

**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 27 (1935)  
**Heft:** 7-8

**Artikel:** Energiewirtschaftliche Betrachtung zum Problem der elektrischen Raumheizung  
**Autor:** Peter, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-922313>

### **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:** 20.02.2026

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

## Energiewirtschaftliche Betrachtung zum Problem der elektrischen Raumheizung.

Mitteilung des Fernheizkraftwerks der Eidg. Techn. Hochschule. Referent: Prof. Dr. Bruno Bauer, Mitarbeiter: Ing. W. Peter.

1. Die Verwendung elektrischer Energie zur Heizwärmeerzeugung vermittelt stromerhitztem Widerstand stellt im Vergleich zur Brennstoffanwendung technisch eine so einfache Lösung dar und die Ueberlegenheit im Wirkungsgrad der Energieumformung wirkt so überzeugend, dass man oft geneigt ist, sich über einige grundsätzlich gültige energiewirtschaftliche Gegenargumente hinwegtäuschen zu lassen. Man könnte hierin durch den Umstand noch bestärkt werden, dass in jüngerer Zeit eine grössere Anzahl elektrischer Raumheizungsanlagen erstellt worden sind, in denen neben hydroelektrischer Energie interessanterweise auch solche kalorisch erzeugt, anscheinend zu brennstoffäquivalenten Preisen Verwendung gefunden hat.

Trotzdem muss der Physiker zunächst feststellen, dass die Umformung der hochwertigen elektrischen Energie in Wärme von so geringer Wertigkeit wie die Raumheizungswärme thermodynamisch eine Verschwendung darstellt. F. Merkel hat hiezu den hübschen Vergleich gemacht, es denke ja auch niemand daran, die der elektrischen Energie gleichwertige mechanische Arbeit in Reibungswärme für die Raumheizung umzuwandeln. In der Tat gerät die Elektrizität dadurch, dass sie sich auf diesem minderwertigen Gebiete der Energieform in Wettstreit mit dem Brennstoff begibt, in arge Bedrängnis. Hier wird der Umstand offenbar, dass ihre Erzeugungskosten pro Energieeinheit, im Wärmemass gemessen, grundsätzlich weit mehr kapitalbelastet sind als der Brennstoff-Wärmepreis. Die verlustlose Energieumformung vermag die Lage kaum zu ändern, weil hier die respektiven Umformungswirkungsgrade für Elektrizität und Brennstoff in einem für letztere weit ungünstigeren Verhältnis zueinander stehen, als etwa auf dem Gebiete der Erzeugung mechanischer Arbeit. Natürlich kann sich in Zukunft der Wärmepreis des Brennstoffs zugunsten der elektrischen Energie wesentlich ändern, aber vorläufig bleibt die in der Folge noch belegte Tatsache bestehen, dass diese in der Raumheizung nur unter weitgehender Entlastung des Kapitalkostenanteils ihrer Selbstkosten konkurrenzfähig ist. Die Massnahme hat aber die gleichzeitige Belieferung von höherwertigen Verwendungsarten der Elektrizität zur Voraussetzung, welche den durch die Heizung nicht gedeckten Selbstkostenanteil übernehmen können. Selbstverständlich ist ein solches Umlegen der festen Energiekosten im Rahmen tragbarer Energie-Ver-

kaufpreise wirtschaftlich durchaus gerechtfertigt. Da indessen der Anschluss der Raumheizung, im grösseren Umfang durchgeführt, neue Kapitalinvestitionen erfordert, wird man sich vor Augen halten müssen, dass hiedurch das Spiel in der Konkurrenzfähigkeit der Elektrizität in den hochwertigen Energieumwandlungen wie zum Beispiel in der Erzeugung von Licht und mechanischer Arbeit geschmälert werden kann. Der Brennstoff ist auch hier ihr Feind und kann ihr bei weiterer technischer Entwicklung infolge seiner geringeren Kapitalbelastung gefährlich nahe rücken.

Sollte aus diesen Ueberlegungen der Versuch einer allgemeinen Elektrifizierung der Raumheizung endgültig aufgegeben werden? Man würde zu Zeiten der Prosperität die Frage gewiss bejahen, weil uns gerade die thermodynamische Betrachtung des Problems darauf hinweist, die Elektrizität jenen Gebrauchsformen der Energie vorzubehalten, bei denen sie dem konkurrierenden Brennstoff trotz ihrer grossen Kapitalbelastung vorläufig noch überlegen ist. Es kann aber sein, dass dieses an sich richtige Argument in Zukunft unwichtig wird vor der Sorge um die hinreichende Absatzmöglichkeit der elektrischen Energie überhaupt. So wäre denkbar, dass es sich bei weitgehender Absatzschrumpfung für unsere Volkswirtschaft unter Umständen als richtiger erweist, Elektrizität zu niedrigerem Preise für die Deckung eines Teils unserer Raumheizbedürfnisse zu verwenden, als den Gegenwert für die Beschaffung von Brennstoff ins Ausland abzuführen. Als Dauerzustand wäre eine solche Massnahme indessen unerträglich. Wenn daher die Expansion in das Raumheizungsgebiet je eine lebenswichtige Aufgabe unserer Elektrizitätswirtschaft werden sollte, ist die Frage ernstlich zu prüfen, ob und inwieweit Wissenschaft und Technik nicht die Voraussetzungen für eine gesteigerte Wirtschaftlichkeit dieser Elektrizitätsanwendung schaffen können.

2. Einen bewohnten Raum nach Anschauung der Hygieniker richtig beheizen und belüften heisst, dasjenige Raumklima herstellen, für das bei den Rauminsassen ein Optimum des Behaglichkeitsempfindens eintritt. Die hiefür in erster Linie massgebenden Faktoren sind: Temperatur, Geschwindigkeit, Feuchtigkeitsgehalt und Reinheitsgrad der Raumluft, wobei die Werte der drei erstgenannten Grössen je in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander stehen müssen. Der Behaglichkeitsgrad verändert sich ganz besonders deut-

lich mit der Luftgeschwindigkeit derart, dass zur Einhaltung gleicher Behaglichkeit die Innentemperatur um so höher gewählt werden muss, je bewegter die Luft im betreffenden Raume ist. Die Heizungshygieniker geben die günstigste Raumtemperatur für gesunde, normal bekleidete Menschen bei ruhender Luft für mitteleuropäische Verhältnisse im Winter zu  $18,5 \div 19^\circ \text{C.}$  an. Bewegte Luft mit einer Geschwindigkeit von zum Beispiel  $0,5 \text{ m/sek.}$  verlangt eine Temperaturerhöhung von  $2 \div 3^\circ$ . Neben diesen relativ leicht zu erfassenden charakteristischen Grössen des Raumklimas sind indessen auch die Strahlungsverhältnisse für die Behaglichkeit von nicht geringer Bedeutung, deren zahlenmässiger Einfluss noch der weiteren Forschung bedarf.

In thermodynamischer Betrachtung kann das optimale Raumklima als jener Raumzustand definiert werden, bei dem sich die natürliche Wärmeabgabe der Insassen an die Umgebung auf den zum Behaglichkeitsempfinden erforderlichen Betrag einstellt. Die Raumluft hat demnach die Funktion einer Wärmeschutzhülle des Menschen. Leider gibt sie infolge der isolationstechnisch sehr unvollkommenen Raumumschliessungswände bei tieferen Aussentemperaturen eine weitaus grössere Wärmeleistung nach aussen ab, als sie im gleichen Moment durch die Rauminsassen empfängt. Die Aufgabe der Raumheizung besteht daher in der Deckung dieses Wärmeverlustes der Raumluft. Bei Vernachlässigung der Wärmezufuhr durch die Rauminsassen hat die Heizung für den gesamten Wärmeabgang aus dem Raume aufzukommen. Da im übrigen im Rauminnern keine Wärme nutzbar verbraucht wird und die heutigen Heizungssysteme die aus dem Raume ausgetretenen Wärmemengen nicht rückgewinnen lassen, stellt sich, vom Standpunkte der Energienutzung aus betrachtet, der gesamte Wärmeaufwand für die Raumheizung als vollkommener Verlust dar. Unbekümmert dieser Erkenntnis hat die Menschheit solche Verschleuderung der ihr von der Natur zur Verfügung gestellten Rohenergien durch die Verfeinerung der Lebensweise, durch verschärfte hygienische Anforderungen und durch eine heizwirtschaftlich immer unzweckmässiger Bauweise der Gebäude im Verlauf der letzten fünf Jahrzehnte geradezu ins Gewaltige gesteigert.

Ich schätze auf Grund heute noch bestehender ähnlicher Verhältnisse, dass zur Zeit der früher vorherrschenden Holzfeuerung der jährliche Nettobetrag der Raumheizungswärme  $200 \div 500 \text{ kWE}^1$  pro Kopf der Bevölkerung unseres Landes nördlich

der Alpen erreichte. Heute beziffert sich der Nettowärmestrom, der die Wohnräume zentralbeheizter Gebäudegruppen moderner Bauweise je während der Heizperiode durchflutet, auf  $2500 \div 4000 \text{ kWE}$  pro Kopf und Jahr. Der schweizerische Mittelwert für die Periode 1931  $\div$  33 wird etwa  $1300 \text{ kWE}$  pro Kopf und Jahr betragen, wenn meine Schätzung des Gesamtwärmebedarfs unseres Landes gemäss Tabelle 1 nicht allzusehr von der Wirklichkeit abweicht<sup>2</sup>.

Tabelle 1.

Geschätzter Jahreswärmebedarf für die Raumheizung in der Schweiz in der Periode 1931  $\div$  33.

Brennstoff	Jahresbedarf in 1000 t ca.	Nutzbare Wärme pro Tonne in kWE ca.	Nettowärmemenge	
			in Mill. kWE	in % des Totals
Zechenkoks	550	4000	2200	41,5
Schweiz. Gaskoks	250	4000	1000	18,8
Braunkohlenbrikett	200	3000	600	11,3
Steinkohle	100	4000	400	7,7
Holz	300	2000	600	11,3
Heizöl	75	6 00	500	9,4
total	—	—	5300	100,0
total ohne Holz und Öl	1100	—	4200	78,0

Nach diesen Zahlen beziffert sich der gesamte Heizungsnettowärmebedarf in der betrachteten Betriebsperiode auf  $5300 \text{ Mill. kWE/Jahr}$ , wobei die festen fossilen Brennstoffe einen Anteil von  $78\%$  beitragen. Der Rest wird von Brennholz und Heizöl übernommen. In der nachfolgenden Tabelle 2 ist der jährliche Kohlenaufwand für die Heizung für die Länder Frankreich, Deutschland und England im Vergleich zur Schweiz zusammengestellt. Die Zahlen resultieren aus den statistischen Arbeiten der Weltkraft-Konferenz. Sie enthalten nur den durch die festen fossilen Brennstoffe aufgebrachten Anteil. Der Aufwand von Brennholz und Heizöl in den betrachteten Ländern ist uns unbekannt.

<sup>1</sup> Ich verwende zur Abkürzung den Ausdruck kWE für  $1000 \text{ Wärmeeinheiten (WE)}$  oder (kcal). Wir gelangen damit in die Grössenordnung der elektrischen Energieeinheit, indem  $1 \text{ kWh} = 0,86 \text{ kWE}$  ergibt.

<sup>2</sup> Es besteht leider bis heute in der Schweiz noch keine offizielle Statistik über die für die Raumheizung aufgewendeten Brennstoffmengen. Obige Zahlen sind Schätzungen auf Grund heutiger und früherer Studien. Die Studienkommission für schweizerische Energiewirtschaft hat sich u. a. die genauere Erfassung des Jahreswärmebedarfs in Aufteilung auf die einzelnen Rohenergiekategorien zur Aufgabe gestellt.

Tabelle 2.

Ungefährer Jahreswärmeaufwand für die Raumheizung, allein vom Kohlenanteil herrührend, für die Periode 1931 : 1933.

Land	Einwohnerzahl in Mill.	Kohlenaufwand für die Heizung in 1000 t ca.	Anteil am totalen Landeskohlenbedarf in % ca.	Nettowärmemenge für die Heizung in Mill. kWE ca.	Nettowärme pro Einwohner kWE/Kopf
Schweiz	4,0	1100	33	4200	1050
Frankreich	41,8	16000	21	64000	1530
Deutschland	63,2	45500	25	180000	2850
England	46,2	35500	30	140000	3050

Man ersieht aus dieser Zusammenstellung zunächst den gegenüber dem schweizerischen Wert gesteigerten Nettowärmebedarf pro Kopf der Bevölkerung der anderen betrachteten Länder. Die Vermehrung ist offenbar nicht nur allein auf die veränderten Klimaverhältnisse zurückzuführen, sondern auch auf den geringeren Kaufpreis der Brennstoffe. Die Zahlen der 4. Kolonne lassen die gewaltige Bedeutung der Raumheizung in der Energiewirtschaft der betreffenden Länder erkennen. Dies wird noch besonders sinnfällig durch den Hinweis, dass in Deutschland und England, deren Elektrizitätserzeugung fast ausschliesslich auf kalorischem Wege erfolgt, jährlich eine vier- bis fünfmal grössere Kohlenmenge für die Raumheizung verfeuert wird als für die Erzeugung des gesamten Jahres-Elektrizitätsbedarfes der betreffenden Länder. Es ist bei Betrachtung dieser Ziffern erstaunlich, dass bis heute noch kein ernstlicher wirtschaftlicher Antrieb einsetzte, um dieser ungeheuerlichen Verschwendung unserer Rohenergievorräte Einhalt zu tun. Das mangelnde Bedürfnis einer rationelleren Verwendung oder einer Einschränkung lässt nur erkennen, wie konkurrenzlos tief der Wärmepreis des Brennstoffes immer noch steht.

Will man den Nutzwärmebedarf unseres Landes im elektrischen Energiemass messen, etwa in der utopistischen Annahme, dass der gesamte hierfür aufgewendete Brennstoff durch Hydroelektrizität zu ersetzen sei, so wäre nach Tabelle 1 je während der Heizperiode, d. h. über ca. 200 Tage des Winterhalbjahres, ein Energiebetrag von rund 6500 Mill. kWh, am Verbrauchsort gemessen, hierfür zu liefern. Die Zahl erläutert die längst bekannte Tatsache, dass wir auch unter Hinzurechnung der noch nicht ausgebauten Kraftnutzungsmöglichkeiten unserer Flüsse und Seen bei weitem nicht in der Lage sind, den Energiebedarf für die gesamte Raumheizung aufzubringen. Hierbei ist die bisher übliche Wärmeerzeugung mittels stromerhitzten Widerstandes angenommen. Ersetzte man diese thermodynamisch primitive Art der Energieumformung durch das

unter der Bezeichnung «Wärmepumpe» bekannte Verfahren, so liessen sich die alsdann in Form von motorischer Kraft erforderlichen Elektrizitätsmengen auf die Hälfte und weniger reduzieren. Wir kommen im 5. Abschnitt auf dieses Problem noch zurück.

Ehe wir nun die energiewirtschaftlichen Verhältnisse der elektrischen Raumheizung näher untersuchen, sollen einige Angaben über die charakteristischen Werte der Raumheizbelastung bekanntgegeben werden.

3. Theoretische Erwägungen und die Erfahrung lehren, dass der Wärmeverlust eines beheizten Raumes oder einer Kombination solcher, unter Vernachlässigung der Wärmeabgabe der Rauminsassen, in der Hauptsache dem Produkt aus der wärmedurchlässigen gesamten Raumumschliessungsfläche und der Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Aussenluft proportional ist. Man kann in guter Annäherung an die wirklichen Verhältnisse hierfür den Ausdruck ansetzen:

$$Q_i = \alpha \cdot k \cdot F \cdot (t_i - t_a) \dots \dots \dots (1)$$

Hiebei ist unter  $Q_i$  der Wärmeverlust pro Zeiteinheit, zum Beispiel pro Stunde, das heisst die im betreffenden Zustand erforderliche Heizleistung verstanden, mit  $F$  die gesamte wärmedurchlässige Raumumschliessungsfläche, mit  $t_i$  die mittlere Raumtemperatur, mit  $t_a$  die Temperatur der Aussenluft, mit  $k$  der Mittelwert der Wärmedurchgangszahl und mit  $\alpha$  ein Faktor, der den tatsächlich auftretenden Veränderungen im Wärmeverlust infolge äusserer Einflüsse wie Windanfall, Sonnenbestrahlung usw. bei unveränderten übrigen Grössen des Ausdrucks Rechnung trägt.

Wenn man sich zur Aufgabe setzt, im Sinne der vorerwähnten Forderungen der Heizungs- hygieniker die Raumtemperatur  $t_i$  für alle möglichen Werte der Aussentemperatur auf dem optimalen Wert konstant zu halten, muss sich nach obigem Ansatz die je erforderliche Heizleistung für ein gegebenes Objekt proportional mit der Aussentemperatur verändern. Die Erfahrung bestätigt im grossen und ganzen diese Regel. Ich verweise als Beleg auf Abb. 55, in der je die 24 stündigen Wärmebeträge eines vom Fernheizkraftwerk der ETH fernbedienten Gebäudeblocks in Funktion der Aussentemperatur aufgetragen sind. Die immerhin bedeutende Streuung der Tagesmittelwerte rührt von dem veränderlichen Faktor  $\alpha$  her, das heisst vom jeweiligen Mehr- oder Minderbedarf an Wärme zufolge Sonnenbestrahlung und Windanfall. Der in Zürich häufig herrschende Föhn bringt eine besondere Unruhe in die Wärmebe-



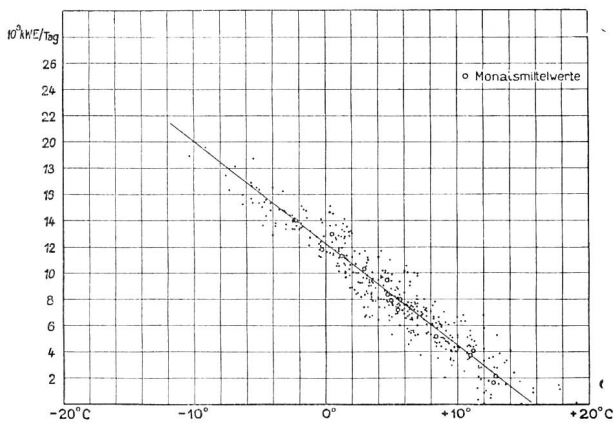


Abb. 55.

dienung unserer Wohnräume. Die maximal erforderliche Heizleistung ist durch die ortsübliche tiefste Aussentemperatur bedingt. Der konventionelle Tiefstwert von  $t_a$  liegt für den nördlichen Teil unseres Landes, je nach dem Bestimmungszweck des zu beheizenden Gebäudes, zwischen  $-15^\circ$  bis  $-20^\circ$ . Hierdurch ist die installierte Wärmeleistung festgelegt.

Um uns nun ein Bild über den zeitlichen Verlauf der Heizleistung und über die damit gegebene erforderliche Heizenergie zu machen, sind in Abb. 56 einige Häufigkeitskurven zum Verlauf der mittleren Tagestemperatur  $t_a$  dargestellt. Die eingetragenen Zahlenwerte entsprechen für die Jahre 1933 und 1934 den Erhebungen des Fernheizkraftwerks am Aufstellungsort der Zentrale in Zürich und für das sogenannte Normaljahr (Tagesmittelwerte aus der Periode 1863 bis 1903) den Angaben der Eidg. Meteorologischen Zentralanstalt. In der gleichen Figur ist für das Jahr 1934 auch der wirkliche Verlauf der mittleren Tagestemperatur aufgezeichnet.

Bildet man in der Graphik für verschiedene Zeitpunkte die Temperaturdifferenz  $t_i - t_a$ , ersterer Wert etwa auf  $+20^\circ$  festgehalten, so stellen die damit gegebenen vertikalen Temperaturabschnitte nach Gleichung (1) direkt ein Mass der je erforderlichen Heizleistung dar. Der Verlauf dieser Grösse ist für die projektierte Fernheizung einer Schweizerstadt in Abb. 57 dargestellt. Der linke Quadrant der Graphik zeigt den angenommenen Zusammenhang zwischen der Aussentemperatur und der erforderlichen Heizleistung. Wie ersichtlich, soll diese bei  $-20^\circ$  Aussentemperatur 30 000 kWh/h betragen. Im rechten Quadrant ist aus der ebenfalls angenommenen Häufigkeitskurve 2 der Aussentemperatur, die Verhältnisse eines strengen Winters darstellend, mit Hilfe der vorgenannten Beziehung die Häufigkeitskurve 3 der beanspruch-

ten Heizleistung ermittelt. Die schraffierte Fläche stellt in Wärmeeinheiten den gesamten Energieaufwand während einer Heizperiode dar. Man erkennt aus dem wirklichen Verlauf der Aussentemperatur 1934 in Abb. 56, wie sich die erforderliche Heizleistung sprunghaft ändern kann. Sie muss selbst innerhalb eines Tages bei Temperaturwechsel um bedeutende Beträge steigen oder fallen, wenn die Raumtemperatur konstant gehalten werden soll. Aus den Abb. 56 und 57 resultiert ferner die sehr schlechte Ausnützung der installierten Heizleistung. In den zwei berücksichtigten meteorologisch nicht abnormalen Jahren 1933 und 1934 ist die Aussentemperatur überhaupt nie unter  $-10^\circ$  gesunken, wogegen die installierte Leistung im Werk und in den versorgten Gebäuden für eine maximale Wärmeabgabe entsprechend  $t_a = -20^\circ$  als hier üblicher konventioneller Tiefstwert angesetzt wurde. Nach den Statistiken der Eidg. Meteorologischen Zentralanstalt hat während der 40jährigen Beobachtungsperiode 1863 bis 1903 der Tagesmittelwert diese untere Grenze in Zürich überhaupt nie erreicht, was allerdings nicht ausschliesst, dass im Verlaufe der kältesten Tage die Aussentemperatur vorübergehend auf  $-20^\circ$  und mehr hat sinken können.

Aus dem Vergleiche des relativen Verlaufs der drei in Abb. 56 eingezeichneten Häufigkeitskurven der Aussentemperatur kann ferner geschlossen

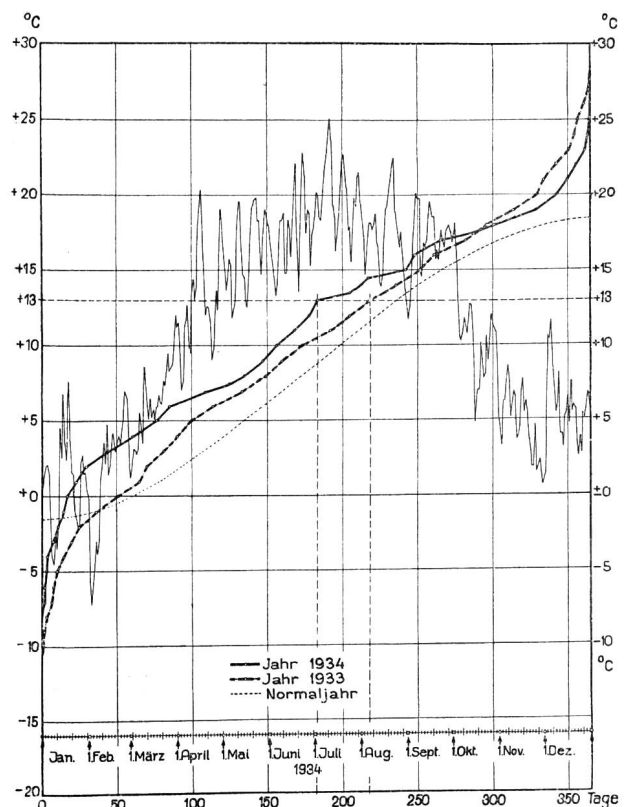


Abb. 56.

werden, dass sich in der 40jährigen Beobachtungsperiode Jahre befinden müssen, in denen die tiefste Aussentemperatur überhaupt nicht unter  $0^{\circ}$  oder nicht wesentlich darunter gedrungen ist, was wiederum ein Beweis ist für die äusserst geringe Häufigkeit des Auftretens von Aussentemperaturen in der Gegend der konventionell tiefsten.

Man kann sich daher die Frage stellen, ob in Zukunft die für die installierte Leistung massgebende konventionelle tiefste Aussentemperatur im Interesse der Einsparung am investierten Kapital nicht etwas höher angesetzt werden sollte, selbst auf die Gefahr hin, dass die Wärmenutzniesser in den seltenen Fällen strenger Winterkälte über einige Stunden oder Tage mit einer geringeren als der vorgesehenen Innenraumtemperatur vorliebnehmen müssten. Der hieraus resultierende wirtschaftliche Vorteil springt besonders für fernversorgte Raumheizungsanlagen in die Augen, indem die Energiezuführungseinrichtungen, sei es die Kabelanlage im Fall der elektrischen Heizung, sei es die Heisswasser- oder Dampfleitung im Fall der eigentlichen Fernheizung, in ihren Kosten in starkem Masse leistungsabhängig sind. Dr. Guimard, Direktor des Sanatoriums in Bligny,<sup>3</sup> Frankreich, wirft die hieher gehörige interessante Frage auf, ob das Festhalten an einer konstanten Raumtemperatur während der Heizperiode einem wirklichen hygienischen Bedürfnis entspricht. Er hat hiebei freilich lediglich die Raumheizung von Sanatorien im Auge. Nach seiner Auffassung sollte sich die Raumtemperatur mit sinkender Aussentemperatur ebenfalls vermindern. Zur Begründung fügt er folgendes an:

«Il n'est point nécessaire d'élever beaucoup la température intérieure d'un sanatorium, et particulièrement dans les temps froids, on doit éviter, par un chauffage intensif, d'arriver à une trop grande différence entre la température extérieure et celle des locaux, chambres, salle à manger, couloirs, où se tiennent les pensionnaires.

Les transitions trop marquées sont plus à craindre pour les malades qui sortent et qui rentrent qu'une insuffisance de chauffage, et le réglage ne doit pas se faire d'après un chiffre moyen à maintenir, quelle que soit l'intensité du froid, mais d'après une différence proportionnelle entre la température du dehors et celle de la maison.

Par exemple, si on admet que  $14$  à  $15^{\circ}$  représentent la température habituelle convenable intérieurement pour une moyenne de  $8$  à  $10^{\circ}$  à l'extérieur, quand on descend à zéro et au-dessous de zéro à l'extérieur, une moyenne de  $8^{\circ}$  à l'intérieur est suffisante et se supporte parfaitement.»

Natürlich hat er hierbei die Meinung, dass gewisse Räume des Sanatoriums, wie Operationssaal,

<sup>3</sup> «La pratique des sanatoriums au sujet du chauffage».

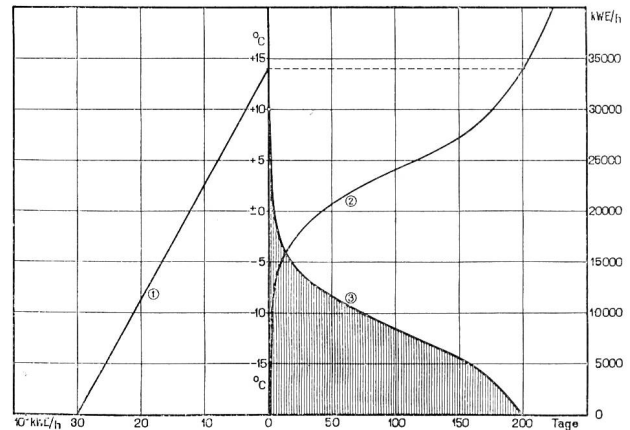


Abb. 57.

Verwaltungsräume usw. auf höheren Temperaturen gehalten werden. Die Anregung ist für das fragliche Anwendungsgebiet und andere ähnliche Fälle gewiss einer ernstlichen Prüfung wert. Es liesse sich damit eine weitere Senkung der installierten Heizleistung erzielen und zugleich eine wesentlich bessere Benutzungsdauer. Diese liegt bei der heute üblichen Heiztechnik in unserem Lande nördlich der Alpen für die Verhältnisse des mittleren Winters zwischen 900 und 1100 h, bezogen auf die installierte Leistung. Sie kann im strengen Winter auf 1200 h und mehr steigen. Für die Projektierungsgrundlagen in Abb. 57 erreicht der Wert 1230 h. Die genannten Werte beziehen sich auf eine konventionell tiefste Aussentemperatur von  $-20^{\circ}$  und eine Raumtemperatur von  $19 \div 20^{\circ}$ . Hiebei ist aber ausdrücklich zu bemerken, dass letztere im allgemeinen nur während der Benutzungszeit der zu beheizenden Räume auf dem Sollwert konstant gehalten wird. Man lässt ausserhalb dieser die Raumtemperatur um so mehr absenken, je höher die Aussentemperatur ausfällt. So bewegt sich für Wohnräume die mittlere Raumtemperatur je nach der Strenge des Wintertages zwischen  $16 \div 19^{\circ}$ . Dementsprechend gestaltet sich auch, wie Abb. 58 zeigt, das Tagesdiagramm der Heizlast. Die dort aufgezeichneten Kurven entsprechen den Registrierstreifen der Wärmefernleitung eines Sektors des Versorgungsnetzes unseres Fernheizkraftwerks. Die vorübergehenden Lastspitzen und -absenkungen rühren vom Spiel der Speicherung im Wärmetransportmittel her.

Aus den vorangegangenen Erörterungen gelangt der Elektrizitätsbetriebsleiter zum Schluss, dass der Raumheizungsanschluss, zunächst rein betrieblich betrachtet, im grösseren Umfange eine nicht unwesentliche Verschlechterung des bisherigen Belastungsdiagramms zur Folge haben müsste. Der gesamte Energiebedarf fällt auf rund 200 Winter-

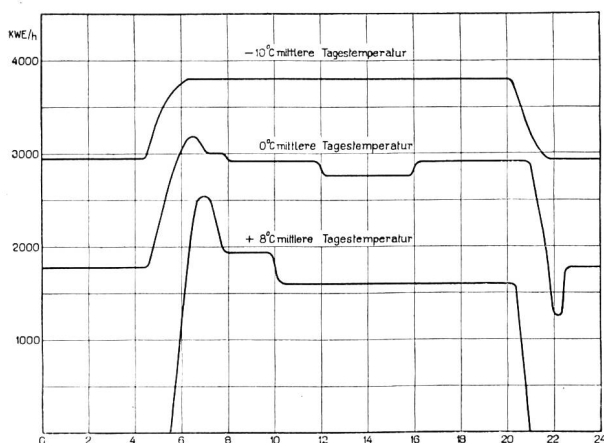


Abb. 58.

tage,<sup>4</sup> wobei sich die höchsten Leistungen je auf sehr wenige Tage beschränken. Im allgemeinen fallen diese auf die Monate Dezember, Januar oder Februar, also in die Zeit niedrigster Wasserführung unserer Alpenflüsse. Für unsere gegenwärtigen schweizerischen Produktionsverhältnisse wird daher zur Deckung der grössten Heizlasten elektrische Energie unserer Speicherwerke herangezogen werden müssen. Während dieser Lieferzeit werden die Tageslastdiagramme etwa nach Massgabe der obersten Kurve in Abb. 58 24stündig durchlaufen. Während 150 ÷ 175 Tagen der Heizperiode erreicht die Heizlast 50 % und weniger der installierten Leistung. Das Gebiet der kleinen Beträge in der Gegend von 25 % und weniger fällt hierbei allerdings bereits in die Uebergangszeit unseres typischen Wasserregimes. Es können daher kleinere Energiebeträge der gesamten Heizarbeit auf die Laufwerke entfallen. Leider verschlechtert sich hierbei gemäss Abb. 58 das Tagesbelastungsdiagramm.

Tabelle 3 gibt einen Einblick in die Verteilung des Netto-Jahreswärmebedarfs auf die einzelnen Monate. Die Verhältnisse gelten für den Platz Zürich.

Die Frage nach der für ein gegebenes Anschlussobjekt erforderlichen installierten Heizleistung ist zahlenmässig schwer in wenigen Worten zu erledigen. Bekanntlich ist die genaue Ermittlung dieser

<sup>4</sup> In Abb. 56 ist die Heizdauer an den Häufigkeitskurven abzulesen, indem dort angenommen wurde, dass bei Aussen-temperaturen über 13° der Heizungsbetrieb eingestellt werden soll. Diese Festsetzung ist der Fernheizungspraxis entnommen. Sie deckt sich nicht ganz mit der Forderung konstanter Innentemperatur auf dem Sollwert 19°. Die Erfahrung lehrt aber, dass der Heizungsbetrieb für höhere Aussen-temperaturen schwer stabil durchzuführen ist, weil die äusseren Umstände wie Windanfall usw. in diesem Temperaturgebiet eine besonders grosse Rolle spielen. Dies zeigt sich auch in der Zusammenstellung der statistischen Werte der Abb. 55.

Tabelle 3.

Verteilung des Netto-Jahreswärmebedarfs auf die einzelnen Monate. Verhältnisse für Zürich ermittelt.

Monat	Mittel aus 1863 ÷ 1903 ‰ <sup>1</sup>	1933 ‰ <sup>2</sup>	1934 ‰ <sup>2</sup>
Januar	18,2	22,0	22,1
Februar	15,1	15,7	18,1
März	13,0	10,5	13,9
April	8,6	5,8	4,5
Mai	4,0	2,5	—
Juni	—	0,8	—
September	1,9	—	—
Oktober	8,6	6,0	8,1
November	13,0	14,2	16,5
Dezember	17,6	22,5	16,8
total	100,0 ‰	100,0 ‰	100,0 ‰
1. Winterhälfte bis 31. Dez.	58,9	58,3	58,6
2. Winterhälfte ab 31. Dez.	41,4	42,7	41,4

<sup>1</sup> Nach den Angaben der Eidg. Meteorolog. Zentralanstalt berechnet.

<sup>2</sup> Betriebsergebnisse des Fernheizkraftwerks der E. T. H.

Grösse Gegenstand einer ziemlich komplizierten, auf Grund der Baupläne und Baumaterialangaben durchzuführenden Wärmetransmissionsrechnung, wobei den klimatischen und meteorologischen Verhältnissen am Aufstellungsort des Gebäudes und anderen massgebenden Faktoren gebührend Rechnung zu tragen ist. Man pflegt in grober Annäherung die installierte Leistung auf den Kubikinhalte des oder der zu beheizenden Räume zu beziehen. Da mit steigender Längendimension eines Raumes die Gesamtfläche der wärmedurchlässigen Raumschliessungswände rascher anwächst als der Rauminhalt, muss die erforderliche Wärmeleistung pro 1 m<sup>3</sup> beheizten Raumes mit wachsendem Inhalt des letzteren abnehmen. Bezieht man indessen die spezifische installierte Wärmeleistung auf den gesamten umbauten Raum des Gebäudes, so lehrt die Erfahrung, dass dieser Betrag alsdann praktisch unabhängig von der Gebäudegrösse, bei gleichem Bestimmungszweck, bleibt. Dies erklärt sich durch den Umstand, dass der beheizte Rauminhalt eines Gebäudes im allgemeinen einen um so grösseren Anteil am totalen umbauten Raum einnimmt, je höher dieser ausfällt.

Für die Klimaverhältnisse der Nordostschweiz bewegt sich die installierte Heizleistung unter Annahme einer konventionellen tiefsten Aussen-temperatur von — 20° zwischen 17 und 22 WE/h/m<sup>3</sup>, bezogen auf den umbauten Raum. Diese Angabe hat rein informatorischen Charakter.

4. Welcher Strompreis kann nun für die elektrische Raumheizung in Frage kommen? Ich be-

handle in der Folge diesen Gegenstand allein vom Standpunkt des Energiebezügers aus, indem ich den dem Brennstoff äquivalenten Einheitspreis elektrischer Energie ermittle, wobei die jährlichen Kapitalkosten der Raumheizungsanlage beim Wärmenutzniesser mitzuberechnen sind. Brennstoffseitig sollen zum Vergleich nur sogenannte Zentralheizungsanlagen für Kohlenfeuerung herangezogen werden. Die nachfolgenden Rechnungen beziehen sich also nicht auf Raumheizungen mit einzelnen in den Räumen aufgestellten Feuerungsstellen. Diese erfordern im allgemeinen einen bedeutend geringeren Kapitalaufwand als die Zentralheizung. Sie werden daher trotz allfällig grösserer unausnützbarer Wärmeverluste an der Feuerungsstelle einen geringeren Äquivalenzpreis der konkurrierenden elektrischen Energie fordern als das erstgenannte Raumheizungssystem. Man kann einwenden, dass die elektrische Heizung betriebstechnische und hygienische Vorteile gegenüber der Zentralheizung biete, welche einen Zuschlag zum Äquivalenzpreis rechtfertigen. Ich lasse diesen in der Folge unberücksichtigt, weil nicht alle Vorzüge, über die man gelegentlich in der Literatur und in den Anpreisungen der Konstruktionsfirmen liest, einer sachlichen Kritik standhalten.

Für die bestmögliche Verwertung hydroelektrischer Energie für die Raumheizung können energiewirtschaftlich folgende Lösungen in Frage kommen:

#### Lösung a.

Einrichtung einer vollelektrischen Heizung durch Aufstellung von einzelnen strombeheizten Wärmespendern (Heizofen) in den zu beheizenden Räumen. Hierbei kann entweder von jedwelcher Wärmespeicherung abgesehen werden (Lösung a<sub>I</sub>), wenn das Lieferwerk kein Gewicht auf eine teilweise Verschiebung des Strombezugs auf die Nachtzeiten legt oder es können die Wärmespendern mit Wärmespeichern ausgerüstet werden (Lösung a<sub>II</sub>), zur vorzugsweisen Entlastung der Tagesspitzen vom Heizbetrieb. Die durch die Wärmespeicher verursachten grösseren Installationskosten drücken aber, wie wir sehen werden, ziemlich erheblich auf den Energiepreis. Es zeigt sich, dass eine vollständige Verschiebung der Strombezugsdiagramme auf die Nachtstunden wirtschaftlich im allgemeinen nicht tragbar ist.

#### Lösung b.

Errichtung einer Zentralheizung mit vollelektrischer zentraler Wärmeerzeugung unter Verwendung von Warmwasser oder Dampf als Wärmetransportmittel. Diese Anordnung bietet gegenüber

der Lösung a heiztechnische Vorteile, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Sie bringt die Möglichkeit grösserer Wärmespeicherfähigkeit durch zentrale Aufstellung von Warmwasser- oder Dampfspeichern. Solche Akkumulier-Einrichtungen sind erfahrungsgemäss meist nur für ausgedehnte Raumheizungsanlagen wirtschaftlich. Auch in diesen Fällen kann nicht über die Tages-speicherung hinausgeschritten werden.

#### Lösung c.

Kombinierte elektrische und Brennstoffheizung zum Zwecke der vorzugsweisen oder ausschliesslichen Verwendung von hydroelektrischer Energie während der Uebergangszeit. Hierzu gehören die vielen heute im Gebrauch befindlichen, nicht ortsfesten Aushilfsheizungen mit meist sehr bescheidener Wärmeleistung. Ihre Anwendung stellt keine ernstliche Lösung des hier gestellten Problems dar. Ich beschränke mich daher in der Folge auf den Fall der Doppelinstallation in der zentralen Wärmeerzeugung, das heisst in der Zuordnung eines elektrischen Warmwasser- oder Dampferzeugers zum Brennstoff-Warmwasser- oder Dampfkessel üblicher Bauart. Die Lösung c unterscheidet sich daher in der Wärmeverteilung und der Wärmespenden durch nichts von der Lösung b.

Ermittlung des Äquivalenzpreises der elektrischen Energie einer vollelektrifizierten Raumheizungsanlage nach Lösung a) oder b) im Vergleich zur Brennstoff-Zentralheizungsanlage gleicher Leistung.

Der Wärmebedarf sei gekennzeichnet durch die installierte Heizleistung  $Q_1$  in kWE/h, den gesamten Wärmebedarf  $Q$  in kWE während der Heizperiode und die hieraus resultierende Benützungsdauer  $T$  gemäss der Beziehung

$$Q = Q_1 \cdot T.$$

In den nachfolgenden Bezeichnungen bezieht sich der Index  $b$  auf die Brennstoffanlage, der Index  $e$  auf die elektrische Anlage.

Es bedeuten:

- $K_b, K_e$  die in den Wärmeerzeugern, der Verteilanlage und den Wärmespendern investierten Kapitalien in Franken.
- $p_b, p_e$  die Jahresquote für den Kapitaldienst inkl. Betriebsüberwachung, Reparaturen und Unterhalt als Verhältniszahl relativ zum Kapitalbetrag.
- $\eta_b, \eta_e$  den mittleren Betriebswirkungsgrad der Wärmeerzeugung und Fortleitung für eine Heizperiode.
- $T_b, T_e$  die Benützungsdauer der installierten Heizleistung in h.
- $C_b$  den Brennstoffpreis in Fr. loco Kohlenbunker, pro Tonne.
- $h$  den Heizwert des Brennstoffes in kWh pro 1 t.
- $C_e$  den Strompreis in Fr. pro 1 kWE loco Hauszähler.
- $k_b, k_e$  die gesamten Jahreskosten der Heizanlage in Franken während einer Heizperiode.

Die Jahreskosten als Summe der festen Kapitalkosten und der Brennstoff- bzw. Energieausgaben lassen sich für die beiden Fälle wie folgt anschreiben:

im Fall des Zentralheizungsbetriebs:

$$k_b = p_b \cdot K_b + \frac{Q_1}{\eta_b} \cdot \frac{C_b}{h} \cdot T \dots \dots \dots (2)$$

im Fall des elektrischen Betriebs:

$$k_e = p_e \cdot K_e + \frac{Q_1}{\eta_e} \cdot \frac{C_e}{0,86} \cdot T \dots \dots \dots (3)$$

Soll die elektrische Raumheizung nicht teurer zu stehen kommen als der Brennstoffbetrieb, so muss sein:

$$k_b = k_e$$

Wir setzen zur Vereinfachung  $p_e = p_b = p$  und erhalten

$$p \cdot K_b + \frac{Q_1}{\eta_b} \cdot \frac{C_b}{h} \cdot T = p \cdot K_e + \frac{Q_1}{\eta_e} \cdot \frac{C_e}{0,86} \cdot T$$

woraus folgt

$$C_e = \frac{\eta_e}{\eta_b} \cdot \frac{0,86 C_b}{h} + \eta_e \cdot \frac{0,86 \cdot p}{T} \left( \frac{K_b}{Q_1} - \frac{K_e}{Q_1} \right) \dots \dots \dots (4)$$

Für die Lösung a) bedeutet  $K_e/Q_1$  die spezifischen Erstkosten pro 1 kWE/h installierter Heizleistung für den elektrischen Hausanschluss, das Verteilnetz, die Wärmespeicher mit event. Speichern mit zugehörigem elektrischem Apparatmaterial.  $\eta_e$  kann bei diesem Betrieb zu 1 angesetzt werden.  $K_b/Q_1$  stellt die spezifischen Installationskosten der Zentralheizung dar, inkl. Heizkessel und Zubehör.  $\eta_b$  umfasst die Verluste im Kessel und in der Verteilanlage, soweit solche für die Wärmenutzung verloren sind.

Für die Lösung b) sind Verteilanlage und Wärmespeicher in beiden Fällen, Brennstoff und Elektrizität, dieselben.  $K_e/Q_1$  und  $K_b/Q_1$  verstehen sich daher lediglich für die respektiven Wärmeerzeugungs-Einrichtungen. In gleichem Sinne sind  $\eta_b$  und  $\eta_e$  zu deuten. Der im Vergleich zum Zentralheizungskessel sehr hohe mittlere Wirkungsgrad des elektrischen Warmwasser- oder Dampferzeugers mag gestatten, auch in diesem Fall  $\eta_e \approx 1$  zu setzen. Gleichung (4) nimmt damit die Form an:

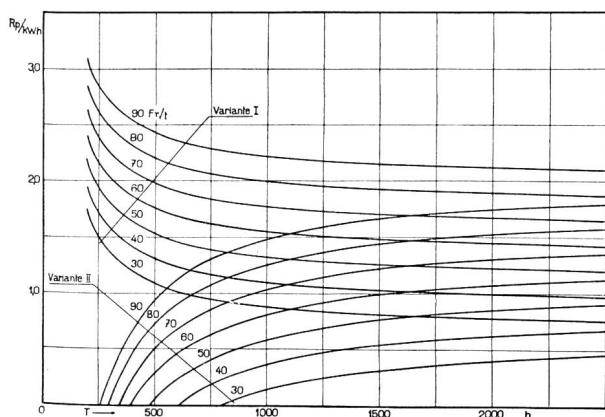


Abb. 59.

$$C_e = \underbrace{\frac{0,86 C_b}{\eta_b \cdot h}}_A + \underbrace{\frac{0,86 p}{T} \left( \frac{K_b}{Q_1} - \frac{K_e}{Q_1} \right)}_B \dots \dots \dots (5)$$

Die Analyse dieser Beziehung lässt folgendes erkennen: Der äquivalente Strompreis setzt sich aus einem Brennstoffteil A plus einem Kapitalteil B zusammen. Zur Erzielung eines für das Lieferwerk möglichst günstigen Ergebnisses sollten A und B gross sein. In dieser Richtung wirken strompreiserhöhend: hoher Wärmepreis, schlechter Kesselwirkungsgrad, grosser Ueberschuss der Erstellungskosten der

Zentralheizungsanlage gegenüber der elektrischen Installation. In letzterem Fall ist der Umstand interessant, dass sich der Anteil B mit abnehmender Benützungsdauer T vergrössert. Für das Elektrizitätswerk bieten unter dieser Voraussetzung Raumheizanlagen geringer Benützungsdauer, wie sie in Gegenden mit mildem Klima erforderlich sind, besonderes Interesse. Die Verhältnisse kehren sich ins Gegenteil um für den Fall  $K_e > K_b$ . Hier erfordert die Elektrifizierung eine möglichst hohe Benützungsdauer. Im Spezialfall  $K_e = K_b$  spielt die Benützungsdauer überhaupt keine Rolle. Zur Illustration über die geschilderte Auswirkung der Beziehung (5) ist die Lösung a) für einen praktischen Fall (Miethaus mit 4 Etagen zu 5 Zimmern) mit folgenden Grundlagen durchgerechnet worden.

Installierte Heizleistung

bei  $-20^\circ \text{C}$

Elektrische Anschlussleistung

Benützungsdauer

$Q_1 = 60 \text{ kWE/h}$

$P_e = 70 \text{ kW}$

T variierend von

$250 \div 2500 \text{ h}$

Kapitalaufwand:

für Zentralheizung: Kessel und Hausinstallation

für elektrische Einrichtung:

Variante I:

billige Wärmespeicher ohne

Speicherung inkl. Verteilnetz

Variante II: gute Ausführung

mit Speicherefähigkeit

für Nachtenergie

Jahresquote angenommen zu

Betriebswirkungsgrad der Zentral-

heizung für alle T konstant an-

genommen zu

Brennstoffheizwert

Brennstoffpreis

$K_b = 9000 \text{ Fr.}$

$K_b/Q_1 = 150 \text{ Fr.}$

$K_{eI} = 7500 \text{ Fr.}$

$K_{eI}/Q_1 = 125 \text{ Fr.}$

$K_{eII} = 12750 \text{ Fr.}$

$K_{eII}/Q_1 = 214 \text{ Fr.}$

$p = 0.1$

$\eta_b = 0.55$

$h = 7000 \text{ kWE/t}$

$C_b$  variierend von

$30 \div 90 \text{ Fr./t.}$

Die Resultate sind in Abb. 59 zusammengestellt. Einige Werte hievon enthält Tabelle 4.

Tabelle 4.

Äquivalente Strompreise für elektrische Vollheizung  
 $Q_1 = 60 \text{ kWE/h}$  (Lösung a).

Brennstoffpreis $C_b$	Strompreis $C_e$					
	Variante I			Variante II		
	800 h	1000 h	1200 h	800 h	1000 h	1200 h
Fr./t	Rp./kWh	Rp./kWh	Rp./kWh	Rp./kWh	Rp./kWh	Rp./kWh
40.—	1,16	1,10	1,07	0,23	0,36	0,45
50.—	1,38	1,33	1,29	0,46	0,59	0,67
60.—	1,60	1,55	1,52	0,68	0,81	1,10
70.—	1,82	1,77	1,73	0,90	1,03	1,12

Es zeigt sich, dass im Bereich der in unserem Land in Frage kommenden Werte der Benützungsdauer zwischen 800 und 1200 h der Brennstoffteil des Äquivalenzpreises grösseres Gewicht hat als der Kapitalteil. Hiebei ergeben die zur Zeit bei uns etwa geltenden Brennstoffpreise zwischen 40 : 70 Fr./Tonne Koks ausserordentlich tiefe Äquivalenzpreise für die erforderliche Winter-Tag- und Nacht-Energie, wobei zu berücksichtigen ist, dass in vielen Fällen eine Verstärkung der Zuleitung zum Hausanschluss nicht zu umgehen sein wird. Die Variante II entlastet das Werk von der Lieferung von Tagesspitzenenergie. Der allfällige betriebliche Vorteil wird aber in unserem Beispiel ziemlich teuer erkaufte. Bei



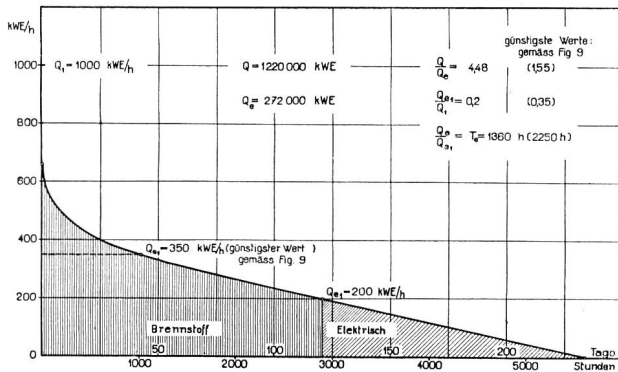


Abb. 60.

starker Durchmischung der hydraulisch erzeugten Lieferenergie mit Strom aus Speicherwerken dürfte der Verzicht auf die Wärmespeicherung (Variante I) die günstigere Lösung darstellen. Für Betriebe mit ausschliesslich thermischer Elektrizitätserzeugung kann umgekehrt die II. Variante wirtschaftlicher sein, weil bei der werkseitigen Bewertung des erzielbaren Äquivalenzpreises die Verringerung der erheblichen Kesselverluste zu Zeiten schwacher Werklast mit ins Gewicht fällt.

**Ermittlung des Äquivalenzpreises der elektrischen Energie einer kombinierten Brennstoff-Elektrizitäts-Raumheizungsanlage nach Lösung c im Vergleich zur Zentralheizungsanlage gleicher Leistung mit reinem Brennstoffbetrieb.**

Die Grundlagen der Rechnung sind jene des vorbehandelten Falls. Der Kostenvergleich kann sich hierbei, wie für Lösung b), auf die Wärmeerzeugungsanlage beschränken. Es sei daher auch hier mit  $\eta_e \approx 1$  gerechnet. Der elektrische Betrieb setzt im Grundsatz nur in den Uebergangszeiten ein. Seine Anschlussleistung  $Q_{e1}$  ist daher kleiner als die installierte Heizleistung  $Q_1$ . Der Brennstoffkessel arbeitet allein im Bereiche der grösseren Heizlasten, deren Maximum er in jedem Fall zu übernehmen hat. Seine grösste Leistungsfähigkeit verbleibt daher auf  $Q_1$ . Hingegen hat sich die Benützungsdauer dieser Leistung verringert, dafür ist der mittlere Wirkungsgrad gestiegen. Der kombinierte Betrieb ist durch die folgenden Beziehungen umschrieben:

$$Q = Q_b + Q_e$$

$$Q_1 \cdot T = Q_1 \cdot T_b + Q_{e1} \cdot T_e$$

Die Jahreskosten des reinen Brennstoffbetriebs als Vergleichsbasis sind durch Gleichung 2 festgelegt. Sie sollen nicht höher sein als jene des kombinierten Betriebs. Für den äquivalenten Strompreis gilt daher die Beziehung:

$$k_b = k'_b + k_e \quad \text{wobei}$$

$$k_b = p \cdot K_b + \frac{Q_1}{\eta_b} \cdot \frac{C_b}{h} \cdot T \quad (\text{Kosten des reinen Brennstoffbetriebs})$$

$$k'_b = p \cdot K_b + \frac{Q_1}{\eta'_b} \cdot \frac{C_b}{h} \cdot T_b \quad (\text{Kosten des kombinierten Betriebs, Brennstoffanteil})$$

$$k_e = p \cdot K_e + Q_{e1} \cdot \frac{C_e}{0,86} \cdot T_e \quad (\text{Kosten des kombinierten Betriebs, elektr. Anteil}).$$

Durch Einsetzen dieser Ausdrücke in obige Kostengleichung gewinnt man nach einigen Umformungen den Äquivalenzpreis zu:

$$C_e = \underbrace{\frac{0,86 C_b}{\eta_b \cdot h}}_A \cdot \underbrace{\left\{ \frac{\eta_b}{\eta'_b} + \frac{Q}{Q_e} \left( 1 - \frac{\eta_b}{\eta'_b} \right) \right\}}_f - \underbrace{\frac{0,86 p}{T_e} \cdot \frac{K_e}{Q_{e1}}}_{B} \dots (6)$$

Der Vergleich mit der Beziehung (5), für Lösung a) gültig, zeigt den gleichen Brennstoffteil A, jedoch mit einem Faktor  $f$  multipliziert, der den Einfluss der Veränderung im mittleren Wirkungsgrad des Brennstoffkessels durch den kombinierten Betrieb zum Ausdruck bringt. Im Kapitalteil B des Äquivalenzpreises treten hier nur die spezifischen Erstellungskosten der elektrischen Ergänzungsanlage auf. Zur Erzielung eines möglichst günstigen Äquivalenzpreises müssen bei gegebenem A der Faktor  $f$  möglichst gross und die Position B möglichst klein ausfallen. In beiden Ausdrücken spielt das gewählte Verhältnis  $Q/Q_e$ , das ist der relative Anteil der elektrisch erzeugten Wärme am gesamten Wärmebedarf, eine Rolle und zwar im Faktor  $f$  direkt und in B durch die hieraus resultierende Benützungsdauer  $T_e$  der elektrischen Anschlussleistung  $Q_{e1}$ . Der Zusammenhang dieser Grössen ist allein durch den charakteristischen Verlauf der Bedarfskurve der Heizleistung bedingt. Wir haben diese in Abb. 60 als Häufigkeitskurve eines Netzsektors des Fernheizkraftwerks mit 1000 kWe/h installierter Leistung für den

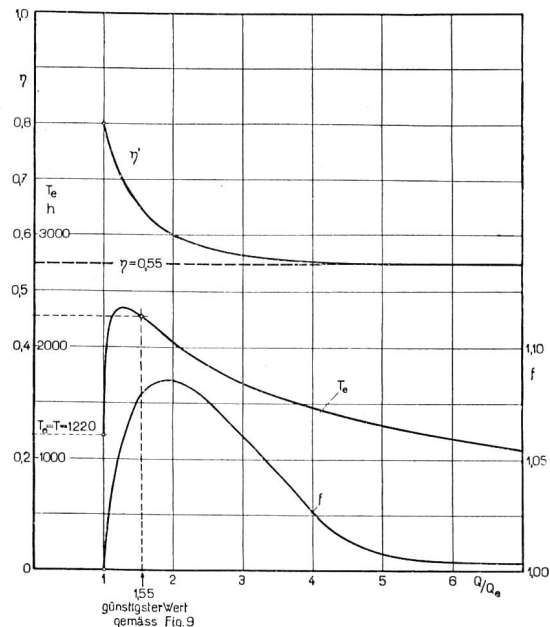


Abb. 61.

Winter 1934 aufgetragen und darin zunächst aufs Geratewohl eine bestimmte elektrische Leistung  $Q_{e1} = 200$  kWe/h herausgegriffen. Die zugehörigen Werte von  $Q/Q_e$  und  $T_e$  sind in die Graphik eingetragen.

Welches Verhältnis von  $Q/Q_e$  ergibt nun aber den günstigsten Äquivalenzpreis? Ueber die Entwicklung von  $T_e$  und  $f$  gibt vorerst die Abb. 61 Aufschluss, deren Werte auf Grund der Häufigkeitskurve in Abb. 60 errechnet worden sind. Man erkennt, dass die Benützungsdauer  $T_e$  der elektrischen Anschlussleistung, vom Grenzwert  $T_e = T$  ausgehend, rasch ansteigt und jene der installierten Heizleistung wesentlich übersteigen kann. Der optimale Wert liegt in unserem Beispiel bei 2350 h, wogegen  $T$  nur 1220 Stunden erreicht. Mit grösser werdendem Verhältnis von  $Q/Q_e$  nimmt  $T_e$  wieder ab, um schliesslich unter den Wert  $T$  zu sinken. Die Analyse der Beziehung (6) und die nachfolgenden Erörterungen lassen erkennen, dass der günstigste Äquivalenzpreis nicht mit dem Maximum von  $T_e$  zusammenfällt. Um einen Einblick in den Verlauf des Faktors  $f$  zu bekommen, sind in Abb. 61 die mutmasslichen Veränderungen des Brennstoffkessel-Wirkungsgrades für verschiedene Verhält-

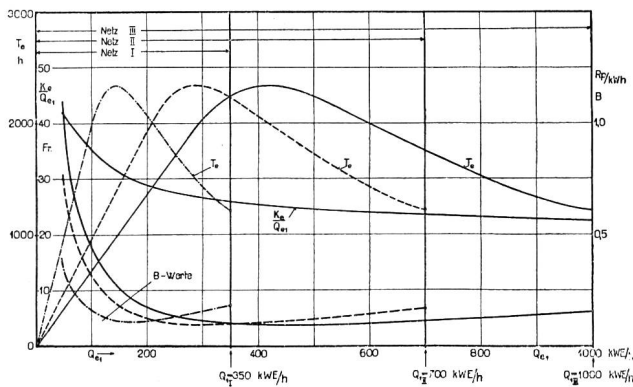


Abb. 62.

nisse von  $Q/Q_e$  aufgetragen und hieraus mit Hilfe der Gleichung (6) die respektiven Werte für  $f$  errechnet worden. Der Verlauf dieser  $\eta'$ -Kurve mag etwas willkürlich sein. Bei gegebenen Verhältnissen sind genauere Studien hierüber notwendig. Hier genügt der Nachweis, dass der Faktor  $f$  mit Ausnahme der Grenzwerte  $Q/Q_e = 1$  u.  $Q/Q_e = \infty$  immer grösser als 1 ist. Er erreicht in unserem Beispiel den Maximalwert von 1.085 bei  $Q/Q_e \approx 2$ . Der Brennstoffteil des äquivalenten Strompreises vergrössert sich also bei diesem Verhältnis um 8.5 % gegenüber dem entsprechenden Wert der Lösung a.

Einer besonderen Betrachtung bedarf noch der Einfluss der gewählten elektrischen Anschlussleistung auf den Kapitalteil B des Äquivalenzpreises. Zu diesem Zwecke ist die Kenntnis der spezifischen Erstellungskosten elektrischer Wärmeerzeugungsanlagen für Zentralheizungen erforderlich. In der Tabelle 5 sind die heute in unserem Lande etwa gültigen Kosten für Heizleistungen von 50 ÷ 500 kW/h eingetragen. Sie betreffen Warmwasserkessel mit Heizwiderstand für Niederspannung bis etwa 200 kW/h und darüber hinaus solche für Hochspannung, als sog. Durchlaufkessel ausgebildet. Die Preise enthalten die Kosten für den eigentlichen Warmwassererzeuger einschliesslich die Armaturen und Anschluss-Rohrleitungen und die zugehörige elektrische Schaltanlage. Sie stammen von projektierten und ausgeführten Anlagen her und sind als ausgeglichene Mittelwerte zu verstehen.

Tabelle 5.

Ungefähre spezifische Erstellungskosten kompletter elektrischer Warmwasser-Erzeugungsanlagen für die Raumheizung:

Anschlussleistung $Q_{e1}$ in kW/h	50	100	150	200	300	400	500
Anschlussleistung in kW	60	120	180	240	360	480	600
Erstellungskosten ohne Mauerwerk in Fr.	2100	3600	4650	5800	8100	10400	12500
Spezifische Erstellungskosten $K_e/Q_{e1}$ in Fr. ca.	42	36	31	29	27	26	25

Abb. 62 zeigt den Verlauf dieser  $K_e/Q_{e1}$ -Werte in graphischer Darstellung, wobei über die Leistung von 500 kW/h hinaus extrapoliert wurde. Mit Hilfe dieser Beziehung sind nun in der genannten Abb. für drei verschiedenen grosse Heiznetze, I, II, III, die Werte des Anteiles B des Äquivalenzpreises mit Hilfe der entsprechenden  $T_e$ -Kurven, nach Gleichung (6) berechnet, dargestellt. Wie ersichtlich, zeigen diese B-Werte je ein Minimum. Die Untersuchung lässt als

wesentliches Ergebnis erkennen, dass bei Wahl relativ zu kleiner elektrischer Anschlussleistungen oder zu grosser Quotienten  $Q/Q_e$  der Kostenanteil B in Gleichung (6) zu grosse Werte annimmt und dadurch den äquivalenten Energiepreis stark reduziert. Dies folgt besonders deutlich aus der Graphik in Abb. 63, in der für das Heiznetz III mit einer installierten Heizleistung von 1000 kW/h der äquivalente Energiepreis für verschiedene Brennstoffpreise in Funktion der elektrischen Anschlussleistung aufgetragen ist. Der Berechnungsgang ist im oberen Teil der Abb. 63 erläutert. Man erkennt dort die Veränderung des Brennstoffteils A durch den Faktor  $f$  und die Bildung des resultierenden Äquivalenzpreises durch Subtraktion der Position B vom Werte  $A \cdot f$ . Der optimale Äquivalenzpreis liegt in unserem Beispiel bei etwa 350 kW/h bei einer elektrischen Anschlussleistung von 35 % der installierten Heizleistung. Der zugehörige Quotient  $Q/Q_e$  erreicht hierbei den Wert 1.55. Vergrössert man die elektrische Anschlussleistung, so verringert sich der Strompreis nur in geringem Masse. Das Elektrizitätswerk hat aber selbstverständlich kein Interesse an einer solchen Massnahme, weil aus ihr nur eine unnötige Strombelastung der Energiezuführungsanlagen erwächst und man im übrigen Gefahr läuft, mit der elektrischen Ergänzungsenergie in die höheren Heizlasten, d. h. in die eigentlichen Wintermonate zu geraten. Eine Verkleinerung der elektrischen Anschlussleistung unter den optimalen Wert lässt, wie Abb. 63 zeigt, den Äquivalenzpreis sehr rasch sinken. Man hat daher von Fall zu Fall die Verhältnisse genau zu prüfen.

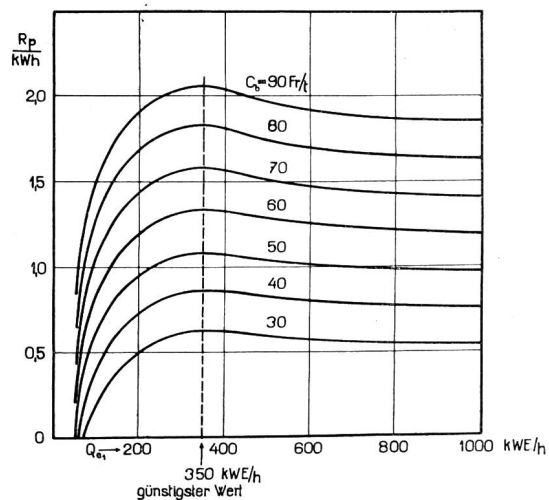
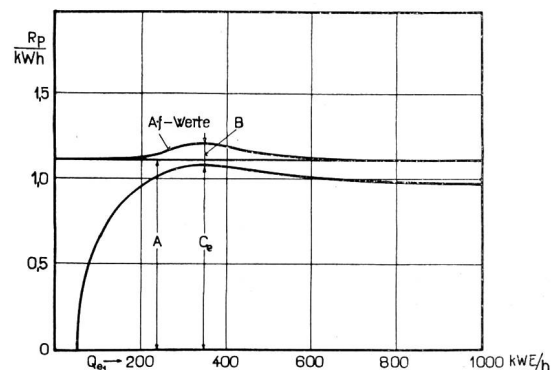


Abb. 63.

Im übrigen zeigt sich auch in der vorliegenden Rechnung, wie für die Lösung a, der überwiegende Einfluss des Brennstoffteils A gegenüber dem Kapitalteil B. In der folgenden Tabelle 6 sind die Äquivalenzpreise für einige Werte

von  $C_b$  und  $Q_{e1}$  aus dem behandelten Beispiel zusammengestellt.

Tabelle 6.

Aequivalente Strompreise für elektrische Ergänzungsheizung in Kombination mit Brennstoffkessel.

(Lösung c)

$$Q_1 = 1000 \text{ kWE/h} \quad T = 1200 \text{ h}$$

$\frac{Q_{e1}}{Q_1}$	$Q_{e1}$ kWE/h	$T_e$ h	$P_e$ kW	$A$ kWh x 1000	Brennstoffpreis $C_b$ in Fr./t			
					40	50	60	70
					$C_e$ Rp./kWh	$C_e$ Rp./kWh	$C_e$ Rp./kWh	$C_e$ Rp./kWh
0.15	150	965	180	173	0.64	0.86	1.10	1.30
0.35	350	2240	415	930	0.85	1.10	1.34	1.59
0.55	550	2180	650	1410	0.82	1.04	1.28	1.50
0.75	750	1650	900	1480	0.78	1.00	1.22	1.44

Nach gleichem Verfahren ist auch das Rechnungsbeispiel für die Lösung a,  $Q_1 = 60 \text{ kWE/h}$ , als kombinierte Heizung entworfen, durchgerechnet worden. Unter Zugrundelegung der gleichen Häufigkeitskurve mit  $T = 1220 \text{ h}$  und in der, allerdings nicht streng gültigen Annahme gleichen Verlaufs der  $\eta'$ -Kurve liegt die optimale elektrische Anschlussleistung mit  $21 \text{ kWE/h}$  ebenfalls bei 35 % der installierten Heizleistung. Für  $C_b = 50 \text{ Fr./t}$  und  $K_e/Q_{e1} = 70 \text{ Fr}$  ergibt sich hierbei ein Aequivalenzpreis von  $0.95 \text{ Rp./kWh}$ .<sup>5</sup> In Tabelle 7 ist dieser Wert den entsprechenden der Lösung a, der Tabelle 4 entnommenen, gegenübergestellt.

Tabelle 7.

Aequivalenzpreis für die drei Lösungen a<sub>I</sub>, a<sub>II</sub> und c.

Raumheizung  $Q_1 = 60 \text{ kWE/h}$ ,  $T = 1200 \text{ h}$ ,

$C_b = 50 \text{ Fr./t}$ .

Lösung	$Q_{e1}$ kWE/h	$P_e$ kW	$T_e$ h	$A$ kWh	$C_e$ Rp./kWh
a <sub>I</sub> : Vollelektrisch ohne Speicher	60	70	1200	84000	1.29
a <sub>II</sub> : Vollelektrisch mit Tagesspeicher	60	70	1200	84000	0.57
c: kombinierte Heizung mit elektrischem und Brennstoffbetrieb	21	25	2240	56000	0.95

Der Vergleich ist insofern wertvoll, weil er darlegt, dass die kombinierte Heizung bei richtiger Wahl der elektrischen Anschlussleistung relativ zur totalen Heizleistung energiewirtschaftlich der Lösung mit vollelektrischer Heizung ohne Speicher jedenfalls sehr wenig nachsteht und jener unter Verwendung von Wärmespeichern für die bevorzugte Verwendung von Nachtstrom überlegen ist. Der grösste Teil ihres Energiebedarfs, wenn nicht der ganze Betrag, fällt in die Uebergangszeit unseres typischen Wasserregimes. Von wesentlicher Bedeutung ist auch die Entlastung des elek-

trischen Versorgungsnetzes von der vollen Heizspitze, indem im Falle der kombinierten Heizung nur ein Bruchteil der maximalen Heizleistung, in unserem Beispiel 35 %, elektrisch erzeugt werden muss. Bei der vollelektrifizierten Raumheizung müssen hingegen die Energiezuführungseinrichtungen für die volle installierte Heizleistung ausreichen.

Die vorliegenden Erwägungen und Fingerzeige für die Erzielung eines möglichst günstigen Aequivalenzpreises können alle nicht über die Erkenntnis hinwegtäuschen, dass die elektrische Raumheizung auf dem eingeschlagenen Wege für die schweizerische Elektrizitätswirtschaft, wie eingangs schon gesagt, ein ausserordentlich schlechtes Geschäft darstellt. Lässt man auch in Erwartung einer künftigen Festigung des internationalen Kohlenmarktes den Wärmepreis in unserem Lande selbst auf einen gegenüber heute um  $30 \div 50 \%$  höheren Betrag steigen, so wird dadurch der Anreiz zur allgemeinen Inangriffnahme des Raumheizungsproblems für die Elektrizitätswerke nicht wesentlich gefördert. Dass eine allfällige Senkung der Erstellungskosten der elektrischen Heizungsanlage nicht von ausschlaggebender Bedeutung ist, haben wir in unserer Studie bereits nachgewiesen. Will man daher die elektrische Raumheizung weiter verfolgen, so ist eine grundsätzlich andere, durch die Wissenschaft längst vorgezeichnete Lösung nunmehr ernstlich zu prüfen und durchzuprobieren. Ich denke hier an die Raumheizung mit Hilfe der Wärmepumpe unter Verwendung von Elektrizität in Form von motorischer Kraft. Es kann heute freilich noch nicht gesagt werden, ob die nach dieser Richtung aufzunehmende Forschungsarbeit zu einem wirtschaftlich besseren Resultat führt.

5. Es ist schon im zweiten Abschnitt auf die Energieverschwendung hingewiesen worden, die dadurch erwächst, dass wir mit den gegenwärtigen Heizungssystemen die erforderlichen Nutzwärmemengen stets neu schaffen durch Umformung aus anderen Energieträgern (Brennstoff, Elektrizität), um sie ungenützt in das ungeheure Wärmemeer abfliessen zu lassen, das uns mit der Umwelt als Wärmeträger umgibt. Da wir Wärme zur Raumheizung brauchen, warum sollten wir sie nicht aus diesem Vorrat schöpfen? Die Wärmelehre hat den hiefür einzuschlagenden Weg im Prinzip im zweiten Hauptsatz bereits ausgesprochen. Das Theorem besagt, dass freilich Wärme nicht von selbst von einem kälteren Körper zu einem wärmeren übergehen kann, dass aber durch Aufwand mechanischer Arbeit das Hochheben einer bestimmten Wärmemenge niedrigen Temperaturzustandes in einen höheren möglich ist. In dem hiezuh erforderlichen Wärmekreislauf des zwischen geschalteten Arbeitsmediums fällt die benötigte

<sup>5</sup> Für das oben behandelte grosse Netz mit  $Q_1 = 1000 \text{ kWE/h}$  steigt er bei gleichem Kohlenpreis und  $Q_{e1} = 35 \%$  auf  $1.10 \text{ Rp./kWh}$ . Er ist also nur 18 % höher, obwohl die spezifischen Erstellungskosten für diese grosse Anschlussleistung ( $350 \text{ kWE/h}$ ) wenig mehr als einen Drittel der obigen betragen (Fr. 26.50/kWE/h). Darin liegt wieder ein zahlenmässiger Beweis für den geringen Einfluss der Kapitalkosten auf den Aequivalenzpreis.

mechanische Arbeit selbst auch in Form nutzbarer Wärme an. Der Raumheizung werden daher nach diesem Prinzip zwei Wärmebeträge verschiedener Herkunft zugeführt: Die vom Umweltvorrat eingebrachte «hochgehobene» Wärmemenge und der durch Umwandlung der mechanischen Arbeit gewonnene Betrag. Der thermodynamische Gewinn gegenüber der elektrischen Stromwärmeheizung liegt zunächst im Umstande, dass die erforderliche elektrische Arbeit, in Wärmeeinheiten gemessen, um den Betrag der von aussen eingeführten Wärmemengen kleiner sein darf, als der gewünschte gesamte Heizwärmebedarf. Dann aber ist von Bedeutung, dass die elektrische Energie zur Umformung in mechanische Arbeit gebraucht wird, eine Energieform, in der ihr der Brennstoff weniger gefährlich ist.

Die technische Durchführung dieses Prinzips ist freilich nicht so einfach wie jene der bisherigen Heizungssysteme. Man bedarf eines Wärmetransportmediums zwischen den Trägern der Umweltwärme und der Raumwärme, dessen Temperatur im Bereich der ersteren durch Expansion tief genug gebracht werden muss, um Wärmebeträge von aussen aufzunehmen, und dessen Temperatur im Bereiche der Raumwärme mittels Kompression auf einen genügend hohen Wert zur Wärmeabgabe an die Raumluft gesteigert werden kann. An Stelle der Raumluft kann ein zwischengeschalteter sekundärer Wärmeträger, wie zum Beispiel das Zirkulationswasser der Zentralheizung treten.

Der Arbeitsvorgang vollzieht sich daher theoretisch<sup>6</sup> nach dem umgekehrten Carnot-Kreislauf. Als Arbeitsflüssigkeit sind jene in den Kälteanlagen gebräuchlichen zu verwenden, also zum Beispiel Ammoniak oder Methyl-Chlorid. Wir haben unter

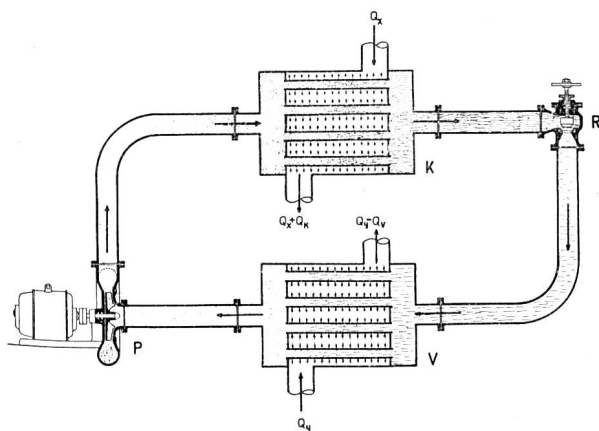


Abb. 64.

<sup>6</sup> d. h. in der Annahme, dass die Kompression ohne Dampf-überhitzung, die Expansion ohne Unterkühlung der Flüssigkeit stattfindet, und dass im Kreisprozess keine nutzbare Wärme nach aussen verlorengelht.

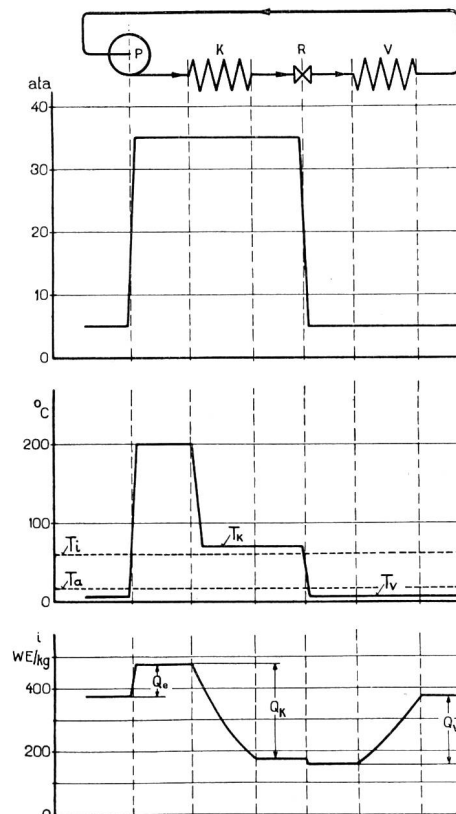


Abb. 65.

Annahme des erstgenannten Transportmediums die Energiebilanz einer solchen Heizungsanlage für ein Netz von 1000 kWE/h installierter Leistung für verschiedene Betriebsannahmen durchgerechnet.

In den Abb. 64 und 65 ist das Prinzip schematisch dargestellt.  $P$  bezeichnet den elektromotorisch angetriebenen Kompressor, der die Arbeitsflüssigkeit in Dampfform bei niedrigem Druck und niedriger Temperatur ansaugt und sie unter Verbrauch der mechanischen Arbeit  $Q_e$ , in Wärmeeinheiten gemessen, auf hohen Druck und hohe Temperatur bringt. Im Kondensator  $K$  wird die dem Arbeitsmedium innewohnende Überhitzungs- und Verdampfungswärme  $Q_k$  durch die Kühlflüssigkeit weggeführt, insofern deren Vorlauftemperatur  $T_i$  unter jener, dem Sättigungsdruck des Mediums entsprechenden Temperatur  $T_k$  liegt. Der spezifische Wärmeinhalt  $Q_e$  der Kühlflüssigkeit beim Eintritt wird dadurch um den Betrag  $Q_k$  beim Austritt vergrößert. Die Kühlflüssigkeit kann daher bei geeigneten Verhältnissen als Wärmeträger für die Raumheizung in geschlossenem sekundärem Zirkulationsweg verwendet werden. Durch den Entzug der Überhitzungs- und Verdampfungswärme verflüssigt sich das Arbeitsmedium im Kondensator unter Beibehaltung des Sättigungsdrucks. Im Reduzierventil  $R$  tritt nun eine Druckentspannung ein, wodurch sich auch die Temperatur der Flüssigkeit senkt. Fällt die Temperatur  $T_v$  des

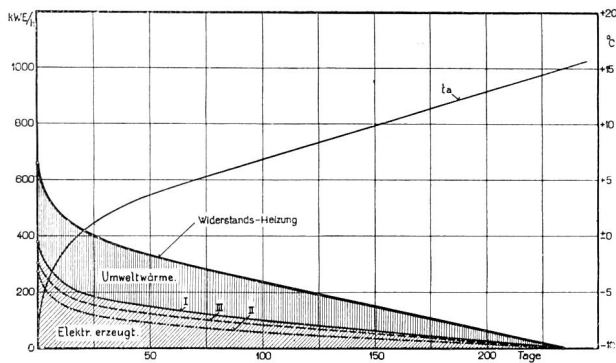


Abb. 66.

Arbeitsstoffes im Verdampfer  $V$  unter die herrschende Aussentemperatur  $T_a$ , mit welcher ein zweiter Wärmeträger (Luft oder Wasser) den Verdampfer durchströmt, so wird die Arbeitsflüssigkeit Wärme von letzterem, das heisst von aussen aufnehmen. Sie verdampft hiedurch unter Beibehaltung des nach dem Reduzierventil herrschenden Sättigungsdrucks. Der von aussen in den Verdampfer eingeführte Wärmeträger verliert hiebei von seinem ursprünglichen spezifischen Wärmeinhalt  $Q_{el}$  den Betrag  $Q_v$ , welcher der Verdampfungswärme der Arbeitsflüssigkeit entspricht. Abb. 65 zeigt die rechnerisch ermittelte Zustandänderung eines kg Ammoniak beim Durchlaufen des Kreisprozesses unter Annahme bestimmter Werte von  $T_i$  und  $T_a$  für die sekundären inneren und äusseren Wärmeträger.

Unter der Voraussetzung, dass jederzeit  $T_K > T_i$  und  $T_V < T_a$  ist die Wärmebilanz des Arbeitsmediums unter Vernachlässigung der Verluste durch die Beziehung gegeben:

$$Q_K = Q_V + Q_e$$

$Q_K$  stellt den Gesamtbetrag der während einer bestimmten Betriebsdauer in das Warmwasser der Zentralheizung übergehenden Wärmemenge dar und ist unter Zuschlag der Verluste dem früher mit  $Q$  bezeichneten Wärmebedarf der Heizperiode gleichzusetzen. Es gilt daher:

$$Q = Q_V + Q_e$$

oder

$$Q_i = Q_{V_i} + Q_{e_i} \dots \dots \dots (7)$$

wenn die Bilanz auf die Wärmeleistungen bezogen wird. Es ist üblich, mit der Leistungszahl  $\varepsilon_e = Q_{V_i} / Q_{e_i}$  die pro eine elektrisch aufgewendete Wärmeeinheit «hochgehobene» Aussenwärmemenge zu bezeichnen. Für den idealen Carnot-Kreislauf ermittelt sich diese Kennziffer der Wärmepumpe nach bekannten Ueberlegungen der Wärmelehre zu

$$\varepsilon_e = \frac{T_V}{T_K - T_V}$$

In Wirklichkeit ist  $\varepsilon < \varepsilon_e$ , was durch Einführung des Wirkungsgrades  $\eta_k$  des Kreislaufs zum Ausdruck gebracht werden kann. So wird

$$\varepsilon = \eta_k \cdot \frac{T_V}{T_K - T_V} \dots \dots \dots (8)$$

Führen wir noch den Motorwirkungsgrad  $\eta_m$  in die Rechnung ein, so definiert sich  $Q_{e_i}$  als elektrische Leistung an

den Motorklemmen, in Wärmeeinheiten gemessen und ist somit gleich wie am Heizwiderstand verstanden, dessen Wirkungsgrad weiter vorn zu 1 angenommen wurde. Mit diesen Ergänzungen resultiert aus den Gleichungen (7) und (8) die Beziehung:

$$Q_{e_i} = Q_i \cdot \frac{T_K - T_V}{T_K - T_V (1 - \eta_k)} \dots \dots \dots (9)$$

Zur Erzielung einer möglichst kleinen elektrischen Anschlussleistung bei gegebener installierter Heizleistung ist demnach vor allem eine kleine Temperaturdifferenz ( $T_K - T_V$ ) erwünscht. Das ist gleichbedeutend mit einem geringen Temperatur-Unterschied zwischen  $T_i$  und  $T_a$ . Die Raumheizung vermittelt der Wärmepumpe arbeitet demnach mit umso geringerem Aufwand an elektrischer Energie, je mehr sich die Aussentemperatur der Raumtemperatur nähert. In dem Sinne verhalten sich Anlagen in Gegenden mit mildem Klima günstiger. Auch ist der Betrieb zu Beginn und Ende des Winters vorteilhafter als in den Tagen strengster Kälte.

Zur künstlichen Verringerung der Temperatur-Differenz ( $T_K - T_V$ ) sind grundsätzlich folgende Möglichkeiten in Erwägung zu ziehen:

a) Konstruktive Massnahmen, die bei gegebenem  $T_i$  und  $T_a$  den Temperatursprung ( $T_K - T_i$ ) bzw. ( $T_a - T_V$ ) verringern.

Die Aufgabe ist sehr schwer mit der Forderung wirtschaftlich tragbarer Dimensionen der Wärmeaustauschapparate in Einklang zu bringen. Hierin liegt das Hauptproblem. Der Forschung steht hier ein interessantes und für die künftige Raumheizung wichtiges Gebiet offen.

b) Verfahren, die eine möglichst hohe Temperatur  $T_a$  des äusseren Wärmeträgers verwenden lassen. Beim gegenwärtigen Stand der Technik ist, schon des spezifisch schlechten Wärmeübergangs wegen, die Aufstellung der Verdampfer in die ruhende Winter-Aussenluft wirtschaftlich kaum durchzuführen. Verdampfer mit durchströmender Luft erfordern bei dem geringen spezifischen Wärmeinhalt dieses Mediums gewaltige Fördermengen. Man könnte an wassergekühlte Verdampfer denken, wobei aber die Schwierigkeit der Eisbildung (übrigens auch bei den Luftverdampfern) zu überwinden ist. Solche Lösungen sind, wenn überhaupt praktisch ausführbar, für in der Nähe unserer Flüsse und Seen aufgestellte Fernheizungen denkbar. Unter diese Gruppe fällt auch die Verwertung der warmen Abluft von Raumlüftungsanlagen im Verdampfer.  $T_a$  liegt in diesem Fall wenig unter  $T_i$ , sodass der Kreisprozess thermodynamisch günstig verläuft. Man ist versucht, diesen Gedanken utopistisch weiter zu spinnen, etwa dahingehend, die allgemeine Raumheizung durch Frischwarmluft



Tabelle 8.

Elektrische Anschlussleistungen und Wärmemengen zur Durchführung der Raumheizung mit Hilfe der Wärmepumpe.  
 Installierte Heizleistung  $Q_1 = 1000 \text{ kWE/h}$ .

$T = 1220 \text{ h}$   $Q = 1.220.000 \text{ kWE}$

$(T_K - T_i)$ bezw. $(T_a - T_r)$	Variante I					Variante II					Variante III				
	Innenkreis: Warmwasser $80^\circ \div 40^\circ$					Innenkreis: Warmwasser $55^\circ \div 15^\circ$					Innenkreis: Warmwasser $80^\circ \div 40^\circ$				
	Aussenkreis: Aussenluft $-20^\circ \div +10^\circ$					Aussenkreis: Aussenluft $-20^\circ \div +10^\circ$					Aussenkreis: Flusswasser $+5^\circ$				
	$Q_{e1}$		$Q_e$		$T_e$	$Q_{e1}$		$Q_e$		$T_e$	$Q_{e1}$		$Q_e$		$T_e$
	kWE h	% von $Q_1$	kWE	% von $Q$	h	kWE h	% von $Q_1$	kWE	% von $Q$	h	kWE h	% von $Q_1$	kWE	% von $Q$	h
$10^\circ$	730	73,0	540000	44,3	740	590	59,0	304000	24,9	515	540	54,0	439000	36,0	810
$20^\circ$	855	85,5	670000	55,0	785	670	67,0	455000	37,3	680	655	65,5	570000	46,7	870
$30^\circ$	945	94,5	790000	64,8	840	770	77,0	580000	47,5	745	760	76,0	720000	59,0	950

im thermischen Regenerativ-Verfahren durchzuführen, wobei freilich die Wärmeisolation der Raumumschliessungswände wesentlich erhöht werden müsste. Hygienisch stünde dieser Massnahme nichts im Wege, da ja ständig Frischluft zugeführt würde.

c) Heiztechnische Massnahmen zur Senkung der Temperatur  $T_i$ . Die von den Hygienikern noch nicht vollständig abgeklärte Frage der Zweckmässigkeit der Strahlungsheizung mit Hilfe grossflächiger Wärmesponder relativ geringer Übertemperatur bietet für die vorliegende Art der Wärmebeschaffung ganz besonderes Interesse. Die nachfolgenden Resultate unserer Rechnungen geben unter Variante II den zahlenmässigen Beweis hiefür. Im gleichen Sinne müsste sich bei Lüftungsanlagen und Raumheizung mit Warmluft eine Senkung der Raumlufttemperatur nach dem Vorschlage von Dr. Guimard (Abschnitt 3) auswirken.

Als Grundlage für die Ermittlung der erforderlichen elektrischen Motorleistungen in kWE/h zur Durchführung der Raumheizung des genannten 1000 kWE/h-Netzsektors sind durch uns, zunächst unbekümmert der Erstellungskosten, folgende Betriebsannahmen untersucht worden:  
 Wintertemperaturverlauf nach Häufigkeitskurve 1934 FHK.

Primäres Wärmetransportsystem:

Ammoniak-Kreislauf mit Kolben-Kompressions-Kältemaschine, 80 % Wirkungsgrad, Elektromotorwirkungsgrad 74 : 94 % je nach Belastung. Zuschlag für Wärmeverluste im System 10 %.

Sekundärer Innen-Wärmeträger:

a) Warmwasser für übliche Zentralheizung mit  $80^\circ \div 40^\circ \text{ C}$  Vorlauftemperatur, entsprechend  $t_a = -20^\circ \div +10^\circ \text{ C}$ .

b) Warmwasser für Strahlungsheizung mit  $55^\circ \div 15^\circ \text{ C}$  Vorlauftemperatur, entsprechend  $t_a = -20^\circ \div +10^\circ \text{ C}$ .

Sekundärer Aussenwärmeträger:

a) bewegte Aussenluft mit Temperatur  $T_a$  bzw.  $t_a$  entsprechend der Häufigkeitskurve.

b) bewegtes Flusswasser mit  $t_a = +5^\circ \text{ C}$  konstant.

Alle Varianten sind mit drei verschiedenen Temperatur-Differenzen in den Wärmeaustauschern  $T_K - T_i$  resp.  $(T_a - T_r)$  zur Ermittlung des thermodynamischen Einflusses dieser Grösse durchgerechnet worden, nämlich für  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ \text{ C}$ . Obenstehende Tabelle 8 und Abb. 66 enthalten die Resultate aufgezeichnet.

Im Vergleich der eingesparten elektrischen Arbeitsmengen, bzw. der elektrischen Anschlussleistungen springt in erster Linie der grosse Einfluss des angenommenen Temperatursprunges in den Wärmeaustauschern in die Augen. Der Einfluss auf den Anteil der elektrischen Anschlussleistung an der installierten Heizleistung ist besonders auffällig. Auf Grund bereits ausgeführter Anlagen darf mit der Möglichkeit der Erreichung von Differenzwerten zwischen  $20 \div 10^\circ \text{ C}$  gerechnet werden.

Die Zahlen zeigen ferner, im Vergleich der Varianten I und II den sehr günstigen Einfluss einer Senkung der Temperatur  $T_i$  bei gleichem Wert der Temperatur  $T_a$ . Variante III lässt im Vergleich mit I den Einfluss der Temperatursteigerung von  $T_a$  erkennen. Wie sich schon durch Ueberlegung ableiten lässt, muss die Benützungsdauer der elektrischen Anschlussleistung geringere Werte annehmen als jene der installierten Heizleistung. Der rechnerisch ermittelte Wirkungsgrad des vorliegenden Kreisprozesses, bezogen auf den idealen Carnot-Kreislauf, hat Werte zwischen 40 und 50 % ergeben.

So vielversprechend sich dieses neue Prinzip der Raumheizung hinsichtlich der rationellen Energieverwertung darstellt, muss doch auch hier die Frage nach der Konkurrenzfähigkeit in bezug auf die reine Brennstoffheizung geprüft

werden. Der Äquivalenzpreis der aufgewendeten elektrischen Energie berechnet sich in gleicher Weise wie im 4. Abschnitt für die Lösung a und b durchgeführt. Die Jahreskosten der Brennstoffanlage sind in Gleichung (2) umschrieben. Jene für den elektrischen Betrieb unter Verwendung von Umweltwärme, die natürlich im Rohzustand kostenlos anfällt, leiten sich in sinngemässer Anpassung aus Gleichung (3) ab, indem  $Q_{e_1}$  an Stelle von  $Q_1$  tritt, und  $T$  durch  $T_c$  ersetzt wird. Der Wirkungsgrad der Umformung ist schon in Gleichung (9) für  $Q_{e_1}$  berücksichtigt.

In Wiederholung des zitierten Rechnungsvorgangs gelangt man zu folgendem Ausdruck für den Äquivalenzpreis:

$$C_e = \underbrace{\frac{0,86 C_b}{\eta_b \cdot h} \cdot \frac{Q}{Q_c}}_A + \underbrace{\frac{0,86 p}{T_c} \left( \frac{Q_1}{Q_{e_1}} \cdot \frac{K_b}{Q_1} - \frac{K_c}{Q_{e_1}} \right)}_B \quad (10)$$

Der Aufbau ist analog der Gleichung (5). Der Brennstoffteil A ist auch hier mit einem Faktor  $f$  behaftet, welcher strompreiserhöhend wirkt. Im Kapitalteil B leistet der Quotient  $Q_1/Q_{e_1}$  den gleichen Dienst. Die Voraussetzungen zur möglichst hohen Steigerung dieser Faktoren sind bereits erörtert. Die 8. Tabelle lässt durch Umrechnung die in unserem Rechnungsbeispiel erzielten Werte ermitteln, wir stellen diese nachfolgend in Tabelle 9 zusammen.

Tabelle 9.

Werte von  $Q/Q_c$  und  $Q_1/Q_{e_1}$  für die in Tabelle 8 dargestellten Verhältnisse.

$(T_k - T_i)$ bezw. $(T_a - T_1)$	Variante I		Variante II		Variante III	
	$Q/Q_c$	$Q_1/Q_{e_1}$	$Q/Q_c$	$Q_1/Q_{e_1}$	$Q/Q_c$	$Q_1/Q_{e_1}$
10°	2,26	1,37	4,01	1,70	2,78	1,85
20°	1,82	1,17	2,68	1,49	2,14	1,53
30°	1,55	1,06	2,10	1,30	1,70	1,32

Leider kann über die spezifischen Erstellungskosten heute noch nichts Gutes ausgesagt werden. Ueberträgt man die im Kältemaschinenbau geltenden Ausführungen und Preise auf das Problem der Einzelheizung, so resultiert meist ein bedeutendes Ueberwiegen der Erstellungskosten gegenüber der Zentralheizungsanlage. Die Verhältnisse verbessern sich bei Verwendung der installierten Wärmepumpe zur Bereitung von Kaltluft im Sommer, weil nur unbedeutende Erstellungskosten aus solchem Doppelbetrieb erwachsen. In

ähnlicher Weise kann die Zusammenlegung der gewerblichen Kälteerzeugung mit einem Raumheizbetrieb wirtschaftliche Vorteile bringen.

Dieser Befund ist aber nicht endgültig. Der wirtschaftliche Antrieb fehlte bis heute zur intensiven technisch-wissenschaftlichen Vertiefung des Problems. Im Gegensatz zur Stromwärmeheizung hat hier die Technik glücklicherweise noch nennenswerte Schwierigkeiten zu überwinden, was immer die Möglichkeit zur Einholung wirtschaftlicher Nachteile schafft. Das Fernheizkraftwerk der ETH hat sich unter anderem zur Aufgabe gestellt, im Rahmen seiner technischen und finanziellen Möglichkeiten den Fragenkomplex weiter abzuklären.

#### Considérations économiques relatives au chauffage électr.

La transformation de l'énergie électrique en chaleur est en apparence intéressante, grâce à certains avantages, mais est thermodynamiquement une dissipation. L'électrification du chauffage aurait l'avantage de nous libérer du charbon étranger, mais la marge financière en est trop élevée.

L'auteur se base sur les statistiques de fréquence des températures extérieures et des consommations de chaleur. Les installations thermiques ont généralement un très mauvais facteur d'utilisation, que l'on pourrait améliorer en diminuant la puissance installée, en acceptant de diminuer la température de chauffage lors des grands froids exceptionnels.

L'auteur compare ensuite diverses solutions: a) calorifères chauffés électriquement; b) chauffage central avec chaudière électrique; c) chauffage central avec utilisation de combustible et d'électricité. Le calcul comparatif des prix de revient entre ces solutions et le chauffage au charbon permet d'établir le prix équivalent de l'électricité. Le tableau 4 donne ce prix pour les solutions a et b. Pour la solution c, il varie avec le rapport des quantités de chaleur électrique et de charbon et est donné par le tableau 6. Ces considérations montrent nettement que l'électrification du chauffage serait d'une très mauvaise économie, même si le prix du charbon était 30 à 50 % plus élevé.

Une autre solution consisterait à appliquer le deuxième principe de la thermodynamique, au moyen d'une «pompe de chaleur». L'auteur étudie les possibilités d'application de ce système; il n'est malheureusement pas encore possible de juger de sa valeur pratique, des données précises sur les frais d'installation manquant encore.

#### Bernische Kraftwerke A.-G.

Die Bernischen Kraftwerke A.-G. (BKW) wurden am 19. Dezember 1898 in Biel als Elektrizitätswerk Hagneck gegründet. Sie erstellten zunächst das Hagneckwerk am Ausfluss der Aare in den Bielersee und versorgten um 1900 das Seeland bis gegen Münchenbuchsee, sowie Teile des Berner und Neuenburger Jura. 1903 erwarben sie durch Kauf das Kraftwerk Spiez (Kanderwerk) und nahmen die Firma Vereinigte Kander- und Hagneckwerke an. Das Kanderwerk wurde in den folgenden Jahren durch Zuleitung der Simme beträchtlich erweitert und durch eine 45-kV-Leitung mit dem Hagneckwerk verbunden. 1905 übernahm der Kanton

Bern durch seine Kantonalbank einen grossen Aktienposten und leitete damit eine Entwicklung ein, die die BKW zu einem gemischtwirtschaftlichen Unternehmen werden liess. 1909 wurde die heutige Firma angenommen, nachdem sich das Unternehmen inzwischen über den grössten Teil des Kantons ausgedehnt hatte. Dem zunehmenden Energiebedarf entsprechend wurden 1907—1910 das Hochdruckwerk Kandergrund und 1910—1913 das Mitteldruckwerk Kallnach erstellt, 1916 das Kraftwerk Bannwil der Elektrizitätswerk Wangen A.-G. übernommen und 1917—1921 das Mühlebergwerk gebaut. Trotz dieser raschen Erschliessung neuer

Kraftquellen war die Gesellschaft schon bald darauf angewiesen, von andern Werken Energie hinzuzukaufen, ein Zustand, der auf die Dauer nicht haltbar war. So entschloss sie sich 1925 zur Gründung der Kraftwerke Oberhasli A.-G. und übertrug diesen die Erschliessung der Wasserkräfte der Aare im Oberhasli und zwar zunächst die Erstellung des Kraftwerkes Handeck von 120 000 PS. 1928 traten der Kanton Basel-Stadt und 1930 die Stadt Bern den Oberhasliwerken bei und übernahmen je ein Sechstel des Aktienkapitals von Fr. 36 000 000.—, so dass die BKW heute noch mit Fr. 24 000 000.— beteiligt sind.

Heute verfügen die BKW über ein voll einbezahltes Aktienkapital von Fr. 56 000 000.—, über Fr. 74 000 000.— Obligationenkapital, über einen ordentlichen Reservefonds von Fr. 6 816 560, einen Erneuerungsfonds von Fr. 5 465 302 und über einen Tilgungsfonds von Fr. 9 842 883.—. Die Summe aller Abschreibungen überstieg am 31. Dezember 1934 den Betrag von 40 Millionen. Die Bilanzsumme war Fr. 163 329 522.—. Die installierte Maschinenleistung, einschliesslich des Anteils an den Oberhasliwerken, betrug rund 217 100 PS, die Maschinenleistung einschliesslich der auf längere Zeit vertraglich gesicherten Quoten rund 150 000 kW. Die Energieabgabe erreichte 1934 rund 551 000 000 kWh, die Spitzenbelastung 129 350 kW. Die Zahl der angeschlossenen Transformatorenstationen belief sich auf 1194 und ihre totale Leistungsfähigkeit auf 152 565 kVA. Die einfache Länge der eigenen Leitungen ist Ende 1934 auf 5301 km gestiegen und der Anschlusswert der Abonnemente auf 386 869 kW.

#### MOTOR-COLUMBUS A.G. für elektrische Unternehmungen, Baden (Schweiz).

«Motor-Columbus» ist im Jahre 1923 aus der Fusion der «Motor A. G. für angewandte Elektrizität» und der «Columbus A. G. für elektrische Unternehmungen», beide in Baden, hervorgegangen.

Der statutarische Zweck der Gesellschaft ist, Finanzgeschäfte aller Art durchzuführen, soweit sie die Konzessionierung, den Bau, den Betrieb, die Umwandlung, auch den Erwerb oder die Veräusserung von Unternehmungen oder Verfahren im Gebiete der angewandten Elektrotechnik oder Elektrochemie betreffen. Die Gesellschaft kann auch Unternehmungen auf diesem Gebiete für eigene Rechnung ins Leben rufen, betreiben, erwerben, verpachten, sich bei solchen Unternehmungen Dritter beteiligen und alle Massnahmen ergreifen und Geschäfte betreiben, die damit in Verbindung stehen oder zur Erreichung ihrer Zwecke angemessen erscheinen.

Die «Motor A. G.» wurde im Jahre 1895 im engeren Benehmen mit der Firma Brown, Boveri gegründet. Bekanntermassen hat die private Initiative, so auch diejenige der Gesellschaft «Motor», eine wichtige Rolle in der Verwertung der Wasserkräfte und der Elektrifizierung der Schweiz gespielt. Die «Motor A. G.» hat aber die Kraftanlagen nicht nur finanziert, sondern auch deren technische Projektierung, den Bau — zum Teil in eigener Regie — und den Betrieb

durchgeführt und überwacht. Während den 28 Jahren ihres Bestehens hat die «Motor A. G.» in der Schweiz Kraftanlagen mit einer installierten Maschinenkapazität von zirka 140 000 kW erstellt. Es sei nur an die Verbund-Kraftwerke Hagneck-Kander und Beznau-Löntschi, welche den Grundstock der «Bernischen Kraftwerke» bzw. der «Nordostschweizerischen Kraftwerke» gebildet haben, an das Hochdruckwerk Biaschina im Tessin, heute den «Officine Elettiche Ticinesi» in Bodio gehörend, sowie an das Niederdruckwerk «Gösgen» an der Aare der «Elektrizitätswerk Olten-Aarburg A. G.» erinnert. Die Tätigkeit der Gesellschaft erstreckte sich aber auch auf andere Länder Europas, besonders auf Italien, woselbst sie bei der Erstellung und dem Betrieb der Anlagen von Tochtergesellschaften und zahlreicher fremder Unternehmungen technisch und finanziell mitgewirkt hat.

Die «Columbus A. G.» war die hauptsächlichste Finanzgesellschaft, bei welcher «Motor» beteiligt war. Sie wurde im Jahre 1913 unter Mitwirkung schweizerischer, italienischer und argentinischer Finanzgruppen gegründet mit dem Zweck, in Südamerika eine ähnliche Tätigkeit wie «Motor» in Europa zu entfalten.

Die von «Motor-Columbus» und von ihren Rechtsvorgängern auf eigene Rechnung oder mit ihrer finanziellen Beteiligung und technischen Mitwirkung bisher ausgeführten 37 Elektrizitätswerke ergeben insgesamt eine Maschinenkapazität von 850 000 kW; darunter befinden sich in der Schweiz ausser den vorgenannten, die Kraftwerke Tremorgio, Piottino, Lungernsee, Ryburg-Schwörstadt und andere. Im Zusammenhang damit wurden durch «Motor-Columbus» zirka 500 Unterzentralen und 3800 km Fernleitungen mit Spannungen bis 150 000 V und Spannweiten bis 1500 m erstellt.

Zur Durchführung der technischen Aufgaben verfügt die Gesellschaft über eine ausgedehnte technische Organisation, welche eine Bauabteilung, eine Maschinenabteilung, eine elektrotechnische Abteilung, eine Abteilung für Leitungsbau und eine Betriebsleitung umfasst, sodass «Motor-Columbus» sämtliche Aufgaben, die mit der Konzessionierung und dem Bau von hydraulischen und thermischen Kraftwerken, sowie elektrochemischen Anlagen, der Kraftübertragung und dem Verkauf der Energie zusammenhängen, durchzuführen imstande ist.

Das Aktienkapital der «Motor-Columbus» beträgt zur Zeit 93,5 Millionen Franken. Die Obligationenanleihen erreichen die Summe von 97,5 Millionen Franken.

Die Beteiligungen der «Motor-Columbus» erstrecken sich auf zirka 40 Gesellschaften, wie Kraftversorgungs- und Bahnunternehmungen, Finanzierungs-Gesellschaften für elektrische Unternehmungen, Gesellschaften der elektrotechnischen Fabrikation und Elektrochemie und Immobilien-Gesellschaften. Diese Gesellschaften üben ihre Tätigkeit in Europa ausser in der Schweiz in Deutschland, Frankreich, Italien, Polen, Rumänien und Spanien und in Südamerika in Argentinien, Columbien und in Peru aus.

## Mitteilungen aus den Verbänden

Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband.

Auszug aus den Protokollen der Vorstandssitzungen.

Sitzung vom 26. April 1935.

Die Jahresrechnung wird genehmigt, ebenso mit einigen Änderungen das Budget 1935.

Der Vorschlag für einen Vortrag an der Hauptversammlung über finanzielle Grundlagen der Energieproduktion und

-Verteilung in der Schweiz wird im Prinzip genehmigt und das Sekretariat mit der Zusammenstellung der Unterlagen beauftragt.

Der Vorstand erklärt sich grundsätzlich einverstanden mit einem Vortrag von Ing. Gurewitsch über «Elektrisierungs- und Wasserwirtschaftsprobleme in der Sowjetunion», und von Ing. van Asbeck über «Die Verwendung von Bitumen