weil gleichzeitig mit der Einführung des elektrischen Kochherdes in der Regel auch anderweitige wirtschaftliche Änderungen eintraten.

Wir suchten daher die Vergleichszahlen durch direkte Vergleichsversuche festzustellen. Zunächst wurde bei einer Familie von 6 Personen (3 Erwachsene und 3 Kinder von 2 Monaten bis 2 Jahren), die sowohl über einen Herd für Holzfeuerung, wie einen elektrischen verfügt, eine Woche lang elektrisch gekocht, wobei auch das warme Wasser für Kleinkinderbäder, Waschen und Reinigungsarbeiten elektrisch erzeugt wurde. Dabei wurden in sechs Tagen 45,5 kWh elektrische Energie verbraucht. In der folgenden Woche wurde der Holzherd benutzt, wobei in sechs Tagen 44 kg Holz verbrannt wurden. Dieser Versuch ergibt also:

$$1 \text{ kg Holz entspricht} \frac{45,5}{44} = 1,035 \text{ kWh/kg.}$$

Das verwendete Holz war Ia. trockenes Lärchenholz, in der Gemeinde Madulein, zirka 1700 Meter ü. M. gewachsen. Der Rauminhalt der 44 kg Scheiter betrug 0,22 rm, was einem spezifischem Gewicht der Scheiter von 200 kg/rm entspricht.

Eine weitere Versuchsreihe wurde auf unsere Veranlassung hin im Rahmen des hauswirtschaftlichen Unterrichtes an der Schule in Samaden durchgeführt. Die Schule verfügt über einen Holzherd mit zwei Löchern, Bratofen und Wärmeschiff. Der Herd

wird von der Hauswirtschaftslehrerin als ungünstig bezeichnet, namentlich weil die Rauchgase den Bratofen nur einseitig bestreichen. Der elektrische Herd hat 3 Platten von 1,2, 1,5 und 1,8 kW, sowie ein Backofen von 2 kW Leistung. Ferner ist ein Heisswasserspeicher von 30 Liter vorhanden. Bei den Versuchen wurde der Holzherd zirka um 11 Uhr angefeuert, damit die Küche warm ist, wenn um 13.30 Uhr der Unterricht beginnt.

Die Hauswirtschaftslehrerin, Fräulein Christen, liess nun an 3 Tagen je 6 Schülerinnen auf dem Holzherd und 6 auf dem elektrischen Herd das gleiche Menu kochen. Dabei wurden die Zählerstände jeweils vor und nach dem Kochen abgelesen und das verbrannte Brennmaterial gewogen. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse dieser Versuche.

Tabelle 2

Datum	Menu	Verbrauch		Bemerkungen
		Holzherd kg	Elektr. kWh	
14. IV. 1931	Braune Mehlsuppe Geschn. Leber Kartoffelspätzli Spinat	3,4 kg Holz	5	ohne Holz für Anfeuern, ohne Verbrauch des Heisswasserspeichers
17. IV. 1931	Minestra Reispudding mit Tomatensauce Apfelkuchen	5,0 kg Holz 2,0 kg Brikett	6	inkl. Holz für Anfeuern u. Verbrauch des Heisswasserspeichers
20. IV. 1931	Maggisuppe Schweinsragout Gelbes Erbsen- purée Schenkeli im Holzherd 2 Plum Cakes im elektr. Herd	5,5 kg Holz 2,0 kg Brikett	6	inkl. Holz für Anfeuern u. Verbrauch des Heisswasserspeichers
	Total	17,9	17	

Das bei diesen Versuchen festgestellte Verhältnis r ist: 1 kg entspricht $\frac{17}{17,9} = 0,95$ kWh/kg. Es wurde ziemlich grob gespaltenes, trockenes Holz zu etwa $\frac{1}{5}$ aus Fichten und $\frac{1}{5}$ aus Lärchen bestehend verwendet. Das spezifische Gewicht des zerkleinerten Holzes betrug zirka 250 kg/rm. Um das Feuer zu strecken, musste noch etwas Brikett verbrannt werden.

Auf Grund der beiden Versuchsreihen in der Familie und in der Schule rechnen wir

$$1 \text{ kg Holz entspricht } 1 \text{ kWh.}$$

Es handelt sich nun noch darum, festzustellen wieviel kg küchenfertiges Holz das handelsübliche Mass, d. h. der Raummeter, des aus dem Walde zugeführten Spaltenholzes enthält. Dafür ist weder das Gewicht des Spaltenholzes, noch Gewicht und Rauminhalt des kleingemachten Holzes massgebend,

weil einerseits beim Kleinmachen und namentlich durch das Trocknen das Holz an Gewicht verliert, andererseits der Rauminhalt des kleingemachten Holzes grösser ist als derjenige des Spältenholzes.

Hat die angekaufte Holzmasse vom Volumen F in Festmetern, resp. R in Raummetern das Gewicht G , so ist das spezifische Gewicht auf Festmass bezogen $s = \frac{G}{F}$, resp. auf Raummass bezogen $sr = \frac{G}{R}$. Das Verhältnis a des Festmasses zum Raummass ist

$$a = \frac{R}{F} = \frac{s}{sr} \quad 4)$$

a ist nach Tabelle 1 für Fichte 1,425, für Buche 1,41. Hiesige Waldwirtschaftsleute rechnen im Durchschnitt

mit dem Verhältnis $a = \frac{3}{2}$. Beim Kleinmachen ent-

stehen zunächst Ga kg Abfälle. $Ga = V_s G$, und das kleingemachte Holz hat nur noch das Gewicht

$$G_f = G - Ga = G(1 - V_s). \quad 5)$$

Der Raum R_k des kleingemachten Holzes ist grösser als R , $R_k = bR$. Das spezifische Gewicht g_f des kleingemachten frischen Holzes ist somit

$$g_f = \frac{G_f}{R_k} = \frac{G(1 - V_s)}{bR} = s_r \frac{1 - V_s}{b}. \quad 6)$$

Bevor das kleingemachte Holz im Herd verbrannt wird, soll es gehörig austrocknen, wobei es das Feuchtigkeitsgewicht G_h verliert. $G_h = V_t G$, und das küchenfertige, getrocknete Holz hat das Gewicht G_t .

$$G_t = G_f - G_h = G(1 - V_s - V_t). \quad 7)$$

Aus den R Raummetern Spältenholz ist also G_t kg küchenfertiges Holz geworden. Das gesuchte spezifische Gewicht g küchenfertiges Holz auf das ursprüngliche Raummass des Spältenholzes bezogen ist also

$$g = \frac{G_t}{R} = \frac{G}{R} (1 - V_s - V_t) = sr (1 - V_s - V_t) \quad 8)$$

Andererseits hat das küchenfertige Holz auf den Raum, den es einnimmt, bezogen, das spezifische Gewicht g_t

$$g_t = \frac{G_t}{R_k} = \frac{G_t}{bR}.$$

Daraus wird

$$g = \frac{G_t}{R} = b g_t. \quad 9)$$

Wir haben nun bei zwei verschiedenen Holzmassen Rauminhalt und Gewicht des Spältenholzes und des kleingemachten Holzes bestimmt und die Abfälle gewogen. Dann wurde das Holz in den Behälter verbracht, wo es zirka 5 Monate trocknen konnte, worauf es neuerdings gewogen wurde. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt:

Tabelle 3

Veränderung des spezifischen Gewichtes des Holzes durch Kleinmachen und Trocknen

Holzsorte		Arve Lärche 7,7 : 1	Lärche Ia.
Anzahl Festmeter	$F \text{ m}^3$		3,168
Anzahl Raummeter	$R \text{ m}^3$	1,87	4,0
Gewicht der Spälten	$G \text{ kg}$	872	1904
spez. Gewicht fest	$s \text{ kg/m}^3$		601
spez. Gewicht raum	$sr \text{ kg/m}^3$	466	477
Raumverhältnis	a		1,26
Abfälle	$Ga \text{ kg}$	16,5	70
	$V_s \%$	1,9	3,7
Rauminhalt klein	$R_k \text{ m}^3$	2,687	5,12
Raumvergrösserung	b	1,44	1,28
Zeitraum bis Kleinmachen		6 Monate	7 Monate
Zeitraum trocknen		5 Monate	5 Monate
Gewicht trocken	$G_t \text{ kg}$	608,5	1602
spez. Gewicht trocken	$g_t \text{ kg/m}^3$	226	314
Trockenverlust	$V_t \%$	28,4	12,2
Trockengewicht pro Spälten-			
Raum	$g \text{ kg/m}^3$	325	400,5
Zustand des trockenen Holzes		mittel	schlecht

Es handelt sich dabei um Lärchen- und etwas Arvenholz, in der Gemeinde Madulein zirka 1700 m ü. M. gewachsen. Auf dieser Höhe wächst das Holz sehr langsam. Eine schlagreife Lärche ist hier etwa 200 Jahre alt, d. h. der Waldumtrieb ist etwa drei Mal so lang wie im Unterland. So langsam gewachsenes Holz hat eine sehr feste, ligninreiche Struktur, sodass sein Brennwert demjenigen guten Buchenholzes wenig nachsteht.

Das bei den vergleichenden Kochversuchen verwendete Holz entspricht ungefähr demjenigen gemäss der 1. Spalte von Tabelle 3, was aus den übereinstimmenden Zahlen für das spezifische Gewicht g_t hervorgeht, während das Holz der 2. Spalte noch als schlecht getrocknet bezeichnet werden muss.

Auf Grund der bei den Kochversuchen und in Tabelle 3 niedergelegten Feststellungen rechnen wir für Rentabilitätsberechnungen mit einem Verhältnis:

1 rm Lärchenholz entspricht etwa 325 kWh.

Während die eigentlichen Kochversuche eine überraschende Uebereinstimmung des Verhältnisses elektrischer Energie zum Gewicht des verbrannten Holzes ergaben, zeigt Tabelle 3, dass die Eigenschaften des Holzes sehr stark voneinander abweichen können. Die Unsicherheit der massgebenden Vergleichszahl rührt daher in erster Linie von den grossen Schwankungen der Holzqualität her. Um zu brauchbaren Mittelwerten zu gelangen, ist eine möglichst grosse Anzahl von Resultaten ähnlicher Versuche an verschiedenen Orten erwünscht, wodurch sich der Einfluss der verschiedenen Holzqualitäten feststellen liesse.