Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 117/118 (1941)

Heft: 7

Artikel: Vergleichskriterien der Wärmeerzeugung durch Verbrennung und durch Elektrizität: Definition und Anwendungen der Begriffe: Brennstoff- und Preisäquivalent

Autor: Grossmann, K.H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83384

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: Vergleichskriterien der Wärmeerzeugung durch Verbrennung und durch Elektrizität. — Stahl-Leichtbau, eine Forderung der Zeit. — Zwei Gesandtschafts-Gebäude in Ankara. — Frank Lloyd Wright. — Austausch junger Leute aus Industrie, Gewerbe und Handel innerhalb der Schweiz. — Mitteilungen: Die selbsttätige Aufzeichnung der Wasserstoff-Ionen-Konzentration (ph-Werte). Kabelmäntel aus Aluminium. Beeinflussung der Kräfte und Momente einer Eisenbetonbrücke durch die Ausführungsart. Frauen an der Maschine. Kurvenüberhöhung bei Bergstrassen. Grossmarkthalle in Köln. Schalengewölbe der Mühle Rod in Orbe. Eidg. Technische Hochschule. — Literatur.
Mitteilungen der Vereine.
Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 117 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 7

Vergleichskriterien der Wärmeerzeugung durch Verbrennung und durch Elektrizität

Definition und Anwendungen der Begriffe: Brennstoff- und Preisäquivalent.

Die Schärfe, mit der sich heute das Problem einer gehörigen Ausnützung unserer Wasserkräfte wiederum stellt, verleiht einer im Jahre 1924 erschienenen vergleichenden Studie von F. Rutgers über die elektrisch und die aus Kohle erzeugte Wärme [1]) erneute Aktualität. Man findet darin die beiden Begriffe des Betriebsstoff- und des sog. Betriebskosten-Aequivalents definiert und an Beispielen erläutert.

Bekanntlich ist die von den Elektrikern gebrauchte Energieeinheit «Kilowattstunde» 860 mal so gross wie die den Kalorikern geläufige Einheit «Kilocalorie»:

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

Da ferner 1 kg Kohle einen Heizwert von rd. 7000 kcal = 8,14 kWh besitzt, so verhält sich die Anzahl der in einer elektrischen Widerstandsheizung verbrauchten kWh zu der Zahl der in einer Kohlenfeuerung verbrannten kg Kohle, sofern bei beiden Prozessen, dem elektrischen Stromdurchgang und der Verbrennung, die selbe Wärmemenge frei wird, wie 8,14 : 1. In praxi interessiert jedoch nicht dieses, sondern das Verhältnis

$$t_K = \frac{E}{G_K} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Hierin bedeuten, bei Vorgabe nicht der an der Wärmequelle (im Heizdraht, über dem Rost) freiwerdenden, sondern einer bestimmten, *an der Stelle des Verbrauchs* (z. B. in dem zu beheizenden Trockenraum) zu liefernden monatlichen (oder jährlichen) Wärmemenge: E die Anzahl der im elektrischen Fall dazu nötigen kWh und G_K die Anzahl der bei Brennstoffbetrieb dazu erforderlichen kg Kohle. Wegen der bei Verwendung von Kohle nicht möglichen, wohl aber im elektrischen Fall praktisch erreichbaren Vermeidung von Wärmeverlusten zwischen Quelle und Verbrauchsort ist stets

$$t_K < 8{,}14 \text{ kWh/kg} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1a)$$

Unterhalb dieser Schranke variiert t_K mit dem Verwendungszweck (Kochen, Raumheizung, Warmwasserbereitung, industrielle Wärmeanwendungen, Dampfkessel); ein grösseres t_K verbessert, ein kleineres t_K verschlechtert die technische Position der Kohle. Da t_K elektrisch bezogene kWh bezüglich des gewollten Erfolges, d. h. der gelieferten *Nutz*wärme, äquivalent 1 kg verbrannter Kohle sind, heisst t_K das Kohleäquivalent. Analog lässt sich von Fall zu Fall ein Oel-, Holz-, allgemein *Brennstoffäquivalent* definieren. Zusammen mit den bezüglichen Preisen bestimmt diese mit dem Stand der Technik gegebene Grösse eine zweite, auch von dem Stand der Wirtschaft abhängige Grösse, das sog. Betriebskostenäquivalent. Bezeichnet man, analog zum Fall technisch äquivalenter Energiequellen, die Betriebskosten dann als äquivalent, wenn sie der Erzeugung der selben Nutzwärme entsprechen, so ist unter «Betriebskosten-Aequivalent» jene Zahl z zu verstehen, die angibt, wie viele im elektrischen Betrieb ausgegebene Franken hinsichtlich der dafür erhaltenen Nutzwärme äquivalent einem bei Kohlebetrieb aufgewendeten Franken sind. Die monatlichen (oder jährlichen) Betriebsunkosten B [Fr. oder Rp.] bei Verwendung von Kohle (B_K), bzw. Elektrizität (B_e) zerfallen in einen von G_K, bzw. E unabhängigen Anteil b_K, bzw. b_e und einen mit G_K, bzw. E wachsenden Anteil $p_K G_K$, bzw. $p_e E$. Dabei bedeuten p_K [Fr./kg oder Rp./kg] und p_e [Fr./kWh oder Rp./kWh] den Preis des kg Kohle, bzw. der elektrischen kWh:

$$B_K = b_K + p_K G_K \,, \quad B_e = b_e + p_e E$$

Bei technischer Aequivalenz der beiden Betriebe ist $E = t_K G_K$, also

$$B_e = b_e + t_K p_e G_K$$

und

$$z = \frac{B_e}{B_K} = \frac{b_e/p_e + t_K G_K}{b_K/p_e + v_K G_K} = \frac{b_e/p_K + E/v_K}{b_K/p_K + E/t_K} \quad . \; . \quad (2)$$

wobei

$$v_K = \frac{p_K}{p_e} \text{ kWh/kg} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

[1]) Ueber die Bestimmung des Aequivalentes der elektrisch erzeugten Wärme im Vergleich zu der durch Kohle erzeugten Wärme. «Bulletin SEV», 1924, Nr. 8 (Sonderabdruck).

Leider wird aber unter «Betriebskostenäquivalent» nicht das Verhältnis z, sondern jener Wert w_K verstanden, den der Quotient v_K des Kohlen- zum kWh-Preis annehmen muss, damit $z = 1$ wird. Es ist also

$$\frac{b_K}{p_e} + w_K G_K = \frac{b_e}{p_e} + t_K G_K \,, \quad \frac{b_e}{p_K} + \frac{E}{w_K} = \frac{b_K}{p_K} + \frac{E}{t_K}$$

oder

$$w_K = t_K - \frac{b_K - b_e}{p_e G_K} \,, \quad \frac{1}{w_K} = \frac{1}{t_K} + \frac{b_K - b_e}{p_K E} \quad . \quad (4)$$

Ist das Preisverhältnis $v_K < w_K$, so ist der elektrische Betrieb der teurere; ist $v_K > w_K$, so ist es der Betrieb mit Kohle; $v_K = w_K$ bedeutet Gleichheit der Betriebskosten. Nur wenn der Kohlenpreis p_K gerade w_K mal so gross ist wie der kWh-Preis p_e, so besteht technische Aequivalenz der beiden Betriebsarten, d. h. Gleichheit der erzeugten Nutzwärme vorausgesetzt, auch wirtschaftliche Aequivalenz, d. h. Gleichheit der Betriebskosten.

In summa: G_K kg Kohle sind technisch $t_K G_K$ kWh elektrischer Energie äquivalent — technische Aequivalenz des Betriebs*stoffs*. Der Elektrizitätspreis p_e Rp./kWh ist wirtschaftlich dem Kohlepreis $w_K p_e$ Rp./kg äquivalent — wirtschaftliche Aequivalenz des *Preises*. Für die Verhältniszahl w drängt sich daher der Name (Kohle-, Oel-, Holz-) *Preisäquivalent* auf, den wir im folgenden (an Stelle der besser für z zu reservierenden Bezeichnung «Betriebskostenäquivalent») gebrauchen.

Da regelmässig $b_K > b_e$, pflegt gemäss (4)

$$w_K < t_K$$

zu sein. Z. B. kommt Rutgers beim Vergleich einer bestehenden grösseren Dampfkesselanlage von 400 m² Heizfläche für Tag- und Nachtbetrieb mit einer neu zu erstellenden Elektrodenkessel-Anlage von 8000 kW zu den Jahreswerten:

$$G_K = 7{,}24 \cdot 10^6 \text{ kg} \,, \quad E = 44{,}7 \cdot 10^6 \text{ kWh} \,, \quad b_K = 60\,000 \text{ Fr.}$$
$$b_e = 39\,500 \text{ Fr.}$$

Damit wird für diesen Vergleichsfall das Kohleäquivalent

$$t_K = \frac{E}{G_K} = 6{,}18 \, \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

Das Preisäquivalent w_K hängt vom Kohlepreis p_K ab. Diesen zu 100 Fr./t = 0,1 Fr./kg angenommen, wird nach (4):

$$\frac{1}{w_K} = \frac{1}{6{,}18} + \frac{1}{218} \, \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \,, \quad w_K = \frac{6{,}18 \cdot 218}{224{,}2} = 6 \, \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

Unter den gemachten Voraussetzungen würde sich demnach die Umstellung auf den elektrischen Betrieb dann lohnen, wenn die elektrische Energie nicht teurer käme als $^{10}/_6 = 1{,}67$ Rp./kWh. Diese Zahl beleuchtet eine der Schwierigkeiten, auf die der vom Standpunkt unserer Energiewirtschaft so begrüssenswerte Vorschlag stossen dürfte, zur Aufsparung von Brennstoff für den Winter industrielle Wärmeanlagen, in denen bisher Kohle verfeuert wurde, im Sommer unter Verwertung der dann verfügbaren Energieüberschüsse unserer Kraftwerke elektrisch zu betreiben.

Wurde bei dem eben angestellten Vergleich der Kohlepreis als gegeben vorausgesetzt, so kann sich die Frage umgekehrt auch so stellen: Welcher Brennstoffpreis würde bei den heutigen Elektrizitätstarifen dem betreffenden Brennstoff für ein bestimmtes Anwendungsgebiet die Konkurrenzfähigkeit mit der Elektrizität erteilen? Diese Frage kann im Fall der Raumheizung, namentlich einer den eingeschränkten Zentralheizungsbetrieb ergänzenden Zusatzheizung für Holz da aktuell werden, wo es — wenn nicht schon im gegenwärtigen, so doch vielleicht im nächsten Winter — in ausreichenden Mengen zur Verfügung steht. Dass der dann dem Vergleich zu Grunde zu legende Heizstrompreis p_e Rp./kWh oft nicht ohne Rechnung zu ermitteln ist, möge das folgende Beispiel für die Stadt Zürich zeigen.

Das EWZ berechnet einer (nicht elektrisch kochenden) Haushaltung die in einem Monat aus dem Lichtnetz bezogene Energie im Hochtarif von 45 Rp./kWh für die in den Abendstunden (während der Heizperiode von 16^{00}, bzw. 17^{30} bis 21^{30}) verbrauchten H kWh. Von den ausserhalb der Hochtarifzeit bezogenen N kWh werden Z nach Niedertarif I (20 Rp./kWh), der Rest $N - Z$ nach Niedertarif II (6 oder 9 Rp./kWh) in Rechnung gestellt. Dabei ist Z folgendermassen durch N und H bestimmt:

A. Wenn N mindestens einer der beiden Ungleichungen genügt:

$$N < 15 \text{ kWh}, \quad N < H$$

so ist

$$Z = N$$

Andernfalls, wenn also sowohl $N \geqq 15$ kWh, als auch $N \geqq H$, ist Z die grössere der beiden Zahlen H und 15.

B. Ist also $N \geqq 15 \text{ kWh} > H$,

so ist

$$Z = 15 \text{ kWh}$$

C. Ist aber $N \geqq H \geqq 15$ kWh,

so ist

$$Z = H$$

In der nebenstehenden Abbildung ist die Funktion

$$Z = Z(N, H)$$

durch eine stückweise ebene Dachfläche in einem N, H, Z-Raum dargestellt. Die den drei unterschiedenen Fällen entsprechenden Gebiete der N, H-Ebene sind durch Schraffur voneinander unterschieden und entsprechend bezeichnet. Die im Monat aus dem Lichtnetz bezogene Energie $N + H$ kostet demnach

$45\,H + 9\,N + 11\,Z$ Rp. in den vier kältesten Monaten November bis Februar

bzw. $45\,H + 6\,N + 14\,Z$ Rp. in den übrigen Monaten

Die für Licht verbrauchten Energiemengen seien beziehentlich N_L und H_L, der entsprechende Energieaufwand für Heizung N_H und H_H, und es bezeichne

$$E_L = N_L + H_L$$

den monatlichen Energieverbrauch für Licht,

$$E = N_H + H_H$$

den monatlichen Energieverbrauch für elektrische Heizung. Von der im Monat für Licht und elektrische Heizung ausgegebenen Summe

$$P = 45\,(H_L + H_H) + \left\{\begin{matrix}9\\6\end{matrix}\right\}(N_L + N_H) + \left\{\begin{matrix}11\\14\end{matrix}\right\} Z\,(N_L + N_H,\ H_L + H_H) \quad \text{Rp.}$$

verbleibt nach Abzug der bei nichtelektrischer Heizung dem EW für Licht allein geschuldeten Summe

$$P_L = 45\,H_L + \left\{\begin{matrix}9\\6\end{matrix}\right\} N_L + \left\{\begin{matrix}11\\14\end{matrix}\right\} Z\,(N_L,\ H_L) \quad \text{Rp.}$$

die dem elektrischen Heizbetrieb zu buchende Mehrausgabe

$$P_H = 45\,H_H + \left\{\begin{matrix}9\\6\end{matrix}\right\} N_H + \left\{\begin{matrix}11\\14\end{matrix}\right\} \Delta\,(N_L,\ H_L,\ N_H,\ H_H) \quad \text{Rp.}$$

mit der Abkürzung

$$\Delta\,(N_L,\ H_L,\ N_H,\ H_H) = Z\,(N_L + N_H,\ H_L + H_H) - Z\,(N_L,\ H_L) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Sonach ist

$$p_e = \frac{P_H}{E} = \left\{\begin{matrix}9\\6\end{matrix}\right\} + \left\{\begin{matrix}36\\39\end{matrix}\right\} \frac{H_H}{E} + \left\{\begin{matrix}11\\14\end{matrix}\right\} \frac{\Delta\,(N_L,\ H_L,\ N_H,\ H_H)}{E} \text{ Rp./kWh} \quad \ldots \quad (6)$$

der kWh-Preis des elektrischen Heizstroms. Die oberen Zahlen gelten in den vier kältesten, die unteren in den übrigen Monaten. Wie in der Abbildung an einem Zahlenbeispiel veranschaulicht, ist stets

$$\Delta\,(N_L,\ H_L,\ N_H,\ H_H) \geqq 0$$

sodass, wenigstens sofern $H_H > 0$,

$$p_e > \left\{\begin{matrix}9\\6\end{matrix}\right\} \text{ Rp./kWh}$$

Diese Ungleichung gilt aber augenscheinlich auch für $H_H = 0$, es sei denn, der Punkt $(N_L,\ H_L)$ liege ausserhalb des Bereiches (1) der N, H-Ebene. Einzig dann, wenn erstens bei Hochtarif nicht geheizt wird und zweitens für Licht allein im Niedertarif mindestens 15 kWh und mindestens soviel Energie wie im Hochtarif verbraucht wird, ist

$$p_e = \left\{\begin{matrix}9\\6\end{matrix}\right\} \text{ Rp./kWh}$$

Das in die Abbildung eingetragene Zahlenbeispiel, bei dem an eine elektrische Zusatzheizung für einen einzelnen Raum, etwa im Monat Januar, gedacht ist, lautet: $N_L = 35$ kWh, $H_L = 40$ kWh, $N_H = 60$ kWh, $H_H = 30$ kWh, $E = 90$ kWh. Das ziemlich hohe Verhältnis $H_H/E = 1/3$ soll auf die Schwierigkeit hindeuten, die Abendstunden der Hochtarifzeit, in denen ein besonders starkes Heizbedürfnis besteht, mit den an das Lichtnetz anschliessbaren elektrischen Oefchen zu überbrücken. Der Punkt $(N_L,\ H_L)$ gehört dem Bereich (A), der Punkt $(N_L + N_H,\ H_L + H_H)$ dem Bereich (C) an. Gemäss A ist also $Z\,(N_L, H_L) = N_L$, gemäss C ist $Z\,(N_L + N_H,\ H_L + H_H) = H_L + H_H$, somit $\Delta = H_L + H_H - N_L = 35$ kWh. Nach (6) wird

$$p_e = 9 + \frac{36\,H_H + 11\,\Delta}{E} = 25{,}3 \text{ Rp./kWh}.$$

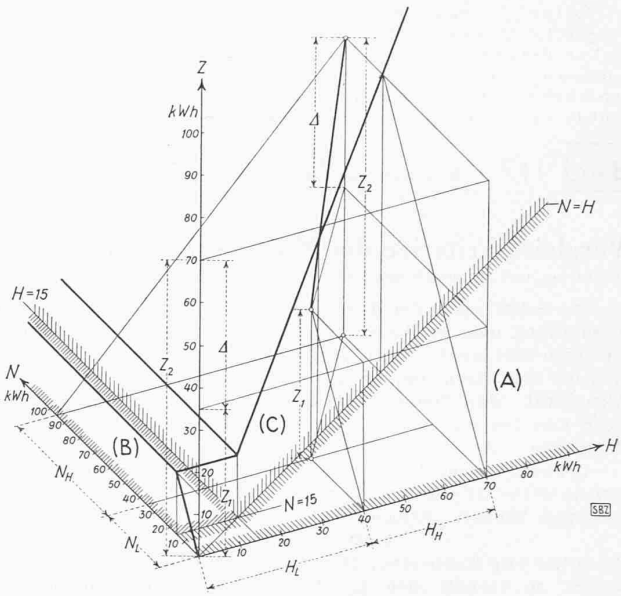

Diagramm zur Ermittlung des Heizstrompreises gemäss Tarif des EWZ

Legen wir nun dem Vergleich mit einer Holzfeuerung, etwa mittels eines transportablen Kachelöfchens, den Heizwert (für lufttrockenes Holz) 3700 kcal/kg zugrunde, und definieren wir, analog (1), als Holzäquivalent

$$t_h = \frac{E}{G_h} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1^*)$$

worin G_h jenes Gewicht in kg Holz bezeichnet, das, in einem solchen Ofen verbrannt, die selbe Nutzwärme liefert wie der angenommene Heizstromverbrauch von E kWh, so ist zunächst sicher

$$t_h < \frac{3700}{860} = 4{,}30 \text{ kWh/kg} \quad \ldots \quad (1^*\text{a})$$

Nehmen wir z. B. für die Heizung mit Holz einen Wirkungsgrad von $\eta_h = 0{,}7$, für die Widerstandsheizung von $\eta_w = 1$ an, so wird das Holzäquivalent

$$t_h = 3{,}01 \text{ kWh/kg}$$

d. h. 1 kg Holz ist unter den genannten Annahmen einem Heizstromverbrauch von 3,01 kWh technisch äquivalent. Die Anschaffungskosten des elektrischen Heizkörpers zu 80 Fr., des Kachelöfchens zu 320 Fr., und die monatliche Amortisationsquote in beiden Fällen zu 1 % veranschlagt, wird $b_e = 80$ Rp., $b_h = 320$ Rp., $G_h = E/t_h = 90/3{,}01 = 30$ kg [2]). Das Preisäquivalent ergibt sich analog (4) zu

$$w_h = t_h - \frac{b_h - b_e}{p_e\,G_h} = 2{,}69 \text{ kWh/kg}$$

Der Holzpreis dürfte also bis zu $w_h\,p_e = 68$ Rp./kg = 68 Fr. pro q ansteigen, ehe in diesem Fall die Holzfeuerung ihre wirtschaftliche Ueberlegenheit über die elektrische Heizung verlöre. Bei aller Willkürlichkeit der getroffenen Annahmen, die ja nur das Rechenverfahren illustrieren wollen, eröffnet die Grössenordnung dieser Zahl dem Holzhandel, solange die Kohleknappheit anhält, doch ganz ungewohnte Aussichten.

Ergänzend sei daran erinnert, dass in Zürich den Haushaltungen mit elektrischen Küchen der Heizstrom unabhängig von der Tageszeit und vom Stromverbrauch zu 9, bzw. 6 Rp./kWh verrechnet wird, sodass in «elektrifizierten» Wohnungen der Vergleich bedeutend günstiger für die elektrische Heizung ausfällt. Unter den nämlichen Voraussetzungen wie oben wird nämlich in diesem Fall (für $p_e = 9$ Rp./kWh) das Preisäquivalent $w_h = 2{,}12$ kWh/kg, und der das wirtschaftliche Gleichgewicht herstellende Holzpreis $w_h\,p_e = 19{,}1$ Fr./q. Dass für die elektrische Raumheizung, zumal in Jahren der Verdunkelung und des gedrosselten Autoverkehrs, nicht unbeträchtliche, bisher für a) Lichtreklamen, b) Schaufenster- und c) Strassenbeleuchtung aufgewendete Energiereserven vorhanden wären, geht z. B. aus den Ausführungen von Stadtrat J. Baumann in der Zürcher

[2]) Dieser ungemein geringe, E entsprechende Holzverbrauch setzt die mit Rücksicht auf die Winterknappheit des elektrischen Stromes gemachte Annahme $E = 90$ kWh in das rechte Licht: Es handelt sich um eine ausgesprochene Zusatzheizung! Jedes Kachelöfchen würde natürlich einen bedeutend höheren Monatsverbrauch ermöglichen und wäre in praxi auch für einen solchen vorzusehen; daher die verhältnismässig hohe Preisannahme von 320 Fr.

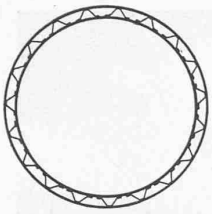

Abb. 1. Doppelwand-Rohr

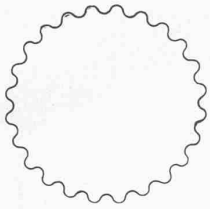

Abb. 2. Gewelltes Rohr

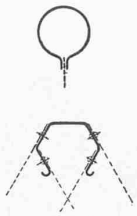

Abb. 3. Knotenanschlüsse

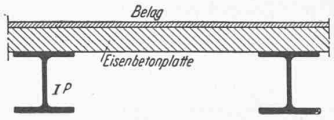

Abb. 4. Schwere Decke aus Walzträgern und Eisenbetonplatte

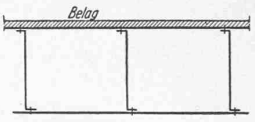

Abb. 5. Leichte Decke als Stahl-Hohlkörper ausgebildet

Gemeinderatsitzung vom 18. September 1940 hervor, derzufolge in Zürich bei Unterdrückung der Verwendungen a) und b) täglich etwa 8000 kWh für Heizzwecke frei würden, bei Einschränkung von c) ausserdem ein Betrag von etwa 2 Millionen kWh, anscheinend berechnet für die vier Monate November/Februar [3]), d. h. von 16 670 kWh, berechnet für einen Tag. Abgerundet 24 000 kWh täglich würden es immerhin 6000 weiteren Wohnungen (von insgesamt 95 800) ermöglichen, einen elektrischen Heizkörper von 1 kW während vier Abendstunden anzuschliessen.

Die vorstehenden Erörterungen setzen im elektrischen Fall eine Widerstandsheizung voraus. Bekanntlich ermöglicht aber die Raumheizung mittels *Wärmepumpe* eine weit rationellere Verwertung der elektrischen Energie, nämlich zum Antrieb eines Kompressors, mit dessen Hilfe Wärme, z. B. aus einem Fluss, in den zu heizenden Raum «gepumpt» wird. So wurde in das mit einer solchen Heizanlage versehene Zürcher Rathaus während einer Heizperiode bei einem elektrischen Arbeitsaufwand von $67 \cdot 10^6$ kcal eine Wärmemenge von $145 \cdot 10^6$ kcal gepumpt [4]). Man kann hier also füglich von einem durchschnittlichen Wirkungsgrad der Wärmepumpe

$$\eta_p = \frac{\text{Nutzwärme}}{\text{elektrischer Arbeitsaufwand}}$$

$$\text{von } \frac{145}{67} \cdot 100 = 217\ \% \text{ sprechen!}^{5)}$$

Auf jeden Fall ist

$$\eta_p > 1$$

Vergleichen wir nun den Heizbetrieb mit Holz, etwa einer modernen Zentralheizung für Dauerbrand, deren durchschnittlichen Wirkungsgrad

$$\eta_h = \frac{\text{Nutzwärme}}{\text{Verbrennungswärme}}$$

wir wie oben zu 70 % annehmen wollen, statt mit einer elektrischen Widerstandsheizung, mit einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe. Da jedenfalls

$$\eta_h < 1,$$

ist das durch (1*) definierte Holzäquivalent $E/G_h = 3700\,\eta_h/860\,\eta_p$ immer noch $< 4{,}30$ kWh/kg; (1*a) bleibt gültig. Mit $\eta_p = 2{,}2$ und $\eta_h = 0{,}7$ wird

$$t_h' = 1{,}37 \text{ kWh/kg}$$

Die elektrische kWh ist also jetzt nicht mehr, wie im zuletzt betrachteten Vergleichsfall, $1/t_h = 0{,}33$, sondern $1/t_h' = 0{,}73$ kg Brennholz technisch äquivalent, entsprechend der Gleichung

$$t_h : t_h' = \eta_p : \eta_w\,!$$

Diese Tatsache, dass die Verwendung der Wärmepumpe an Stelle der Widerstandsheizung den Heizwert der elektrischen Energie mehr als verdoppelt, wollte am Schluss dieser Bemerkungen unterstrichen sein, da sie hinsichtlich einer rationellen Wärmewirtschaft die oben gestreiften Möglichkeiten an Bedeutung weit überragt.

K. H. Grossmann

[3]) Der Bericht der «Neuen Zürcher Zeitung», Nr. 1351 vom 19. September 1940, dem diese Angaben entnommen sind, drückt sich in diesem Punkt nicht unzweideutig aus.

[4]) Laut Messbericht von M. Egli in «SBZ», Bd. 116, Nr. 7, S. 75*.

[5]) Wenn man sich nicht, um den Anschein der Unkenntnis des Energiesatzes zu vermeiden, darauf versteift, den Wirkungsgrad so zu definieren, dass er $< 100\,\%$ wird (indem man in den Energieaufwand die vom Fluss gratis hergegebene Wärme einbezieht), wodurch der Witz der Wärmepumpe allerdings verdeckt wird.

Stahl-Leichtbau, eine Forderung der Zeit

In deutschen technischen Kreisen wird mit gewaltigen Bauaufgaben der Nachkriegszeit gerechnet, bei weiterhin andauernder Knappheit von Rohstoffen und Arbeitskräften. Das bedeutet die Anwendung sparsamster und zweckmässigster Leichtbauweisen, die im Bauwesen, besonders im Eisenbetonbau heute schon zu bemerkenswerten Neuerungen geführt haben, während sich dem Stahlbau diesbezüglich noch wichtige Aufgaben stellen. Leichtbau bedeutet nicht ein Bauen auf Kosten von Güte und Haltbarkeit, sondern im besonderen Fall des Stahlbaues eine Abkehr von Konstruktionselementen, die trotz hohem Gewicht gegen örtliche Verletzungen empfindlich und durch schlechte Materialausnützung unrationell sind. Man denke dabei anderseits an die auf höchster Entwicklung stehenden, grösste Sicherheit und Widerstandsfähigkeit bietenden Leichtkonstruktionen des Flugzeugbaues und an die Tatsache, dass die dabei hauptsächlich zur Verwendung kommenden dünnwandigen, allseits biegungs- und verwindungsfesten Rohre auch bei vielfachen Kampfverletzungen die Flugfähigkeit sichern. Aehnliche überraschende Erfolge zeigt uns die Natur in ihrer Bevorzugung röhrenförmiger Traggebilde, beispielsweise in einem Kornhalm, der als leichtestes Zellenrohr von 4 bis 8 mm Durchmesser am freien Ende in Höhen bis 1800 mm auch bei starker Windbelastung schwere Aehren trägt!

Der Leichtbau fordert ebenfalls Dünnwandigkeit und Hohl-Träger, bei denen der aktive Baustoff möglichst weit nach aussen liegt und die bei kleinstem Materialaufwand die grösste statische Wirkung haben — eine bekannte Tatsache, die aber, oft aus ästhetischen Gründen, immer noch nicht gebührend ausgenützt wird. Als Druckstäbe benötigen dünnwandige Rohre im Vergleich mit Walzprofilen und aus solchen zusammengesetzten Querschnitten, bei gleicher statischer Wirksamkeit meistens nur die Hälfte der Materialmenge und bieten dabei noch den Vorteil der Biegungs- und Verdrehfestigkeit. Der Gefahr des Einbeulens dünner Rohrwandungen kann durch doppelwandige Ausbildung oder durch gewelltes Blech begegnet werden (Abb. 1 und 2).

Bei Zugstäben ist die Bemessung von der zulässigen Spannung und der Querschnitteinbusse an der Anschlusstelle abhängig und es sind daher geschweisste Anschlüsse sparsamer als Niet- und Schraubenverbindungen. Für Sonderzwecke ist mit den Zielen der Leichtbauweise auch mehr, statt Zugstäben, an die Verwendung hochwertiger Stahldrähte zu denken, deren Streckgrenze mindestens den fünffachen Wert des St 37 erreicht.

Der Verwendung von Rohrstäben im Fachwerkbau kommt die heute vorzüglich ausgebildete Schweisstechnik zugute [1]). Die Anschlüsse in den Knotenpunkten können dabei einwandfrei erfolgen, sei es direkt, sei es mit Niete oder Schraube an ein eingeschweisstes Knotenblech (Abb. 3, oben). Hingegen ist der direkte Verbindungsanschluss von Druckgliedern heute noch nicht befriedigend gelöst, doch wird auch diese Schwierigkeit noch zu überwinden sein. An der Firth of Forth-Brücke in England, einer der grössten Brücken der Welt (2×521 m Spannweite), ist dieses Problem allerdings schon im Jahre 1883 bewältigt worden, was das Alter des Bauwerks beweist. Vereinfacht würden die Verbindungen bei Verwendung von Rohrstäben aus abgekanteten, gebogenen dünnen Blechen nach den Typen in Abb. 3, unten, die noch vielfacher Abwandlung fähig sind. Für die Nietung solcher Hohlformen sei auf das dafür besonders

[1]) Vgl. *H. Gottfeldt*, Geschweisste Rohrkonstruktionen, «SBZ», Bd. 106, S. 181* (19. Oktober 1935).

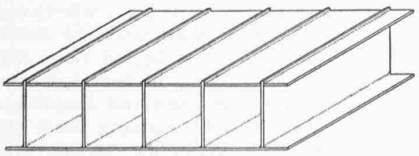

Abb. 6. Geschweisste Hohlplatte

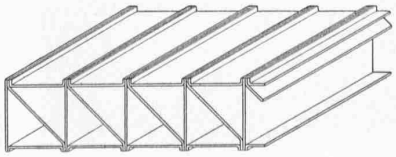

Abb. 7. Hohlplatte mit Schrägblechen

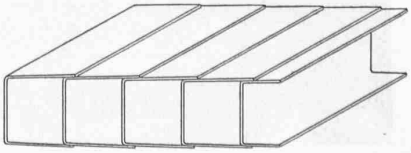

Abb. 8. Von aussen genietete Hohlplatte