Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 123/124 (1944)
Heft: 8

Artikel: Erfahrungen aus dem Betrieb der Wärmepumpen-Heizung im Rathaus von Zürich
Autor: Egli, Max
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-53888

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: 13.12.2025

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

INHALT: Erfahrungen aus dem Betrieb der Wärmepumpen-Heizung im Rathaus von Zürich. — Eine grosszügige nationale Siedlungs-Aktion. — Eine Ostschweizer Seengruppe in Gefahr. — Fragen des Flugzeug-Starts. — Zwei friedliche militärische Holzbauten. — Mitteilungen: Motorische und physikalische Untersuchungen über das Wesen des Klopfvorganges. Schweizer. Vereinigung für Landesplanung. Versuche mit Stahlbetonschwellen bei der Deutschen Reichsbahn. Autostrasse Bern-Lausanne. Schmiermittel im Baugewerbe. Persönliches. - Nekrologe: Jacques Tschudy. Dr. Ing. Stefan Bryla. — Literatur. — Vortrags-Kalender.

Band 123 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 8

Erfahrungen aus dem Betrieb der Wärmepumpen-Heizung im Rathaus von Zürich

Von Dipl. Ing. MAX EGLI, Zürich

Nachdem die Wärmepumpenheizung im Rathaus von Zürich[1]) bereits fünf Winter in Betrieb gestanden hat und die sich dauernd verschärfenden Auswirkungen des Kriegszustandes die Grenzen der Betriebsicherstellung gefeuerter Heizanlagen immer deutlicher vor Augen führen, dürfte die Bekanntgabe einiger betriebstechnischer Erfahrungen der 1937 erbauten Musteranlage wünschenswert erscheinen, um insbesondere das Studium weiterer Anlagen zu erleichtern und die Zuverlässigkeit der Projektierung zu erhöhen. Vor allem ist es wichtig zu wissen, ob die seinerzeit mangels Vorliegen entsprechender Messresultate getroffenen Annahmen mit den nachträglich ermittelten Tatsachen übereinstimmen und ob die auf den verwendeten Grundlagen aufgebauten Rechnungen ihre Bestätigung erfahren haben. Zwar haben die früheren Veröffentlichungen über diese Anlage gezeigt, dass die bereits vor ihrer Erstellung vorhandenen Erkenntnisse aus dem Gebiete des Kältemaschinenbaus schon recht zuverlässige Berechnungen ermöglichen; in zwei Punkten waren diese jedoch nicht eindeutig festgelegt, nämlich in Bezug auf den Verlauf der Limmatwassertemperatur in Abhängigkeit von der Aussentemperatur und über das Zusammenspiel der Wärmepumpenheizung für die Deckung der Grundlast und der Elektrospeicherheizung für die Deckung der Spitzenlast.

Wie der oben angeführten Veröffentlichung zu entnehmen ist, handelt es sich bei der Wärmepumpenanlage des Rathauses in Zürich um eine Kaltdampfmaschine mit Rotationskolbenkompressor von einer Wärmeleistung am Verflüssigeraustritt von rund 60 000 kcal/h bei 5° C Flusswassertemperatur, wobei sie bei diesem Betriebszustand bei einer Heizwassertemperatur von 60° C am Vorlauf, die einer Aussentemperatur von — 20° C entspricht, 40 kW an den Klemmen aufnimmt. Als Wärmeträger wird dabei Dichlordifluormethan, auch als Freon 12 oder Frigen bezeichnet, verwendet, eine ölartige Flüssigkeit mit einer Verdampfungswärme von 37 kcal/kg bei 0° C. Verdampfer und Verflüssiger sind als Röhrenwärmeaustauscher ausgebildet, wobei die Flusswasser- und Heizungswasserzirkulation durch gesonderte Umwälzpumpen bewerkstelligt wird. Die Arbeitsweise der Wärmepumpe ist intermittierend mit in Funktion der Aussentemperatur vollautomatisch gesteuerter Regulierung. Diese Wärmepumpe deckt die Grundlast des Wärmebedarfes, während die Lastspitzen von einem Elektrospeicher mit 6,5 m³ Inhalt, gebaut für einen Betriebsdruck von 10 atü und indirekte Wärmeabgabe im Nachwärmeverfahren an das Heizwasser übernommen werden. Seine Speicherleistung beträgt somit rund 600 000 kcal und die Wärmeabgabe bis zu 150 000 kcal/h. Laden und Entladen des Speichers erfolgen automatisch so, dass eine interne Wasserzirkulation beim Laden durch Schliessen von Klappen und beim Entladen durch deren Oeffnen nach Massgabe des Temperaturrückganges des Speicherwassers hervorgerufen wird. Die Ladeleistung ist in zwei Stufen von 30 kW und 35 kW aufgeteilt, wobei die kleinere Ladestufe bei Lauf der Wärmepumpe selbsttätig aus- und bei Stillstand eingeschaltet wird. Die maximale Heizleistung der Maschinenkombination beträgt deshalb bei tiefster Flusswassertemperatur rund 200 000 kcal/h.

I. Die Limmatwassertemperatur

Die verhältnismässig kalten Winter 1939/40, 1940/41 und 1941/42 haben vor allem gezeigt, dass die Auffassung, die Temperatur des Limmatwassers sinke als Folge der Charakteristik des spezifischen Gewichtes des Wassers in Abhängigkeit seiner Temperatur nicht unter 4° C und die Annahme der linearen Abhängigkeit der Limmatwassertemperatur von der fortschreitenden Gradtagzahl mit dem ermittelten Sachverhalt nicht übereinstimmt. Die niedrigste Limmatwassertemperatur wurde 1939/40 mit 2,8° C, 1940/41 mit 1,6° C und 1941/42 sogar mit 1,2° C gemessen. Dabei ist zu erwähnen, dass die für den Winter 1941/42 angeführte Temperatur nicht die Folge gleichmässig fortschreitender Abkühlung ist, sondern einen einmaligen Augenblickswert darstellt, der sich am 26. März 1942 als Folge eines plötzlichen Sonnenscheindurchbruchs durch die über Zürich lagernde Dunstschicht von der Dauer nur weniger Stunden ergab. Er ist auf die dadurch einsetzende, umfangreiche Bildung von Schmelzwasser des längs der Limmat gelegenen, teils mit Schnee bedeckten, teils mit Eis überzogenen Geländes und der Vermischung dieses Schmelzwassers mit dem Limmatwasser zurückzuführen, wobei das spezifisch leichtere Schmelzwasser von der Einmündung in das Limmatwasser bis zur Messstelle im Rathaus nicht genügend Zeit fand, sich mit dem Limmatwasser zu mischen oder seine Wärme mit ihm auszugleichen. Ueberdies ist nicht nachgewiesen, ob nicht zu gleicher Zeit umfangreiche Schnee- und Eisabfuhren in den untern Teil des Zürichsees stattfanden, die gleichfalls mithalfen, die Limmatwassertemperatur abzusenken. Es war für den erwähnten Temperaturabfall charakteristisch, dass er sich von 1,5° C geradezu sprunghaft einstellte und ebenso sprunghaft wieder verschwand. Obwohl die kurze Dauer und der singuläre Charakter der Erscheinung nahelegen, von der Festsetzung dieses Einzelwertes als Grenzwert einer kontinuierlichen Temperaturentwicklung abzusehen, ist es empfehlenswert, derartigen Vorkommnissen auch in Zukunft die gebührende Aufmerksamkeit zu schenken, und es wäre zu begrüssen, wenn sich die zuständigen Stellen dieser Frage mit der nötigen Gründlichkeit annehmen könnten.

Abb. 1 stellt ein Temperaturdiagramm des Jahres 1938 dar. Auf der Abszissenaxe sind die Tage des Jahres in chronologischer Reihenfolge, auf der Ordinatenaxe die zugeordneten Temperaturen in °C aufgetragen. Der Linienzug *a* stellt den Verlauf der mittleren Tagestemperatur von Zürich auf Grund der Messungen der Meteorologischen Zentralanstalt dar. Die Linie *b* zeigt den Verlauf der Temperatur des Zürichsees in geringer Wassertiefe am Bürkliplatz, also an seinem Ende gemessen, wobei ein Teil der Kurve wegen Defektes der Messeinrichtung fehlt. Die Temperaturänderungen sind infolge der Sonnenbestrahlung der Wasseroberfläche relativ gross und folgen den Aenderungen der Temperatur der Aussenluft mit geringer Verspätung. Es ist gleichfalls deutlich erkennbar, dass die Wassertemperatur während der Periode der zunehmenden Winterstrenge im allgemeinen stets niedriger, während derjenigen der abnehmenden Winterstrenge dagegen stets höher als die mittlere Aussentemperatur

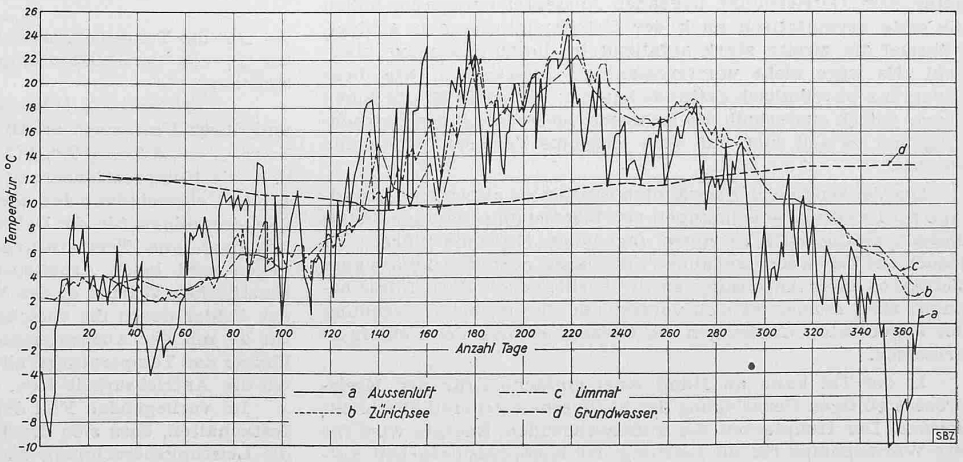

Abb. 1. Chronologische Temperaturkurven von Zürich, 1938

[1]) *M. Egli*, Die Wärmepumpen-Heizung im Rathaus von Zürich, «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 116, S. 59 u. 73 (Aug. 1940); ferner Bd. 111, S. 212; Bd. 114, S. 12* (1939).

ist. Ferner sind die Ausschläge der Wassertemperatur als Folge des Rauminhaltes und der offenen Oberfläche des Zürichsees während der ersten Jahreshälfte wesentlich grösser als während der zweiten. Linienzug *c* zeigt den Verlauf der Wassertemperatur beim Hardhof, also am Ausfluss der Limmat aus der Stadt, auf Grund einer einmaligen Messung pro Woche. Auch hier sind die Temperaturschwankungen der ersten Jahreshälfte grösser als diejenigen der zweiten und auch diese Temperatur folgt den Schwankungen der Aussentemperatur mit der ihr eigenen Verspätung. Dabei liegt die Limmatwassertemperatur im Sommer unterhalb, im Winter oberhalb der Zürichseewassertemperatur. Ganz anders dagegen verhält sich die durch Kurve *d* dargestellte Temperatur des Grundwassers. Sie weist keine kurzperiodigen Schwankungen auf, sondern ändert sich gleichmässig von ungefähr 10° C im Vorsommer auf 13° C im Vorwinter. In Bezug auf die Temperatur würde sich deshalb Grundwasser für den Betrieb einer Wärmepumpe für Raumheizung mit ihrer ausgesprochenen Winterbelastung wesentlich besser eignen als Flusswasser; dagegen sind seiner Verwendung wegen des sehr grossen Wasserbedarfes der Wärmepumpenbetriebe ganz allgemein Grenzen gesetzt, wenn berücksichtigt wird, dass für die Ersetzung eines Kilogramms Kohle nahezu eine halbe Tonne Grundwasser nötig ist.

Das Diagramm zeigt deutlich, dass die Temperaturschwankungen sowohl der Aussenluft als auch des Zürichsee- und des Limmatwassers so gross und unregelmässig sind, dass die unmittelbare Verwendung dieser Messergebnisse als Berechnungsgrundlagen ohne gewisses Ordnen der Werte nicht zweckmässig ist. Für die Aussentemperatur geschieht dies in bekannter Weise derart, dass immer die nächst höhere Temperatur in gleicher Richtung fortschreitend neben die nächst tiefere gereiht wird. Diese Ordnung führt in Abb. 2 zu der als Gradtagkurve bezeichneten Häufigkeitskurve *a*. Werden die dieser Aussentemperaturkurve zugeordneten Zürichsee- oder Limmatwassertemperaturen aufgetragen, so ergibt sich ein unverwendbares Streufeld, obgleich mit Ausnahme der, den unter dem Gefrierpunkt liegenden Aussentemperaturen zugeordneten Wassertemperaturen die Streuung ziemlich regelmässig um die Aussentemperaturkurve angeordnet ist. Werden jedoch die Wassertemperaturen ohne Zuordnung zu den entsprechenden Aussentemperaturen aufgetragen, so entsteht eine der Häufigkeitskurve der Aussentemperatur ähnliche Kurve *b* für die Wassertemperatur des Zürichsees und die Kurve *c* für diejenige der Limmat. Dabei kann festgestellt werden, dass die Kurve der Wassertemperatur des Zürichsees leicht oberhalb derjenigen der Wassertemperatur der Limmat verläuft, was auf die vermehrte Einwirkung der Sonnenbestrahlung auf das Zürichseewasser zurückzuführen ist. Von besonderem Interesse ist jedoch die Erkenntnis, dass die Temperaturkurve des Limmatwassers mit Ausnahme des Bereiches der unterhalb des Gefrierpunktes liegenden Aussentemperaturen mindestens während der besonders interessierenden Dauer der Heizperiode nahezu vollständig mit der Kurve der Aussentemperatur zusammenfällt. In der Tat ergibt die rechnerische Ermittlung der Jahresmittel für die Temperatur des Limmatwassers einen um nur 0,9° C höheren Wert als derjenige der Aussentemperatur. Dagegen ist die Abweichung der Temperatur des Zürichseewassers von derjenigen der Aussenluft, wie schon aus dem Diagramm ersichtlich, merkbar grösser, ohne jedoch generell einen andern Verlauf aufzuweisen. Ein bedeutender Unterschied zwischen Limmatwasser- und Aussentemperatur besteht jedoch, wie bereits erwähnt, im Gebiet der bei und unter dem Gefrierpunkt liegenden Aussentemperaturen, indem die erste asymptotisch nach der Gefrierpunktgeraden abbiegt, während die zweite stark abfallend in die Ordinatenaxe übergeht. Es wäre nicht uninteressant zu untersuchen, wie diese Divergenz physikalisch zustande kommt; derartige Erwägungen liegen jedoch ausserhalb des Rahmens der vorliegenden Betrachtung und es soll hier nur vom Ergebnis Vormerk genommen werden.

Die Verwendung der erwähnten Kurven als allgemeine Grundlage für Leistungsberechnungen von Wärmepumpenanlagen muss deshalb zwangläufig zu einem ungenauen Ergebnis führen; da jedoch zur Zeit weder genauere Unterlagen noch zweckmässigere Verfahren ihrer Anpassung an die vorliegenden Bedürfnisse bekannt sind, handelt es sich vorerst nur darum, bei Verwendung der angeführten Unterlagen die Grössenordnung des Fehlers zu ermessen.

In der Tat kann an Hand einer einfachen, für den Kreisprozess gültigen Ueberlegung der Sachverhalt generell überblickt werden. Der Hauptanteil der aufzuwendenden Energie wird bei der Wärmepumpe für die Leistung der Kompressionsarbeit aufgebraucht. Dabei gilt für den Fall der adiabatischen Kompression

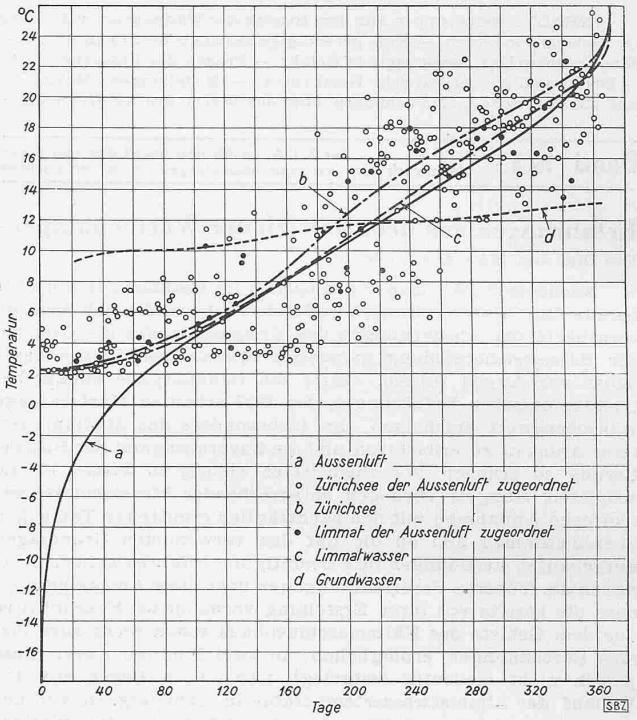

Abb. 2. Temperatur-Häufigkeiten für Zürich, 1938

$$AL = \varphi G c_p (T_v - T_L)$$

wo G das umgewälzte Gewicht des Wärmeträgers und c_p seine spezifische Wärme bei konstantem Druck darstellen, wobei die Vorlauftemperatur des Zentralheizungswassers als T_v und die Limmatwassertemperatur als T_L, und φ als Verhältniszahl zwischen der effektiven und der erforderlichen Temperaturerhöhung bei der Kompression bezeichnet werden sollen. Ferner gilt für die von den Heizflächen abzugebende Wärme, die bei Wärmegleichgewicht gleich dem Wärmeverlust des zu heizenden Gebäudes ist

$$Q = F_G k_G (T_i - T_a) = F_R k_R (T_i - T_v)$$

worin F_G und k_G Fläche und Wärmeübergangszahl des Gebäudes, F_R und k_R die entsprechenden Werte der Heizflächen darstellen. Dabei werde der Einfachheit halber die Vorlauftemperatur T_v an Stelle der mittleren Heizflächentemperatur gesetzt und k_G und k_R, die Funktionen der Temperaturdifferenzen sind, als konstant angenommen. Daraus ermittelt sich die Vorlauftemperatur T_v zu

$$T_v = \left(1 - \frac{F_G k_G}{F_R k_R}\right)\left(T_i - \frac{F_G k_G}{F_R k_R} T_a\right)$$

Wird zur Abkürzung $\varrho = \frac{F_G k_G}{F_R k_R}$

gesetzt, so erhält man $T_v = (1 - \varrho) T_i + \varrho T_a$

und dieser Wert in der Antriebsarbeit AL eingesetzt ergibt

$$AL = \varphi G c_p [(1 - \varrho) T_i + \varrho T_a - T_L]$$

Wird nun entsprechend den früheren Ausführungen vorausgesetzt, die Limmatwassertemperatur verlaufe mit Ausnahme der kältesten Winterperiode parallel der Aussentemperatur, so kann für diesen Bereich gesetzt werden

$$T_L = T_a \pm \Delta T$$

wo ΔT die Temperaturabweichung der Limmatwassertemperatur T_L von der Aussentemperatur T_a darstellt. Daraus ergibt sich nun

$$AL = \varphi G c_p [(1 - \varrho) T_i + \varrho T_a - (T_a \mp \Delta T)]$$

und durch Umformen erhält man

$$AL = \varphi G c_p [(1 - \varrho) (T_i - T_a) \pm \Delta T]$$

d. h. die Kompressionsarbeit setzt sich zusammen aus der *Arbeit für die Ueberwindung des eigentlichen Temperaturgefälles $T_i - T_a$ und derjenigen für die Ueberwindung der Abweichung ΔT, wobei diese vom Temperaturgefälle $T_i - T_a$ unabhängig ist.* Dagegen sind beide Arbeitsbeträge in gleichem Masse von der spezifischen Wärme c_p des Wärmeträgers abhängig. Somit wird der Fehler durch die Gleichsetzung der Limmatwassertemperatur T_L mit der Aussentemperatur T_a umso grösser ausfallen, je kleiner das Temperaturgefälle ist; er ist somit dort am kleinsten, wo die Antriebsarbeit bzw. der Wärmebedarf am grössten ist.

Im vorliegenden Fall der Rathausanlage ist vorerst einmal festzuhalten, dass sich die Temperaturkurve des Zürichsees für die Leistungsberechnung für an der Limmat gelegene Wärmepumpenanlagen nicht eignet und von der Temperaturkurve des

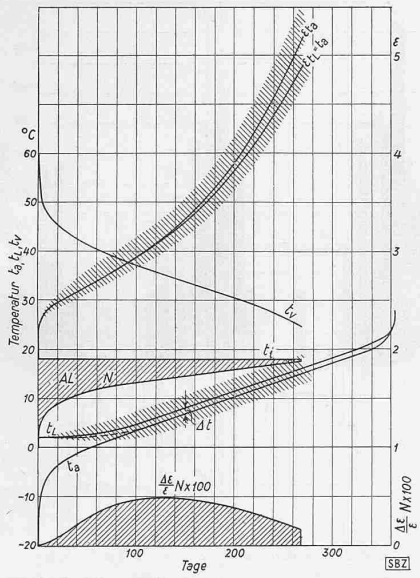

Abb. 3. Leistungsdiagramm
t_a = Aussentemperatur, t_L = Limmatwassertemperatur, t_v = Heizwasser-Vorlauf-Temperatur, ε = Leistungsziffer

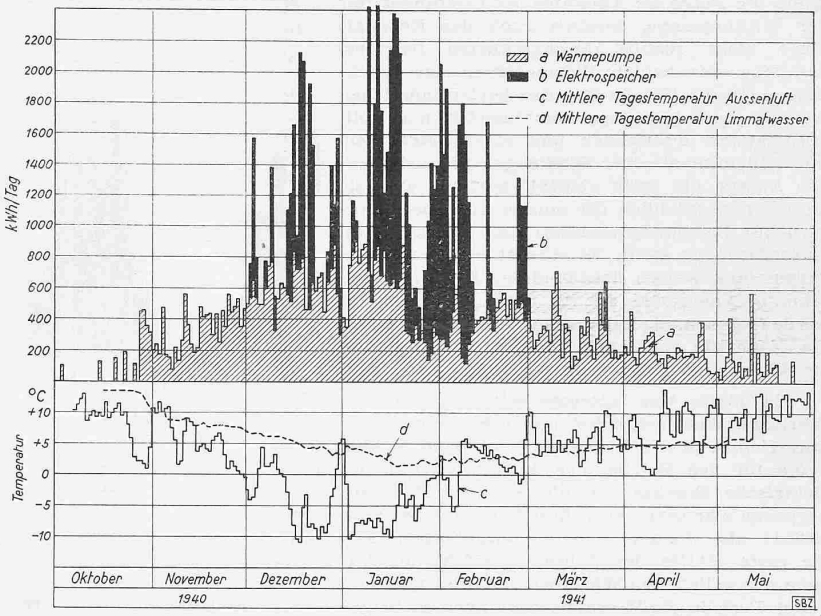

Abb. 4. Täglicher Energieverbrauch für Rathaus-Wärmepumpe und -Elektrospeicher

Limmatwassers für diesen Zweck nur der der Dauer der Heizperiode entsprechende Teil verwendet und die Abnahme der Streuung gegen die tiefste Temperatur gebührend berücksichtigt werden muss. Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich an Hand der ermittelten Zahlenwerte, dass die mittlere Limmatwassertemperatur 1,2° C höher als die mittlere Aussentemperatur liegt und dass die durchschnittl. Abweichung der Limmatwassertemperatur von der Mittelwertkurve 2,9° C beträgt. Wird dementsprechend das Leistungsdiagramm für die Kurve der tatsächlichen und die der Aussentemperatur T_a gleichgesetzte Limmatwassertemperatur entsprechend Abb. 3 aufgestellt, so ist schon aus der sich daraus ergebenden geringen Verschiebung der Leistungszifferkurve ε unschwer der untergeordnete Einfluss auf das Leistungsdiagramm zu erkennen. Dieser Sachverhalt ist zu einem Teil die Folge des Umstandes, dass die Limmatwassertemperatur im Gebiete der niedrigen Aussentemperaturen, wie bereits erwähnt, die geringsten Schwankungen aufweist, und zum andern Teil das Ergebnis der mit der Abnahme der Aussentemperatur T_a zunehmenden Temperaturdifferenz $T_v - T_a$. Wird ferner das Gebiet der Streuung der der Aussentemperatur zugeordneten Limmatwassertemperatur im Leistungsdiagramm als durch die durchschnittliche Abweichung begrenzte Zone eingetragen und die entsprechende Zone im Gebiet der Leistungszifferkurve ermittelt, so kann das Ausmass der durch diese Streuung zu erwartenden Genauigkeit einer Leistungsbestimmung ungefähr abgeschätzt werden. Dabei ist dem Umstand Rechnung zu tragen, dass den Punkten der Häufigkeitskurve der Limmatwassertemperatur c, die durch die Streuung eine Leistungsziffererhöhung erfahren, stets Punkte gegenüber gesetzt werden können, die eine entsprechende Leistungszifferniedrigung aufweisen. Infolge der Verlustleistungen der Wärmepumpen ist zwar der Ausgleich kein vollständiger; da jedoch die zahlenmässige Ermittlung der sich daraus ergebenden Verschiebung dieser Durchschnittswerte nicht ohne, eine allgemein gültige Erkenntnis einschränkende Annahmen durchgeführt werden kann, soll vorerst auf ein weiteres Eingehen auf diese eher verwickelten Verhältnisse verzichtet werden. Wird deshalb an Hand der beiden Leistungszifferkurven ε_{t_L} und $\varepsilon_{t_L = t_a}$ die Veränderung der gesamten Antriebsarbeit nicht auf Grund der erläuterten, theoretischen Ueberlegung, sondern der Messwerte ermittelt, so entsteht mit N als Wert für die Antriebsleistung die Kurve $\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} N$, wodurch der Verlauf des Fehlers festgelegt ist und ein Maximalwert nach Ablauf etwa der Hälfte der Heiztage festgestellt werden kann. Der zahlenmässige Mittelwert des Fehlers unter Berücksichtigung der für die Wärmepumpenanlage des Rathauses gültigen Unterlagen kann zu rund 1,5 % ermittelt werden. Daraus geht hervor, dass mangels Kenntnis der Flusswassertemperaturkurve die Aussentemperaturkurve ohne besondere Gefahr, dadurch ein zu fehlerhaftes Ergebnis zu erhalten, zu Hilfe gezogen werden kann. Dagegen sei nochmals daran erinnert, dass sich vorliegende Ableitung auf eine spezielle Anlage bezieht und eine allgemeine Behandlung des ganzen Fragenkomplexes noch fehlt, jedoch sehr wünschenswert wäre. Die vorliegenden Ueberlegungen sind deshalb nur als Wegleitung für die Behandlung von Wärmepumpenanlagen für Raumheizzwecke gedacht, bis darüber einmal eine umfassendere Literatur zur Verfügung steht[2]).

II. Verbundbetrieb von Wärmepumpe und Elektrospeicher

Bei der Deckung des Wärmebedarfes der Raumheizung durch Elektrizität stellt sich der Verwirklichung der Projekte stets die Divergenz zwischen der Leistungsverteilung des Wärmebedarfes und derjenigen der Energieerzeugung hinderlich entgegen, fällt doch die kälteste Jahreszeit mit ihrem grössten Heizwärmebedarf mit der Periode der geringsten Energieerzeugung zusammen. Dabei geht aus Abb. 3 eindeutig hervor, dass nur während fünfzig Tagen des Jahres die Hälfte der maximalen Heizleistung für die Deckung des Wärmebedarfes nicht ausreichen und mit $^2/_3$ der maximalen Heizleistung sogar der Wärmebedarf aller mit Ausnahme von vier Tagen gedeckt werden könnte. Es ist deshalb naheliegend, für die Deckung des Wärmebedarfs der wenigen, ausgesprochen kalten Tage des Jahres Heizeinrichtungen zu verwenden, die selbst bei relativ höherem Arbeits- oder Wärmeaufwand im Verhältnis zur Wärmelieferung geringe Anschaffungskosten verursachen. Diese Spitzencharakteristik des Wärmebedarfs ist nun für ein Rathaus mit seinem Spitzenbetrieb noch wesentlich ausgeprägter als für ein Wohn- oder Geschäftshaus, und aus diesem Grunde ist die Deckung des Spitzenbedarfes des zürcherischen Rathauses durch Elektrospeicher verwirklicht worden. Es scheint deshalb für zukünftige Projekte von Wert, Klarheit über die verschiedenen Auswirkungen einer derartigen Kombination zu erhalten.

In Abb. 4 sind die Energieverbrauchzahlen dieser Anlage für Wärmepumpe und Elektrospeicher in chronologischer Anordnung aufgetragen, wobei die Energiemengen des Elektrospeichers auf diejenigen der Wärmepumpe aufgesetzt worden sind. Im unteren Teil des Diagramms sind die Temperaturen der Aussenluft und des Limmatwassers als Tagesmittel aufgeführt. Dabei ist für die Beurteilung der Verhältnisse dem bereits verschiedentlich erwähnten Umstand Rechnung zu tragen, dass die Räume nur für und während ihrer Benützung geheizt werden, und der Umfang der Benützung stark von der Intensität des Sitzungsbetriebes abhängt. Es geht aber aus dem Diagramm deutlich hervor, dass sich der Betrieb des Elektrospeichers für den Energielieferanten durch scharf ausgeprägten Spitzenbezug mit stark unterschiedlicher Belastung bemerkbar macht. Zwar sind die Anschlusswerte von 35 kW für die Wärmepumpe und 65 kW für den Elektrospeicher Leistungen, die in einem Energieversorgungsgebiet von der Grösse der Stadt Zürich keine besonders fühlbaren Auswirkungen nach sich ziehen, aber eine derartig zackige Gliederung des Belastungsdiagramms ist für den Energielieferanten trotzdem unerwünscht. Es ist gleichfalls ersichtlich, dass die Leistung der Wärmepumpe bei Erreichen der tiefsten Limmatwassertemperatur bei niedrigster Aussentemperatur stark abfällt, was sich durch entsprechende Leistungszunahme des Elektrospeichers bemerkbar macht. Dieser Sachverhalt ist nicht

[2]) Vgl. unter «Literatur» auf Seite 97. Red.

allein die Folge der Abnahme der Leistungsziffer der Wärmepumpe, sondern auch das Ergebnis einer nicht restlos durchgeführten Betriebstrennung der beiden Wärmeerzeugungseinrichtungen. In der Tat ist von den beiden möglichen Ausführungsarten einer kombinierten und vollautomatisch arbeitenden und einer getrennten, mit halbautomatischer Wirkungsweise arbeitenden Anlage die erste gewählt worden, weil sie an das hauptsächlich für andere Aufgaben beanspruchte Bedienungspersonal das Minimum an Anforderungen stellt. Es scheint jedoch wichtig, darauf hinzuweisen, dass in allen Fällen, in denen erhöhte Ansprüche an die Bedienung gestellt werden können, die halbautomatische Ausführung die Nachteile der gegenseitigen Beeinflussung der Wärmelieferung vermeidet.

Es dürfte von Interesse sein, über die Erfahrungen einer möglichst langen Betriebsperiode unterrichtet zu sein. Zu diesem Zweck sind in Abb. 5 die für den Betrieb der Anlage verbrauchte elektrische Energie und die mit ihrer Hilfe abgegebene Wärmemenge während der Betriebsjahre 1938/41 als Monatsleistungen aufgetragen. Für die erste Hälfte des Jahres 1938 fehlt die Angabe der gelieferten Wärmemenge, weil während dieser Periode die Messapparatur noch nicht genügend genau eingespielt war; die jedoch im Laufe dieser Betriebszeit ermittelten Energiebeträge hätten ohnehin keine zuverlässigen Schlussfolgerungen in Bezug auf die allgemeinen Betriebsverhältnisse zu ziehen erlaubt, weil sie in die Zeit vor der Uebergabe des Gebäudes an seine normale Zweckbestimmung, also in die Periode des Umbaus, fielen. Aus diesem Diagramm ist ersichtlich, dass sich der Betrieb erwartungsgemäss mit guter Regelmässigkeit abwickelt und die Energiebezüge des Elektrospeichers mit jedem Jahr zurückgingen. Beide Ergebnisse sind auf die zunehmende Vertrautheit des Betriebspersonals mit der Anlage zurückzuführen, die insbesondere für den Betrieb des Elektrospeichers von besonderer Wichtigkeit ist, weil es sich mit der Zeit die Erfahrung zu eigen machen muss, den Wärmebedarf eines Sitzungsbetriebes für die verschiedenen klimatischen Bedingungen möglichst zuverlässig vorauszubestimmen. Eine Speicherladung ist nämlich nur dann richtig eingeschätzt, wenn der Speicher am Ende der Sitzung vollständig entladen ist, ansonst Speicherenergie an Stelle von Wärmepumpenenergie verbraucht werden muss, was den Gesamt-Energieverbrauch erhöht. Dem Diagramm ist ferner zu entnehmen, dass das Verhältnis der verbrauchten Wärmepumpenenergie zur Speicherenergie von demjenigen der abgegebenen Wärmepumpenwärme zur Speicherwärme wesentlich verschieden ist. Dabei ist auch hier wieder zu erwähnen, dass der Elektrospeicher ausschliesslich für den Spitzenbetrieb bestimmt ist, während die Wärmepumpe für die Deckung der Heizungsbedürfnisse der übrigen, bei üblicher Arbeitszeit beschäftigten Verwaltungszweige (einschliesslich des an diese Heizanlage angeschlossenen Rathaus-Polizeipostens) dient. Da somit die grossen Wärmebedürfnisse hauptsächlich vom Speicher getragen werden müssen, muss auch sein Anteil am gesamten Wärmeverbrauch verhältnismässig gross ausfallen. Nebenbei ist zu erwähnen, dass die während der Sommermonate verbrauchten Energiemengen ausschliesslich durch den Betrieb der Lüftungsanlage verursacht werden. Die im untern Teil des Diagramms aufgetragenen Monatsmittel der Aussen- und Limmatwassertemperaturen erklären die Veränderungen der Energieverbrauchsmengen als Folge der Witterungsänderungen und lassen die Uebereinstimmung der niedrigsten Aussentemperatur mit dem grössten Energieverbrauch deutlich erkennen. Vor allem kann festgestellt werden, dass infolge grösserer Beeinflussung des Temperaturgefälles in erster Linie die Aussentemperatur, nicht die Limmatwassertemperatur den Energieverbrauch bestimmt.

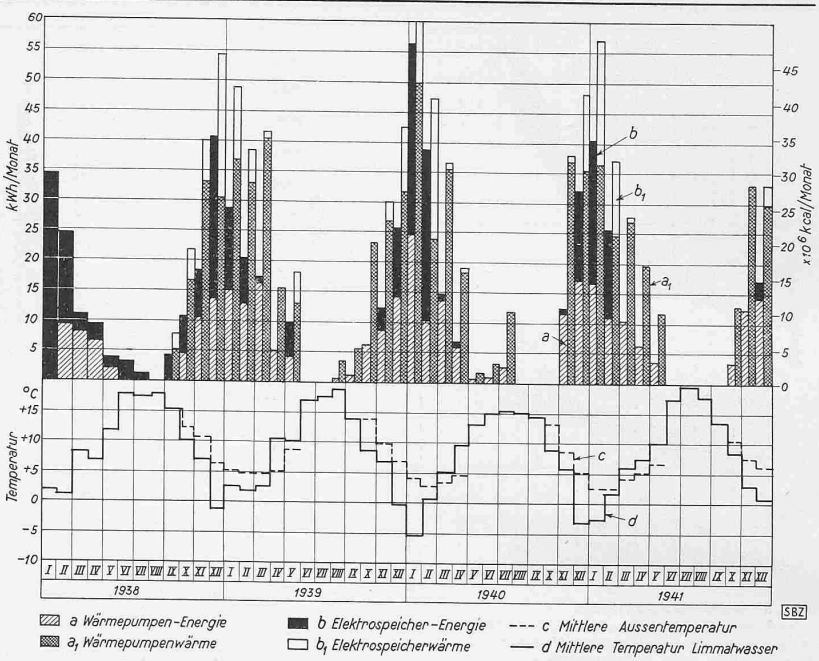

Abb. 5. Monatlicher Energieverbrauch der Zürcher Rathaus-Anlage

In Abb. 6 ist nun die gegenseitige Abhängigkeit von Elektrospeicher und Wärmepumpe ausführlicher dargestellt, wobei sich die Frage nach der vorteilhaftesten Aufteilung der Wärmelieferung zwischen Wärmepumpe und Elektrospeicher stellt. Dabei geht aus dem Grundgesetz von der Erhaltung der Energie hervor, dass im Gegensatz zur Kältemaschine die Leistungsziffer ε einer Wärmepumpe immer grösser als 1 ist, eine analoge Verhältniszahl für den Elektrospeicher dagegen stets gleich 1 sein muss. Jede Kombination von Wärmepumpe und Elektrospeicher wird deshalb eine über 1 liegende, durchschnittliche Leistungsziffer aufweisen müssen und zwar wird sie um so grösser sein, je grösser der Anteil der durch die Wärmepumpe abgegebenen Wärme im Verhältnis zur Gesamtwärme ist. Darnach hätte der Energielieferant Interesse, die Leistung der Wärmepumpe auf Kosten derjenigen des Elektrospeichers möglichst gross zu wählen, während der Energiekonsument diese Leistung so weit zu reduzieren sucht, als ihm dadurch eine möglichst hohe Betriebstundenzahl sichergestellt ist. Da der Energielieferant aber nicht nur an einer möglichst hohen Leistungsziffer, sondern in ebensolchem Masse an einem möglichst niedrigen elektrischen Anschlusswert interessiert ist, erhebt sich die Frage, ob die Vorteile der bessern Leistungsziffer einer reinen Wärmepumpenheizung nicht unter Umständen durch diejenigen eines niedrigeren Anschlusswertes einer Verbundheizung kompensiert werden könnten. Derartige Aussichten bieten in der Tat alle Heizanlagen mit periodisch variablem Wärmebedarf, wie z. B. das vorliegende Objekt eines Rathauses mit seinem mehr oder weniger regelmässigen Sitzungsbetrieb. Aber auch andere Gebäude, wie Verwaltungs- und Geschäftshäuser mit ihrer normalen Heizbelastung während der üblichen Arbeitszeit und der geringern Belastung während der übrigen Zeit des Tages, oder selbst gewöhnliche Wohnhäuser mit ihrem herabgesetzten Heizbetrieb während der Nachtzeit, weisen eine derartige Betriebscharakteristik auf. Für solche Heizanlagen soll deshalb der Verlauf der verschiedenen Energiewerte ermittelt werden.

Bedeuten Q_{tot} den stündlichen Wärmebedarf für eine bestimmte Belastung von Wärmepumpe und Elektrospeicher zusammen, Q_W die entsprechende Wärmemenge der Wärmepumpe und Q_E diejenige des Elektrospeichers, so gilt

$$Q_{tot} = Q_W + Q_E$$

Für die Kombination Wärmepumpe-Elektrospeicher gilt nun vermittelst der Beziehung

$$Q = 860\ \varepsilon N$$

mit N als Antriebsleistung der Wärmepumpe in kW und der Gleichung

$$z_l\, Q_{E_l} = z_e\, Q_{E_e}$$

wobei z_l die Ladezeit, Q_{E_l} die Ladeleistung in kcal/h, z_e die Entladezeit und Q_{E_e} die Entladeleistung des Elektrospeichers darstellen, gegenüber einer ausschliesslichen Wärmepumpenheizung gleicher Wärmelieferung mit entsprechender Antriebsleistung N' und Leistungsziffer ε'

$$860\ \varepsilon' N' = 860\ \varepsilon N + \frac{z_l}{z_e}\, Q_{E_l}$$

Unter der Voraussetzung, dass

$$\varepsilon = \varepsilon'$$

sei, was für die vorliegenden Ansprüche an Genauigkeit zutrifft, *wird die aufzuwendende Antriebsenergie bzw. Wärme nur dann für beide Anlagen gleich, wenn*

$$\varepsilon = \frac{z_l}{z_e}$$

ist, d. h. wenn das Verhältnis der Lade- zur Entladezeit gleich gross ist wie die Leistungsziffer.

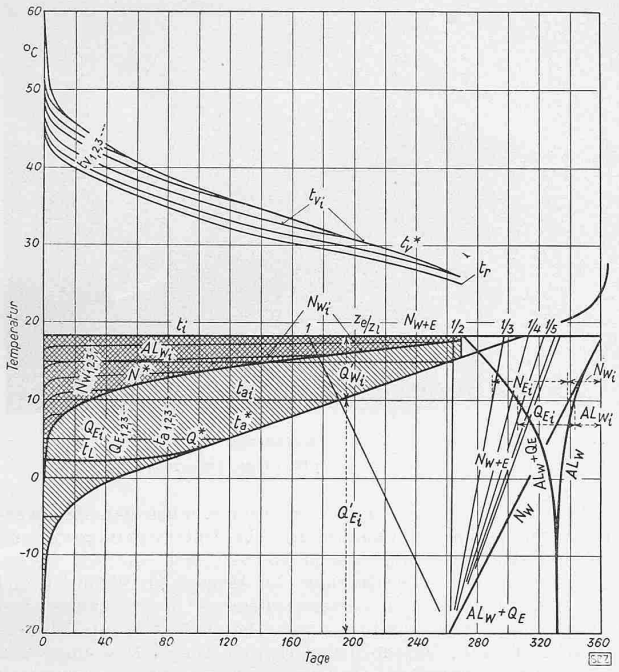

Abb. 6. Leistungsdiagramm, Wärmepumpe + Elektrospeicher

Allgemein gilt, dass wenn

$$\frac{z_l}{z_e} \lessgtr \varepsilon$$

ist,

$$N' \lessgtr N + \frac{Q_{E_l}}{860} \quad \text{wird.}$$

Das heisst, der elektrische Anschlusswert einer ausschliesslichen Wärmepumpenheizung ist gegenüber demjenigen einer Kombination von Wärmepumpe und Elektrospeicher gleicher Leistung nur dann kleiner, wenn das Verhältnis der Lade- zur Entladezeit kleiner ist als die Leistungsziffer der Wärmepumpe.

In Abb. 6 ist wiederum wie früher der Verlauf der Aussentemperatur, der Innentemperatur, der Limmatwassertemperatur und daraus abgeleitet Vor- und Rücklauftemperatur des Zentralheizungswassers ihren zu- bzw. abnehmenden Werten nach aufgetragen. An Hand dieser Beziehungen kann wiederum in bekannter Weise die zugeordnete Kurve der Antriebsleistung ermittelt werden. Wird nun vorausgesetzt, dass in einer kombinierten Anlage die Grundlast des Wärmebedarfs durch die Wärmepumpe und die verbleibende Spitzenlast durch den Elektrospeicher gedeckt werde, wobei die Leistungsaufteilung derart vollzogen wird, dass die Wärmepumpe bis zu einer bestimmten Aussentemperatur die gesamte Wärmemenge aufbringt, während die Nachwärmung des Heizungswassers im Elektrospeicher derart stattfindet, dass die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf des Zentralheizungswassers nach Massgabe der Leistungsanteile aufgeteilt wird, so wird durch Variieren des Leistungsverhältnisses zwischen Wärmepumpe und Elektrospeicher eine Schar horizontaler Temperaturgerader $t_{a_{1,\,2,\,3,\,\ldots}}$ erhalten, der für das Zentralheizungswasser eine Schar Vorlauftemperaturen $t_{v\ 1,\,2,\,3,\,\ldots}$ entspricht. Diese beiden Kurvenscharen ermöglichen die Ermittlung einer dritten Kurvenschar, nämlich derjenigen der Antriebsleistungen der Wärmepumpen für die verschiedenen Lastverteilungen $N_{W\ 1,\,2,\,3,\,\ldots}$. Die Flächeninhalte zwischen der Geraden der Innentemperatur t_i und den einzelnen Leistungskurven $N_{W\ 1,\,2,\,3,\,\ldots}$ stellen nun die verschiedenen Antriebsarbeiten und diejenigen zwischen der Innentemperatur t_i und den Temperaturgeraden $t_{a\ 1,\,2,\,3,\,\ldots}$ die dadurch erzielten Wärmemengen der Wärmepumpe während einer ganzen Heizperiode dar, wogegen die Flächeninhalte zwischen den Temperaturgeraden $t_{a\ 1,\,2,\,3,\,\ldots}$ und der Aussentemperatur $t_a{}^*$ die während der Heizperiode abgegebenen Wärmemengen des Elektrospeichers darstellen. Wird nun die während einer Heizperiode aufgewendete Energie als Summe der Antriebsarbeit der Wärmepumpe und der Elektrospeicherwärme den verschiedenen Leistungsverhältnissen zugeordnet aufgetragen, so entsteht daraus die Kurve $AL_W + Q_E$, die den Verlauf der Antriebsenergie einer kombinierten Wärmepumpen-Elektrospeicherheizung in Funktion sämtlicher möglichen Leistungsverhältnisse darstellt. Ihr Verlauf zeigt, dass die Antriebsenergie mit zunehmender Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Aussentemperatur bis auf 0 ° C stark abnimmt, während sie für den verbleibenden Teil des Verlaufs nahezu konstant bleibt. Im gleichen Diagramm sind ebenfalls die zugeordneten Antriebsleistungen für Wärmepumpe und Elektrospeicher eingetragen, wobei ersichtlich ist, dass für den vorliegenden Leistungszifferverlauf alle Werte für $\frac{z_e}{z_l} \lessapprox {}^1/_2$ einen kleineren Anschlusswert aufweisen als derjenige einer Wärmepumpe für die Deckung des gesamten Wärmebedarfs. Dabei sind dem Diagramm keinerlei absolute Werte der Leistung, weder der Wärmepumpe noch des Elektrospeichers zu Grunde gelegt, sondern nur die gegenseitigen Verhältniszahlen; es hat deshalb für alle Heizleistungen Gültigkeit.

III. Allgemeines

Die bis heute verflossenen fünf Betriebsjahre haben gezeigt, dass eine Wärmepumpenanlage nicht nur ebenso leicht, sondern wesentlich leichter zu handhaben ist als eine gefeuerte Heizanlage. Darüber hinaus hat sowohl die Wärmepumpe als auch der Elektrospeicher den Vorteil, dass die entsprechenden thermischen Wirkungsgrade bei allen Betriebsverhältnissen 1 betragen, der Betrieb als Heizeinrichtung also unter allen Umständen verlustlos verläuft. Bei Betriebsaufnahme solcher Anlagen ist es wichtig, die verschiedenen Kontrollinstrumente wie Thermometer, Manometer, Flüssigkeitstände usf. regelmässig zu überprüfen; mit der Zeit ist es möglich, die richtige Arbeitsweise der Maschine aus ihrem Geräusch zu beurteilen. Sorgfältige Ueberwachung der Anlagen ist eigentlich nur bei tiefsten Wassertemperaturen nötig, während der übrigen Zeit können sie ebenso wie Kühlschränke sich selbst überlassen werden. Dabei hat eine Wärmepumpe den Vorteil, dass sie besonders während der Uebergangszeit, während der sich der Betrieb einer Feuerungsanlage wegen des schlechten Wirkungsgrades bei schwacher Belastung noch nicht lohnt, mit besonders geringer Antriebsenergie arbeitet. Auch in Bezug auf die Betriebsdauer gestaltet sich der Betrieb selbst für kürzeste Betriebsperioden ebenso vorteilhaft wie ein elektrischer Heizkörper, z. B. bei Heizbetrieb von nur ein paar Stunden am Morgen oder am Abend.

Die Erzielung eines befriedigenden Betriebes eines Elektrospeichers ist nur an die eine Bedingung des einwandfreien Zustandes der Isolation gebunden. Dieses Aggregat wird übrigens bei grösseren Anlagen unter die Ueberwachungspflicht des Vereins Schweizerischer Dampfkesselbesitzer fallen, womit die Beachtung eines zweckmässigen Unterhaltes zwangläufig gewährleistet ist.

Eine grosszügige nationale Siedlungs-Aktion
durch Gründung der «Hans Bernhard-Stiftung»

Im Lauf der letzten 100 Jahre hat sich unser Land aus einem Agrar- zu einem Industrie-Staat entwickelt. Als Folge davon nahm die an sich natürliche Abwanderung vom Land in die Stadt ein Ausmass an, das nur mit dem Begriff L a n d f l u c h t charakterisiert werden kann. So wuchs einerseits der städtische Bevölkerungsanteil seit der Mitte des letzten Jahrhunderts von 6 auf über 30 %, während gleichzeitig die bäuerliche Bevölkerung von rd. 50 auf 21 % zurückging. Noch klarer als mit den Verhältniszahlen offenbart sich diese Bevölkerungsbewegung, wenn man sich vorstellt, dass in einem Zeitraum von 25 Jahren mehr als 25 000 landwirtschaftliche Betriebe von der Bildfläche verschwanden; mit anderen Worten ist also j e d e s J a h r e i n s t a t t l i c h e s s c h w e i z e r i s c h e s B a u e r n d o r f m i t ü b e r 1 0 0 0 L a n d w i r t s c h a f t s b e t r i e b e n u n t e r g e g a n g e n.

Trotz dieser schreckhaft wachsenden Gefahr sowohl für die Garantierung eines gesunden Nachwuchses als auch für die Sicherung unserer Nahrungsmittelproduktion gelang es nicht, der Landflucht Einhalt zu gebieten. Selbst die Krisenjahre, während denen in den Städten durchschnittlich 70 000 Arbeitslose unterstützt werden mussten, wurden nicht dazu verwendet, um der Landwirtschaft die fehlenden 60 000 Arbeitskräfte zur Verfügung zu stellen und die Ackerfläche wieder auf die früheren 300 000 ha auszudehnen.

Erst die Not der gegenwärtigen Kriegszeit führte das Denken unseres Volkes wieder zum B o d e n zurück und stellte die Notwendigkeit und Bedeutung einer gesunden und leistungsfähigen Landwirtschaft klar vor Augen. Mit der Durchführung des Planes Wahlen wurden von Volk und Behörden grösste Anstrengungen unternommen, um unsere Nahrungsmittelversorgung möglichst selbstgenügend zu gestalten. Mit letzter Hin-