

Die wirtschaftlichen Grundlagen der Fernheizung: ein Beitrag aus Betrieb und Forschung des Fernheizkraftwerkes (FKH) der E.T.H.

Autor(en): **Bauer, Bruno**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **111/112 (1938)**

Heft 14: **Lehr- und Forschungsinstitute der Eidgenössischen Technischen Hochschule: Sonderheft zum 60. Geburtstag des Schulratspräsidenten Arthur Rohn**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-49813>

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.

Aus dem Betrieb des Fernheizkraftwerks 1932 bis 1937 im Maschinenlaboratorium der E. T. H. Zürich

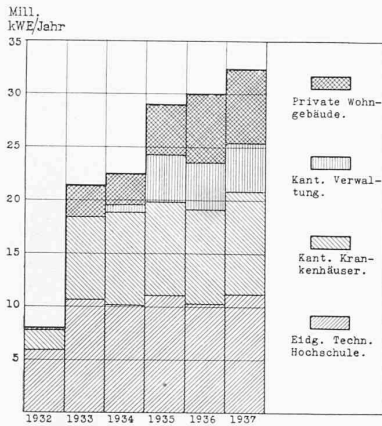


Abb. 1. Wärmeabgabe an die Bezüger

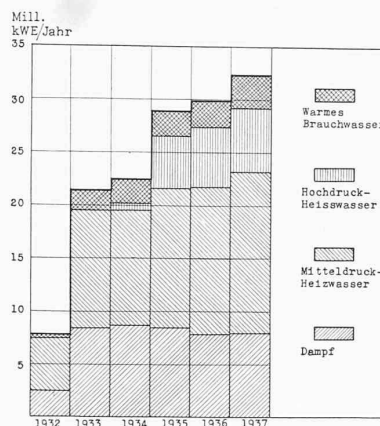


Abb. 2. Wärmeabgabe nach Transportmitteln

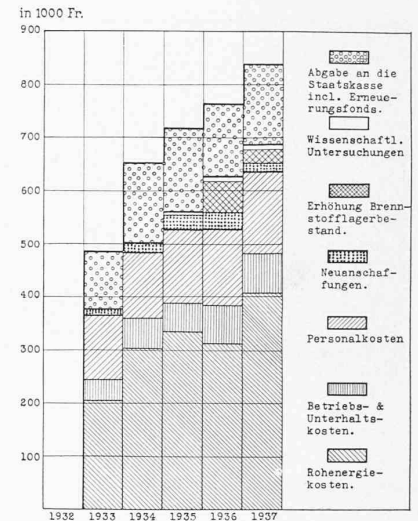


Abb. 4. Verwendung der Jahreseinnahmen

Ganz allgemein geht aus diesen Versuchen hervor, dass die Lage der Seitenflosse genau oberhalb des Höhensteuers hohe Drehzahlen ergibt. Die grössten Drehzahlen liefert eine Flosse, deren Tiefe gleich und deren Höhe annähernd gleich der Tiefe des Höhensteuers ist. Hohe, nach vorn verschobene und geneigte Seitensteuer sind in bezug auf Autorotation des Leitwerkes günstig. Aehnliche Leitwerke werden bei modernen Flugzeugen auch oft angewendet.

Es ist noch notwendig, einige Worte über die Entstehung der antreibenden Kraft zu sagen. In der erwähnten Note ist die Vermutung ausgesprochen worden, dass die, durch die Drehbewegung bedingte, schräge Anströmung der Höhenflosse eine sekundäre Strömung im abgerissenen Gebiet oberhalb der Fläche erzeugt, die im wesentlichen in Richtung der Rotation verläuft und eine senkrecht stehende Fläche mitreisst. Diese sekundäre Strömung ist nun im Wassertank näher untersucht und dort sehr deutlich beobachtet worden, wie aus Bild 6 ersichtlich. Das in der kürzlich (in Nr. 7 u. 8) hier erschienenen Beschreibung des Institutes für Aerodynamik als Abb. 23 (Seite 89) gezeigte Strömungsbild stellt ebenfalls diese sekundäre Strömung und ihre Wirkung auf das Seitenleitwerk dar.

J. ACKERET, P. DE HALLER und W. PFENNINGER

Die wirtschaftlichen Grundlagen der Fernheizung Ein Beitrag aus Betrieb und Forschung des Fernheizkraftwerks (FKH) der E. T. H.

Die technischen Einrichtungen unseres Instituts sind in dieser Zeitschrift früher schon ausführlich beschrieben worden¹⁾. Sie umfassen, unter gesonderter selbständiger Verwaltung, jene Anlagenteile des neuen Maschinenlaboratoriums, die neben ihrer Zweckbestimmung als Lehrobjekt für die industrielle Erzeugung, Umwandlung und Verteilung von Wärme und zur Umformung von Wärme in elektrische Energie erforderlich sind. Unser Werk dient demnach einem doppelten Zweck: der Lehre und der Forschung auf dem Gebiet der Wärmetechnik und des thermischen Kraftwerkbetriebs einerseits, und der gewerbmässigen Lieferung von Wärme und elektrischer Energie an Dritte andererseits. Selbstverständlich ist auch diese Aufgabe in den Dienst der technisch-wirtschaftlichen Forschung gestellt, indem in der Auswahl der technischen Mittel und der zur Energiebelieferung vorgesehenen Anschlussobjekte grösseres Gewicht auf die Reichhaltigkeit der Typen zwecks Schaffung vielseitigsten Erfahrungsmaterials gelegt wird, als auf die Erzielung des bestmöglichen finanziellen Ertragnisses. Wir erblicken im Studium der Grundlagen und in der Verbesserung der Mittel zur Anstrengung einer rationellen Wärmewirtschaft eine bedeutungsvolle Aufgabe, weil unser Land trotz des Reichtums an Wasserkraften auf die Heranziehung des ausländischen Brennstoffs zur Energiebedarfsdeckung angewiesen ist. Hierbei muss darnach getrachtet werden, die Brennstoff-Wärmebetriebe soweit möglich in den Energiehaushalt der Wasserkraftnutzung im Sinne eines Verbundbetriebes der beiden wichtigen Energieträger einzubeziehen. Die Fernheizung bietet eine dieser möglichen Lösungen, deren technische und wirtschaftliche Probleme mit zum Aufgabenkreis unseres Instituts gehören. Der vor-

¹⁾ Vergl. Band 106, S. 141* (28. Sept. 1935) und 205* (2. Nov.).

liegende Bericht beschränkt sich allein auf diesen Teil unserer Tätigkeit.

Wir wollen zunächst mit Hilfe der nachfolgenden Abbildungen über die Entwicklung des Wärmeabsatzes des FKH berichten. Abb. 1 zeigt die Vermehrung der jährlich an das Heiznetz abgegebenen Wärmemengen seit Betriebsbeginn, unterteilt nach Art und Besitzstand der belieferten Liegenschaften. In Abb. 2 ist die gleiche Entwicklung nach Art des Wärmetransportmittels unterteilt. Demnach sind im Betriebsjahr 1937 32,3 Mio kWE an unsere Wärmeabnehmer geliefert worden (1 kWE = 1000 WE); hiervon wurden 25,5 Mio kWE aus Brennstoff erzeugt und 6,8 Mio kWE aus Hydro-Elektrizität. In Abb. 3 ist der zeitliche Verlauf der Wärmeabgabe an das Heiznetz für das Jahr 1937 dargestellt (Kurve 1), der auf die Elektrowärme entfallende Anteil ist durch Kurve 2 umgrenzt. Der Linienzug 3 umfasst die während der Winterperiode an das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich gelieferte elektrische Energie. Unser Fernheizwerk steht demnach insofern mit der Elektrizitätsversorgung der Stadt im Verbundbetrieb, als wir in der Uebergangszeit und während der Sommermonate Bezüger überschüssiger hydro-elektrischer Energiemengen sind (im Jahre 1937 7,9 Mio KWh), während wir zur Zeit des Wintermangels unserer Wasserkraft thermisch erzeugte elektrische Energie (im Jahre 1937 4,5 Mio KWh) an die städtische Stromversorgung abgeben. In Abb. 4 ist die Entwicklung unserer Jahreseinnahmen aus dem Wärme- und Elektrizitäts-Verkauf und deren Unterteilung auf die verschiedenen Ausgaben-Positionen dargestellt. Wie ersichtlich, liefert das FKH jedes Jahr, nach Deckung aller Betriebsausgaben und übrigen Kosten des Instituts, eine namhafte Summe an die Staatskasse ab.

Die Fernheizung bietet, vom energie-wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet, ein reizvolles Problem. Was liegt näher, als den mengenmässig gewaltigen Bedarf an geringwertiger Wärme, wie sie die Raumheizung eines dicht bewohnten Gebietes erfordert, in Nachschaltung zur Energie-Umformung von hochwertiger Wärme in mechanische Arbeit bzw. elektrische Energie zu erzeugen, um damit die thermodynamisch bestmögliche Ausnutzung des Wärmegefälles zu erreichen, das bei der Verfeuerung des Brennstoffes frei wird. Wir kuppeln aber mit diesem Verfahren zwei Versorgungsbetriebe mit ganz verschiedener Bedarfscharakteristik. Da weder die elektrische Energie noch die Raumheizungswärme mit wirtschaftlich tragbaren Mitteln aufzuspeichern ist, kann ein solcher Verbundbetrieb selbständig nicht beide Versorgungsgebiete zugleich beliefern. Man wird daher das Fernheizwerk bei gleichzeitiger Gegendruck-Krafterzeugung entweder mit besonderen Maschineneinheiten ausrüsten, die auf Kondensation arbeiten, oder die Heizzentrale mit Krafterzeugung als Zubringerwerk eines selbständigen Kraftwerksystems betreiben. Die zweite Kombination bietet besonders für jene Elektrizitätsversorgungs-Betriebe ein Interesse, die den Energiebedarf durch Wasserkraften aus Flussläufen mit alpiner Charakter der Wasserführung decken. Hier bringt der Fernheizbetrieb mit Krafterzeugung im Gegendruck nicht nur eine willkommene Ergänzung des verminderten hydraulischen Winter-Energie-Angebotes der Natur, sondern auch die Möglichkeit der Verwertung hydraulischer Energie-Ueberschüsse während der Uebergangszeit und zur Wärmeerzeugung im

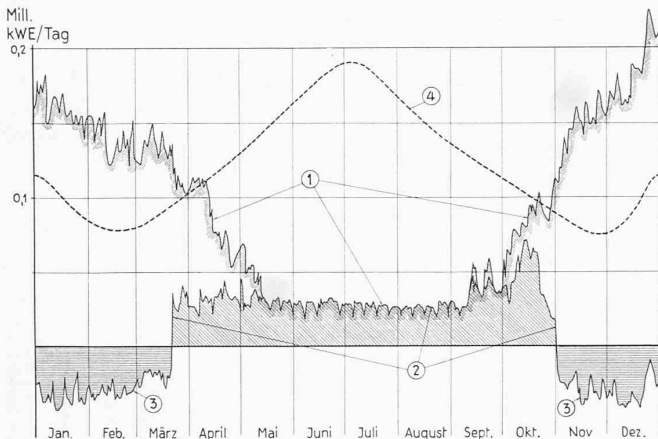


Abb. 3. Verbundbetrieb 1937 zwischen Fernheizkraftwerk und E. W. Z.
 (1) Wärmeabgabe an das Heiznetz, Flächeninhalt 32,3 Mio kWE pro Jahr
 (2) Wärmeerzeug. aus Hydro-Elektr., Fläche 6,8 Mio kWE bzw. 7,9 Mio kWh
 (3) Thermisch erzeugte elektrische Energie, Flächeninhalt 4,5 Mio kWh
 (4) Wasserführung des Rheines bei Basel (20-jähriger Mittelwert)

Sommer. Wir verweisen auf die Abb. 3, in der mit dem Linienzug 4 als Beispiel der typische Verlauf der Wassermengen des Rheins bei Basel eingezeichnet ist. Der Wiederanstieg der Wassermengen fällt, wie ersichtlich, noch in die Periode grösseren Wärmebedarfes für die Raumheizung, wie auch die bekannten Spätherbstniederschläge verwertbare Ueberschuss-Energien für den bereits eingesetzten Heizbetrieb bringen können.

Bei der Prüfung der Wirtschaftlichkeit eines Fernheizkraftwerkes soll der Grundsatz der reinlichen Selbstkostentrennung nicht ausser acht gelassen werden. Jeder Betrieb, Elektrizität und Wärme, darf je nur mit den produktionseigenen Kostenelementen belastet werden, wobei für die gemeinsamen Aufwendungen eine sinngemässe Teilung vorzunehmen ist. Der Verbundbetrieb kann daher nur dann Interesse bieten, wenn jeder Teil für sich wirtschaftlich tragbar ist. Die Erfahrung lehrt, dass Fernheizanlagen in Städten, die an sich ein befriedigendes Erträgnis abwerfen, meist auch zu Selbstkosten der in Gegen- druck, zum Teil selbst im Kondensationsbetrieb erzeugten elektrischen Energie gelangen, die für die Elektrizitätsversorgung des betreffenden Gebietes Interesse bieten. Diese Tatsache ist zum Teil durch den Umstand begründet, dass die Ergänzungsenergie des Fernheizkraftwerkes sozusagen am Orte des Verbrauchs erzeugt wird, ihre Selbstkosten sind somit nicht durch hohe Transportpesen belastet.

Die Erfolgsmöglichkeit der Wärmefernversorgung für Raumheizungszwecke hält trotz der äusserlichen Analogie jener der Elektrizitäts- und Gasbetriebe nicht stand. Die Heizwärme ist eben keine hochwertige Energieform wie Gas oder Elektrizität. Sie lässt sich mit verhältnismässig geringem Kapitalaufwand am Verbrauchsort selbst erzeugen, ohne grossen betrieblichen Nachteil gegenüber der Wärmefremdlieferung. Diese ist daher in den Lieferbedingungen an den Aequivalenzpreis der zu ersetzenden oder gedachten Eigenanlage gebunden. Der Verbraucher zahlt für die bezogene Wärme nur jenen Geldbetrag, der ihm aus dem Betrieb einer eigenen, im Wettbewerb stehenden modernen Zentralheizung erwachsen würde. Die Einnahmen aus dem Wärmeverkauf der Fernheizung sind demnach gleich der Produktionskostensumme der gedachten Einzelheizungen der Abnehmerschaft. Diese Beziehung führt zur Kosten- gleichung des Fernheizbetriebes

$$g = \underbrace{\sum_1^n (k_e)}_A + Q \frac{c_z}{\eta_f} - \underbrace{(k_z + k_n + Q)}_B \dots (1)$$

worin g den Reingewinn bedeutet als Differenz der Jahreseinnahmen (A) und der jährlichen Produktionskosten (B) der Fernheizung, einschliesslich des Schuldendienstes und der üblichen betriebsbedingten Rücklagen. Nach Obigem stellt die Grösse A in Gleichung (1) zugleich die Produktionskostensumme aller Einzelheizungen dar. Diese setzt sich aus der Summe der festen Kosten, k_e pro Einzelanlage, und den gesamten Brennstoffkosten bei der jährlichen Nutzwärme Q zusammen. Hierbei ist mit einem mittleren Wärmepreis c_z und einem mittleren Jahreswirkungsgrad η_f der Einzelanlagen gerechnet. In gleicher Weise sind die Produktionskosten der Fernheizung im Ausdruck B der Gleichung (1) aufgebaut. Es bedeuten darin k_z die festen Kosten der Fernheizzentrale, k_n

jene des Verteilnetzes, c_z den Wärmepreis der Rohenergie im Werk verstanden, und η_f den Jahreswirkungsgrad der gesamten Fernheizung. Wir können in Gleichung (1) an Stelle der Nutzwärme Q das Produkt aus der bei der Abnehmerschaft insgesamt installierten Heizleistung P_i mal die Benützungsdauer T setzen. Dividieren wir alsdann alle Glieder der Gleichung (1) durch die gesamte installierte Leistung P_i , so lässt sich der auf die Leistungseinheit bezogene Gewinn wie folgt schreiben:

$$g_1 = \underbrace{k_{e_1}}_A - \underbrace{(k_{z_1} + k_{n_1})}_B + T \left(\frac{c_z}{\eta_f} - \frac{c_z}{\eta_f} \right) \dots (2)$$

A umfasst den Gewinnanteil aus der Festkosten-Differenz zwischen Einzelheizung und zentralisierter Anlage; B enthält den Gewinnanteil aus der Rohenergie-Kostendifferenz. A kann für kleinere Anlagen leicht negativ werden, B wird immer grösser als Eins sein, solange die Einzelheizung den teureren Brennstoff verfeuert (Koks) als das Fernheizwerk (Kohle). Diese zugunsten der Fernheizung ausfallende Brennstoff-Preisdifferenz wird in ihrer Wirkung auf g_1 noch durch den etwas höheren Wirkungsgrad der Fernversorgung verstärkt. — Die Erfahrung lehrt, dass k_{e_1} für Raumheizungsanlagen mit selbst sehr unterschiedlicher Leistung wenig schwankt. Der Wert bewegt sich für schweizerische Verhältnisse in der Gegend von 6 ÷ 8 Franken pro Leistungseinheit (1 kWE/h) und Jahr. Der Hauptbetrag entfällt auf die Auslagen für die Bedienung der Einrichtung; die Kapitalkosten übernehmen nur einen geringen Anteil. In vielen Fällen will der Verbraucher den Kapitalkosten-Betrag überhaupt nicht als Festkostenanteil der Einzelheizung gelten lassen. — Die spezifischen Festkosten k_{z_1} der Heizzentrale gehen mit steigender Werkleistung in nicht sehr erheblichem Masse zurück. Leider verbietet die während einer Heizperiode stark schwankende Heizlast auch bei grösseren Betrieben meist die Aufstellung von nur wenigen grossen Kessel-einheiten mit besonders geringem spezif. Erstellungspreis. Die technischen Massnahmen für die Sicherstellung einer hinreichenden Brennstoffreserve können die Werkkosten sehr erheblich vergrössern. Als Orientierungswert für k_{z_1} kann der Betrag von 7 ÷ 5 Franken pro Leistungseinheit (1 kWE/h) und Jahr, für Netzleistungen in der Gegend von 20 ÷ 30 000 kWE/h genannt werden. — Die jährlichen Festkosten des Heiznetzes k_{n_1} sind in erheblichem Masse von der Gesamtleistung P_i und der Netzausdehnung mit der gesamten Rohrlänge l abhängig. Zur Uebersicht der Verhältnisse mag hier die in erster Annäherung gewonnene Beziehung genannt werden:

$$k_{n_1} = l \left(\frac{a}{P_i} + \frac{b}{\sqrt{P_i}} \right) \dots (3)$$

worin in den Grössen a und b die Ansätze für Zins und Rücklagen, die Materialkonstanten und vor allem die spezif. baulichen Kosten stecken. Je teurer die Verlegung eines Fernheizrohres zu stehen kommt, umso grösser sind die Werte a und b. Gleichung (3) will nur hervorheben, dass die spezif. Heiznetzkosten im wesentlichen vom Quotienten P_i/l abhängen. Je grösser die auf die Längeneinheit des Netzes bezogene Netzleistung ausfällt, umso geringer ist k_{n_1} , d. h. umso grösser wird unter sonst gleichen Verhältnissen der Gewinn g_1 . Die Erfolgsaussicht der Fernheizung hängt also in hohem Masse vom Leistungsbedarf und der Ausdehnung des Netzes ab. Nach bisheriger Erfahrung eignen sich in unserem Land nur die dicht bewohnten Gebiete im Weichbild der Städte mit vorzugsweisem Anschluss der Grossgebäude zur Wärmebelieferung mittels Fernheizung. Die Jahreskosten k_{n_1} des Netzes bewegen sich hierbei in der Gegend von 4 ÷ 6 Franken pro Leistungseinheit und Jahr. Eine Reihe von Studien und Untersuchungen unseres Institutes betreffen technische und wirtschaftliche Massnahmen zur Verringerung der Faktoren, die auf die Grösse k_{n_1} von Einfluss sind.

Wir entnehmen endlich dem Ausdruck B in Gleichung (2) den Einfluss der Benützungsdauer auf den Gewinn g_1 . Die reinen Raumheizungsanlagen weisen hierzulande für mittlere Witterungsverhältnisse eine Benützungsdauer von 900 ÷ 1000 h auf, bezogen auf die installierte Leistung P_i als Maximallast bei einer Aussentemperatur von min. 20° verstanden. Durch Anschluss von Wärmeverbrauchern grösserer Benützungsdauer, wie Krankenhäuser, Hotelbetriebe, Wäschereien und industrielle Wärmeverbraucher, kann T und damit der Gewinn g_1 erhöht werden. Der Wert B in Gleichung (2) bewegte sich in den letzten fünf Jahren für schweizerische Verhältnisse in der Gegend von 10 ÷ 12 Fr. pro Leistungseinheit und Jahr.

BRUNO BAUER