

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 29 (1938)
Heft: 11

Artikel: Die Wärmepumpenheizung des zürcherischen Rathauses
Autor: Egli, Max
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059379>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 28.04.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 51.742
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXIX. Jahrgang

Nº 11

Mittwoch, 25. Mai 1938

Die Wärmepumpenheizung des zürcherischen Rathauses

Von Max Egli, Zürich.

621-181.63

Schon lange spricht man von der elektrisch angetriebenen Wärmepumpe als einer Möglichkeit der wirtschaftlichen Verwendung der Elektrizität zur Raumheizung (siehe z. B. Bull. SEV 1937, Nr. 18, S. 429), aber die Frage, ob dieser in der Physik längst bekannte Apparat in der Praxis wirklich wirtschaftlich sei, wird noch diskutiert. Die besonderen Verhältnisse im Zürcher Rathaus ermöglichten nun einen Grossversuch. Die Fachleute rechnen es den zuständigen Behörden und Beamten hoch an, dass sie zu diesem aufschlussreichen Experiment wagemutig Hand boten und den Konstrukteuren Gelegenheit gaben, ihre Ideen unter Beweis zu stellen. Ueber diese Anlage wird im folgenden berichtet. Es handelt sich dabei um die Wiedergabe eines Vortrages, den der Autor am 24. März 1938 vor der Technischen Gesellschaft Zürich hielt. Da diese Gesellschaft Ingenieure aller Disziplinen und technisch interessierte Laien umfasst, musste allerlei gesagt werden, was unsere Leser gut kennen; das gilt besonders für das rein Energiewirtschaftliche. Der Vollständigkeit halber geben wir auch diese Teile wieder.

Einleitend sei versucht, das Prinzip der Wärmepumpe in einfachen Worten zu erläutern. Die Wärmepumpe «pumpt» Wärme aus einem Wärmeträger niederer Temperatur (z. B. Wasser oder Luft) in einen Wärmeträger höherer Temperatur. Der erste Wärmeträger ist im vorliegenden Fall das Wasser der Limmat, an der das Rathaus steht; der zweite Wärmeträger ist das Zentralheizungswasser. Ein Wärmeübergang von einem Wärmeträger auf einen andern, der höhere Temperatur hat, geht nach den Gesetzen der Thermodynamik nicht von selbst vor sich, sondern er ist nur möglich, wenn von aussen Arbeit zugeführt wird; diese Arbeit wird in der Wärmepumpe auch in Wärme umgewandelt und wird, zusammen mit der dem Limmatwasser entzogenen Wärme, zur Aufheizung des Zentralheizungswassers benützt. Der Wärmepumpenprozess geht etwa folgendermassen vor sich:

Das Limmatwasser, das während der Heizperiode etwa 3 bis 15° C warm ist, wird benützt, um eine von den Kühlschränken her bekannte Flüssigkeit, die bei niedriger Temperatur, z. B. bei — 7° C und einem absoluten Druck von 2,5 kg/cm², siedet, zu verdampfen. Die hierzu nötige Wärme wird also dem Limmatwasser entzogen, so dass sich dieses abkühlt. Dann fliesst es in die Limmat zurück. Der Dampf, der nun die dem Limmatwasser entzogene Wärme enthält, wird durch einen Kompressor verdichtet. Dadurch nimmt er bei konstantem Volumen die Kompressionsarbeit auf, so dass seine Temperatur steigt. Die Kompression erfolgt so stark, dass die Dampftemperatur höher wird als die des Zentralheizungswassers. Der Dampf enthält nun Wärme aus zwei Quellen: die aus dem Limmatwasser und die, welche der Kompressor aus der ihm durch den Motor zugeführten Energie erzeugt hat. Er gibt nun Wärme an das kältere Zentralheizungswasser ab, wodurch dessen Temperatur steigt und zur Heizung der Räume benützt werden kann. Durch die Wärmeabgabe an das Zentralheizungswasser kühlt sich der Dampf ab und kondensiert sich zur Ausgangsflüssigkeit, die nun allerdings unter hohem Druck (Grössenordnung 15 kg/cm²) steht. Durch ein Reduzierventil wird sie auf die ursprünglichen Werte von Druck und Temperatur entspannt und kann den Kreislauf von neuem beginnen.

Welche Rolle spielt die Elektrizität bei diesem Apparat? Sie wird benützt, um durch einen Elektromotor den Kom-

Il est depuis longtemps question du chauffage des locaux par thermo-pompe actionnée électriquement, en vue d'utiliser d'une façon économique l'énergie électrique (cf. Bull. ASE 1937, No. 18, p. 429 ff). De nombreux spécialistes prétendent encore que ce système, bien connu en physique, serait réellement très peu économique en pratique. Les conditions particulières de l'Hôtel de ville de Zurich ont permis d'entreprendre un essai sur une grande échelle. Les spécialistes sont très reconnaissants aux autorités et aux fonctionnaires d'avoir eu le courage de leur permettre de réaliser cette expérience extrêmement intéressante et d'offrir aux constructeurs l'occasion de mettre leur projet à l'épreuve.

Cet article est tiré de la conférence que l'auteur a faite au Cercle Technique de Zurich, le 24 mars 1938. Cette société groupant des ingénieurs de toutes les disciplines, voire même des membres non-techniciens, il était nécessaire d'entrer dans certains détails, qui sont bien connus de nos lecteurs, en particulier les questions relatives à l'énergie. Toutefois, ces détails figurent également dans le présent article, afin qu'il soit complet.

Le principe de la thermo-pompe est tout d'abord exposé d'une façon aussi simple que possible. La thermo-pompe soutire de la chaleur d'un agent à température relativement basse (par exemple de l'eau ou de l'air) et l'amène à un agent à température plus élevée. Dans l'installation de Zurich, le premier agent est l'eau de la Limmat, qui coule près de l'Hôtel de ville. Le second agent est l'eau du chauffage central. Selon les lois de la thermodynamique, un cycle de ce genre ne peut pas s'effectuer de lui-même, comme dans le cas du cycle inverse. Il faut pour cela l'appoint d'un certain travail. Ce travail est également transformé en chaleur dans la thermo-pompe et sert, avec la chaleur soutirée de l'eau de la Limmat, au chauffage de l'eau du chauffage central. Le cycle de la thermo-pompe est en quelque sorte le suivant: L'eau de la Limmat, dont la température est de 3 à 15° C durant l'hiver, est utilisée pour provoquer la vaporisation d'un liquide bien connu dans l'industrie des réfrigérateurs, qui bout à basse température (par exemple à — 7° C sous une pression absolue de 2,5 kg/cm²). La chaleur nécessaire est donc soutirée de l'eau de la Limmat, qui se refroidit. Cette eau retourne ensuite à la rivière. La vapeur, qui renferme ainsi la chaleur soutirée de cette eau, est alors comprimée par un compresseur et s'échauffe à tel point qu'elle devient plus chaude que l'eau du chauffage central. Cette vapeur renferme donc la chaleur de deux sources: celle de l'eau de la Limmat et celle fournie par le compresseur, qui la tire de l'énergie fournie à son moteur. La vapeur surchauffée cède sa chaleur à l'eau plus froide du chauffage central, dont la température augmente de ce fait et qui sert au chauffage des locaux. Par suite de cette cession de chaleur, la vapeur se refroidit; elle se condense et redevient un liquide, qui se trouve évidemment à une pression élevée, de l'ordre de 15 kg/cm²). Une soupape de réduction le ramène à sa pression et à sa température initiales, et le cycle peut recommencer.

Quel est le rôle de l'électricité dans cet appareil? Elle intervient pour actionner le moteur du compresseur, ainsi que diverses pompes auxiliaires d'importance secondaire. Le moteur transforme l'énergie électrique en énergie mécanique, qui est elle-même transformée en chaleur par le compresseur.

pressor (und einige belanglose Hilfspumpen) anzutreiben. Der Motor verwandelt die Elektrizität in mechanische Arbeit, der Kompressor die mechanische Arbeit in Wärme, und zwar für jede vom Motor aufgenommene kWh 860 kcal minus die Verluste der Maschinen. (Die elektrische Widerstandsheizung gibt das theoretische Äquivalent von 860 kcal/kWh.) Nun entzieht aber die Maschinengruppe noch viel Wärme dem Limmatwasser. Beide Wärmemengen zusammen heizen das Zentralheizungswasser. So «erzeugt» die Wärmepumpe aus einer kWh Elektrizität mehr als das theoretische Äquivalent von 860 kcal an Wärme, nämlich, im Rathaus, über 2000. Darin ist die Wärmepumpe zum vornherein der elektrischen Widerstandsheizung überlegen.

Natürlich könnte statt des Elektromotors eine andere Antriebsart verwendet werden, z. B. eine Wasserturbine oder ein anderer Primärmotor; der Elektromotor ist aber viel praktischer und billiger als die andern Antriebsmittel. Die Wärmepumpe ist also ein Mittel, um die Elektrizität zur Raumheizung zu verwenden. Daher bedeutet der grosszügige Versuch im Zürcher Rathaus für die Elektrizitätswerke ein äusserst interessantes Unternehmen.

Im folgenden Aufsatz werden die Voraussetzungen, die zum Bau der Anlage führten, die Projektierung und die Ausführung beschrieben. Die Anlage ist ganz bedienungslos; sie ist automatisch gesteuert. Im Sommer wird sie durch Umstellen von 4 Ventilen zur Kühlung benützt, denn die Wärmepumpe ist nichts anderes als eine Kühlmachine mit zwei vertauschten Aggregaten. Im Heizungsbetrieb wird das Limmatwasser gekühlt und das Rathaus erwärmt; im Kühlbetrieb wird das Rathaus gekühlt und das Limmatwasser erwärmt. Die einfache Umstellung der Wärmepumpe auf Kühlbetrieb sichert ihr einen weiteren Vorteil gegenüber anderen Heizungsarten. Schliesslich werden einige Angaben über die Baukosten und, auf Grund der kurzen Betriebszeit (3 Monate), einiges über die Betriebskosten gesagt. Es scheint möglich zu sein, bei der Wärmepumpe einen Äquivalenzpreis gegenüber Kohleheizung von 3 bis 5 Rp./kWh zu erzielen. (Die Redaktion.)

Einleitung.

Beim Umbau des Rathauses des Kantons Zürich zeigte sich, dass infolge der baulichen Verhältnisse von der Erstellung einer kohlengefeuerten Kesselanlage für die Zentralheizung von vornherein abgesehen werden musste. Es wurde daher die Möglichkeit der Verwendung der Elektrizität zu Heizzwecken mit aller Gründlichkeit untersucht. Für diese Untersuchung wurde vorerst in einem Diagramm der Tagesenergiebedarf für Heizung der bereits bestehenden Netzbelastung des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich gegenübergestellt (Fig. 1). Im oberen Teil des Diagramms ist die vom Elektrizitätswerk der Stadt Zürich im Verlauf von 24 Stunden abgegebene Leistung aufgezeichnet. Daraus ist ersichtlich, dass während der Tageszeit von 7 h bis 20 h grosse Lastanschlüsse mit Ausnahme der Zeitintervalle von 9 h bis 11 h und 12.30 h bis 16 h nicht erwünscht sind. In der übrigen Zeit weist das Netz dagegen nur eine mittlere Belastung auf; die Möglichkeit der Abgabe von Elektrizität zu niedrigem Preis wäre somit grundsätzlich vorhanden; insbesondere könnte ohne Schwierigkeiten Nachtenergie abgegeben werden. Diesen Kurven ist nun im unteren Teil des Diagramms der Verlauf des Energiebedarfs für Heizung für die gleichen 24 Stunden durch Auftragen der Aussentemperatur über der Ordinate gegenübergestellt. Die benötigte Heizenergie kann für eine Innenraumtemperatur von 18° C durch die schraffierte Fläche dargestellt

Pour chaque kWh absorbé par le moteur, on obtient ainsi 860 kcal, dont il faut déduire les pertes des machines. (Le chauffage électrique par résistances donne l'équivalent théorique de 860 kcal/kWh.) D'autre part, le groupe de machines soutire en outre de la chaleur à l'eau de la Limmat. Ce sont ces deux sources de chaleur qui contribuent à l'élévation de température de l'eau du chauffage central. La thermo-pompe produit donc avec un kWh d'électricité plus de chaleur que l'équivalent thermique de 860 kcal, soit plus de 2000 kcal dans le cas de l'installation de Zurich. Le thermo-pompage est donc nettement supérieur au chauffage électrique par résistances.

Le moteur électrique pourrait être évidemment remplacé par un autre genre de commande, par exemple par une turbine hydraulique ou tout autre moteur primaire. Le moteur électrique est toutefois le plus pratique et le moins cher. La thermo-pompe offre donc la possibilité d'utiliser l'électricité pour le chauffage des locaux. L'important essai entrepris dans l'Hôtel de ville de Zurich est donc extrêmement intéressant pour les centrales électriques.

Cet article indique les raisons qui ont conduit à l'installation de Zurich, dont il décrit le projet et l'exécution. Cette installation est entièrement automatique. Elle peut être utilisée en été pour la réfrigération des locaux, par une simple commutation de 4 vannes, car la thermo-pompe n'est pas autre chose qu'un réfrigérateur dont le cycle est inversé. Pour le service de chauffage, l'eau de la Limmat est refroidie et l'Hôtel de ville chauffé; pour le service de réfrigération, c'est l'Hôtel de ville qui est refroidi et l'eau de la Limmat qui est réchauffée. La simplicité de l'inversion de la thermo-pompe en vue du service de réfrigération lui confère un nouvel avantage sur les autres systèmes de chauffage. Enfin, l'auteur donne quelques chiffres sur les frais de construction et aussi, appuyé sur les observations recueillies depuis la récente mise en service (3 mois seulement), quelques indications sur les frais d'exploitation. Il semble possible d'atteindre avec la thermo-pompe, vis-à-vis du chauffage à la houille, un prix d'équivalence de 3 à 5 cts/kWh.

(La Rédaction.)

werden. Der Leistungsbedarf ist darnach bei bedecktem Himmel während eines Tages nahezu konstant, während die Temperaturkurve an einem sonni-

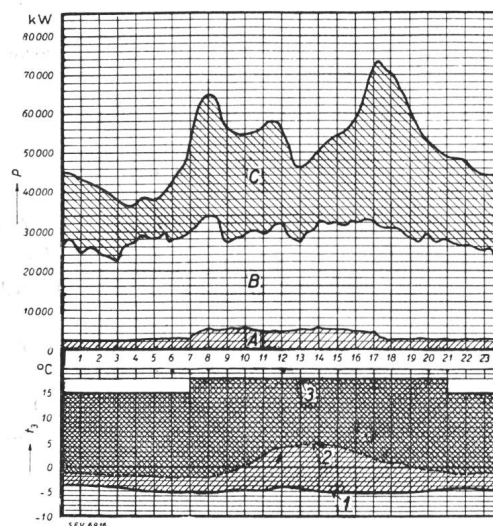


Fig. 1.

Oben: Belastung (P) des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich am 13. Dezember 1935.

A Fremdbezug.

B eigene Laufwerke.

C eigene Speicherwerke.

Unten: Verlauf der Aussentemperatur (t) in Zürich

1 am 13. Dezember 1935 (bedeckt),

2 an einem sonnigen Wintertag,

3 zweckmässige Solltemperatur in Innenräumen.

Der Temperaturverlauf ist ein Mass für den Verlauf des Wärmebedarfes pro Zeiteinheit.

gen Wintertag etwa der punktierten Linie (2) entspricht. Es geht daraus deutlich hervor, dass die Energielieferung für Heizung gerade dann voll beansprucht wird, wenn die Abgabe für die Befriedigung der übrigen Bedürfnisse an Elektrizität gross ist, dass ferner nicht nur keine der Netzbelastungskurve entsprechenden Sperrzeiten zugelassen werden können, sondern dass überdies die Zeitspanne verminderten Heizbedarfes ausgerechnet mit derjenigen der schwachen Tagesbelastung des Netzes zusammenfällt.

Liegen schon die Verhältnisse für Energielieferung zu Raumheizzwecken für den Tagesbetrieb nicht sonderlich günstig, so stellen sie sich für den Jahresbetrieb noch weit unvorteilhafter. Fig. 2 zeigt das Diagramm der monatlichen Energiepro-

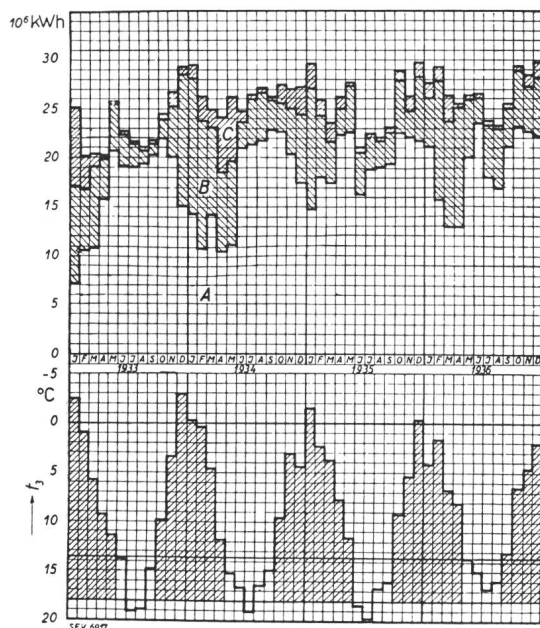


Fig. 2.

Oben: Monatliche Energieabgabe des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich von 1933 bis 1936, in Millionen kWh.

A aus eigenen Kraftwerken.
B aus eigenen Speicherwerken.
C Fremdbezug.

Unten: Verlauf des monatlichen Heizenergiebedarfes von 1933 bis 1936 bzw. der Aussentemperatur (t_a).

duktion des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich für die Jahre 1933 bis 1936. Im untern Teil des Diagramms sind die Monatsmittel der Aussentemperaturen und als schraffierte Flächen der erforderliche Wärmebedarf für Raumheizung für eine Innentemperatur von 18° C aufgezeichnet, wobei eine Aussentemperatur für Inbetriebnahme der Heizung von weniger als 13,5° C vorausgesetzt ist. Es ist aus dem Diagramm ersichtlich, dass mit Ausnahme einiger durch ungewöhnliche Niederschlagsverhältnisse verursachte Verschiebungen die Belastungsspitzen für Heizbetrieb in die Zeiten der maximalen Beanspruchung der Speicherwerke fallen. Da aber der Äquivalenzpreis für die kWh schon gegenüber einer kohlengefeuerten Zentralheizungsanlage nur etwa 1,2 Rp. und selbst gegenüber einer gasölbeheizten nur etwa 1,5 Rp. ausmacht, der mittlere Gestehungspreis der Winterenergie der schweizerischen Elektrizitätswerke aber mehr als das Dop-

pelte davon beträgt, ist die elektrische Raumheizung ohne finanzielle Belastung der Elektrizitätswerke oder der Konsumenten als einfache Widerstandsheizung nicht zu verwirklichen.

So entmutigend diese Erkenntnis war, so fördernd wirkte sie auf das Suchen nach praktisch möglichen Auswegen. Es wurden bis heute deren zwei gefunden. Der eine besteht in der Anwendung der Wärmespeicherung, welche die Einstellung der Energielieferung während der Spitzenzeiten des Netzes erlaubt. Wenn es möglich ist, Wärme für Raumheizzwecke für die Zeit zu speichern, während der das Netz im allgemeinen und die Hochdruckwerke im besondern stark belastet sind, und sie zusätzlich zu der während der übrigen Zeit benötigten Heizenergie abzugeben, so kann wohl ein in der Gegend des Brennstoffäquivalenzpreises liegender Kilowattstundenpreis ohne finanzielle Zugeständnisse des Elektrizitätswerkes erreicht werden. Der andere Weg besteht in der Ausnützung kostenloser Wärme aus der Umwelt durch mit elektrischer Energie betriebene Maschinen. Eine derartige thermodynamische Prozesse verwirklichende Maschine ist die Wärmepumpe. Im Zürcher Rathaus wurde dieser Weg beschritten.

Die Wärmepumpe.

Das Verständnis der Arbeitsweise einer Wärmepumpe setzt die Kenntnis einiger weniger Grundbegriffe der Thermodynamik voraus. Man muss wissen, dass bei der Kompression eines Gases oder Dampfes ohne Wärmeentzug dessen Temperatur steigt, dass für einen Dampf bei einer bestimmten Temperatur ein bestimmter Druck für die Durchführung der Verflüssigung und umgekehrt, für die Verdampfung jeder Flüssigkeit bei gegebener Temperatur ein bestimmter Druck nötig ist und dass für die Verdampfung einer Gewichtseinheit Flüssigkeit bei einer bestimmten Temperatur eine bestimmte Wärmemenge zugeführt werden muss, die bei der Verflüssigung derselben Menge Dampf bei gleicher Temperatur wieder restlos frei wird.

Fig. 3 zeigt das Schema einer Wärmepumpenanlage. Es wird aus einem Fluss Wasser durch einen von Rohrschlangen durchzogenen Behälter, den Verdampfer, gepumpt. In diesem wird der Druck einer darin enthaltenen, leicht verdampfenden Flüssigkeit derart eingestellt, dass die zugehörige Temperatur wesentlich unter derjenigen des aussen an den Rohrschlangen vorbeiströmenden Wassers liegt. Dieser Temperaturunterschied bewirkt einen Wärmeübergang vom Wasser durch das Rohr an die leicht siedende Flüssigkeit und bringt sie dadurch zur Verdampfung. Die so erzeugten Dämpfe, welche die vom Wasser abgegebene Wärme enthalten, werden nun von einem Kompressor abgesaugt und, ohne Wärme abzugeben, verdichtet, so dass sich ihre Temperatur erhöht. Hierauf strömen sie durch ein zweites, in einem von Zentralheizungswasser durchflossenen Behälter befindliches Rohrschlängensystem, den Verflüssiger, in dem der Druck wiederum so eingestellt ist, dass die zugeordnete Dampftemperatur über derjenigen des Zentralheizungswassers liegt. Dadurch entsteht ein

Wärmefluss vom Dampf durch das Rohr an das Wasser, so dass sich die Dämpfe verflüssigen. Auf diese Weise wird die dem Flusswasser entzogene Verdampfungswärme mit Ausnahme der latenten Flüssigkeitswärme an das Zentralheizungswasser übertragen. Nachdem diese Flüssigkeit noch durch ein Reduzierventil entspannt worden ist, kann sie in den Verdampfer zurückfliessen.

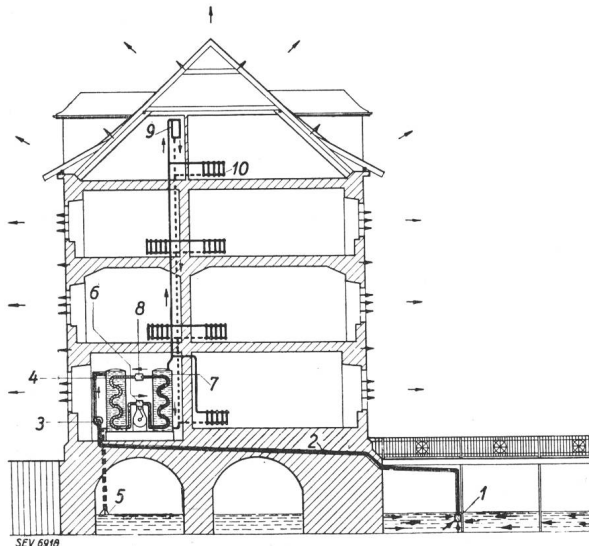


Fig. 3.

Prinzip der Wärmepumpenheizung.

- 1 Saugkorb. 2 Flusswasser-Zulauf. 3 Flusswasserpumpe.
4 Verdampfer. 5 Flusswasserrücklauf. 6 Kompressor.
7 Verflüssiger. 8 Reduzierventil. 9 Expansionsgefäß.
10 Radiatoren.

Die ununterbrochene Ueberführung von Flusswasserwärme an das Zentralheizungswasser bedingt einen kontinuierlichen Kreisprozess des Wärmeträgers, den die Maschinenanlage in Gang hält. Dieser Wärmeträger ist Dichlordifluormethan, im Handel kurz als Freon 12 bezeichnet, ein Stoff, der hauptsächlich in Amerika hergestellt wird. Er hat als Flüssigkeit ein spezifisches Gewicht von 1,4 kg/dm³ und ist in Dampfform geruchlos, ungiftig und druckbeständig. Bei 0° C beträgt aber seine Verdampfungswärme nur 37 kcal/kg. Bei 0° C beträgt der absolute Verdampfungsdruck 3,15 kg/cm² oder, beispielsweise, bei -7° C 2,5 kg/cm²; bei einer Vorlauftemperatur des Zentralheizungswassers von 60° C erreicht das Freon eine Kondensationstemperatur von 65° C bei einem absoluten Druck von 18 kg/cm².

Die Bestimmung der Leistung einer Wärmepumpe.

Der in der Thermodynamik bekannte, das Wesen der Wärmepumpe charakterisierende Carnotsche Kreisprozess zeigt nun in einer seiner Folgerungen, dass das Verhältnis der aufzuwendenden zur abgegebenen Leistung der verlustlosen Maschine

$$\eta_{th} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

beträgt, wobei T_1 die abs. Temperatur des Wärmeträgers am Austritt und T_2 am Eintritt der Maschine bezeichnet; es ist in Fig. 4 als gestrichelte Linie eingetragen. Die aufgezeichnete Kurvenschar zeigt

demgegenüber die Leistungsverhältnisse unter Einbezug sämtlicher Verluste. Aus Erfahrung weiss man, dass die Limmatwassertemperatur nicht unter 3° C sinkt, aber sehr wohl bei Heizbeginn noch 15° C betragen kann. Die aufzuwendende Antriebsleistung ist um so geringer, je niedriger die mittlere Zentralheizungswassertemperatur ist. Dessen untere Grenze ist durch die Grösse der in den

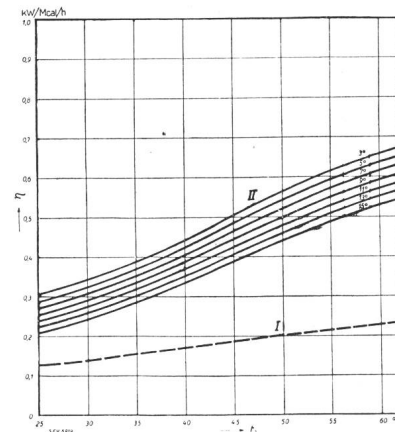


Fig. 4.

Spezifische Antriebsleistung (η) der Wärmepumpe in kW/1000 kcal/h in Funktion der Vorlauftemperatur (t_2) der Zentralheizung in °C.

- Kurven der vom Antriebsmotor des Wärmepumpenkompressors aufgenommenen spezifischen Leistung, inkl. aller Verluste der Wärmepumpe und der Leistungsaufnahme der Wasserzirkulationspumpen, für verschiedene Flusswassertemperaturen.
----- Theoretische Kurve für den verlustlosen Kreisprozess.

Fensternischen noch unterzubringenden Heizkörper gegeben, wobei die mit abnehmendem Temperaturunterschied zwischen Heizkörper und Innenraum auftretende Verschlechterung des Wärmeübergangskoeffizienten der Radiatoren zu berücksichtigen ist.

Nach diesen Grundlagen lässt sich das Verhältnis des Leistungsaufwandes der Wärmepumpe zu der stündlich gelieferten Wärmemenge rechnerisch bestimmen. In Fig. 5 stellt die Kurve *a* die Tem-

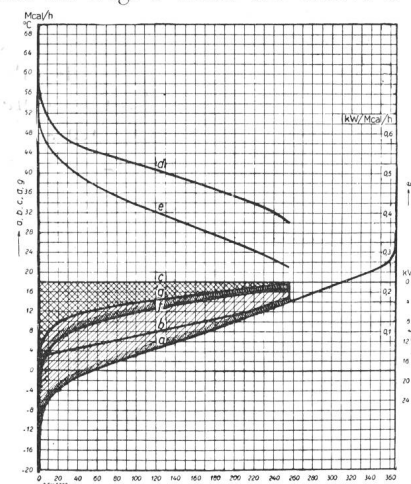


Fig. 5.

- Häufigkeitskurven auf Grund 60jähriger Erhebungen in Zürich.
a Kurve der mittleren Tagestemperatur in °C. Beispiel An 200 Tagen liegt die mittlere Tagestemperatur unter 10° C, bzw. an 165 Tagen über 10° C.
b Kurve der Temperatur des Limmatwassers in °C.
c Einzuhalten Raumtemperatur in °C.
d Kurve der Vorlauftemperatur des Zentralheizungswassers in °C.
e Kurve der spezifischen Antriebsleistung in kW/Mcal/h.
f Kurve der Antriebsleistung in kW.
g Kurve der stündlich zugeführten Arbeit in Mcal/h.

peraturhäufigkeit in Funktion der Tagzahl dar; sie gibt die Zahl der Tage des Jahres an, die unter einer bestimmten mittleren Tagestemperatur liegen. An allen Tagen unter $13,5^{\circ}\text{C}$ Aussentemperatur soll geheizt und als Innenraumtemperatur während des ganzen Tages 18°C eingehalten werden. In Ermangelung vorhandener Messresultate wurde die lineare Temperaturzunahme des Limmatwassers mit der Tagzahl und die Uebereinstimmung des kältesten Tages des Jahres mit dem Tag des kältesten Limmatwassers entsprechend der Geraden *b* vorausgesetzt. Durch die Kenntnis der Wärmeübergangszahl der Heizkörper ist die Vorlauftemperatur *d* für jede Aussentemperatur bestimmt. Mit dieser Kurve und der Geraden der Limmatwassertemperatur kann aus dem Diagramm Fig. 4 die Kurve der spezifischen Antriebsleistung *e* für alle Tage des Jahres ermittelt werden, für die auf der rechten Seite des Diagramms der Maßstab vom Temperaturnullpunkt nach oben aufgetragen ist. Multipliziert man den Temperaturunterschied zwischen Innen- und Aussentemperatur mit den entsprechenden Konstanten, so erhält man die für die Heizung stündlich nötige Wärmemenge. Diese mit der spezifischen Antriebsleistung multipliziert ergibt die wirkliche Antriebsleistung. Diese Rechnung, für alle Tage des Jahres durchgeführt, ergibt die Kurve *f*. Die Fläche, gebildet aus der Kurve *a*, der Vertikalen durch den Schnittpunkt der Kurve *a* mit der Aussentemperatur $13,5^{\circ}\text{C}$, der Geraden *c* der Innentemperatur und der Ordinate, ist ein Mass für die jährlich abzugebende spezifische Heizarbeit; die Fläche, gebildet aus den genannten Geraden und der Kurve *f*, gibt die aufzuwendende spezifische Antriebsarbeit. Werden die Einheiten der elektrischen Leistung in Wärmeeinheiten umgerechnet, unter Einbezug des thermischen Wirkungsgrades einer Feuerung, so entsteht aus der Kurve *f* die Kurve *g*, die mit den vorhin genannten Geraden die Fläche der aufgenommenen, wogegen die erwähnten Geraden, zusammen mit der Kurve *a*, die Fläche der abgegebenen Arbeit in gleichem Maßstab angeben. Dieses Diagramm bildet die Grundlage für die Leistungsberechnung einer jeden Wärmepumpenanlage. Das Verhältnis der beiden Flächen ergibt für die Heizung des Rathauses 2360 kcal/kWh.

Die Projektierung der Anlage im Zürcher Rathaus.

Auf Grund dieser errechneten Verhältniszahl wurde die Disposition der Anlage festgelegt. Um zu einem möglichst geringen Anschlusswert zu gelangen, wurde die Wärmepumpe mit einem Wärmespeicher kombiniert, der mit Widerstandsheizung versehen ist.

Es wurde ein Belastungsdiagramm (Fig. 6) erstellt, worin die benötigten Wärmemengen in Funktion der Zeit über die ganze Woche aufgetragen wurden (Kurve *a*). Darin sind drei grosse Belastungsspitzen erkenntlich, diejenige vom Montagvormittag, verursacht durch die Benützung des Kantonsratssaales und der dazugehörigen Nebenräume für die Kantonsratssitzung, diejenige vom Mitt-

wochnachmittag, verursacht durch die Benützung der gleichen Räume für die Abhaltung der Sitzung des grossen Gemeinderates der Stadt Zürich und diejenige vom Freitag, die einen besonderen Anlass für die Benützung der eben erwähnten Räume einschliesslich eines weiteren Konferenzsaales voraussetzt. Die regelmässigen Spitzen von 65 kW rühren von der Bureaubenützung zweier in diesem Gebäude untergebrachter kantonaler Verwaltungszweige her, während die Mehrbelastung am Donnerstag durch die Benützung des Regierungsrats-

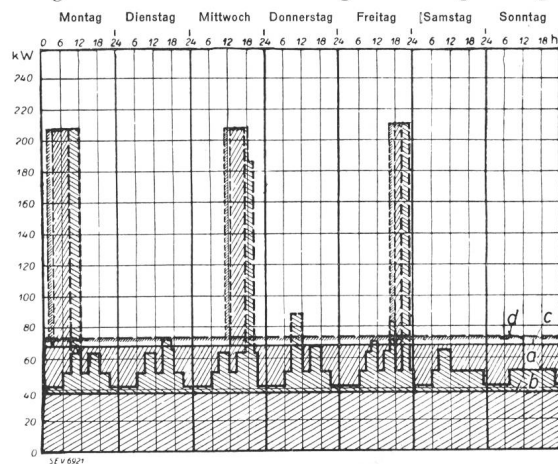


Fig. 6.

Der Leistungsbedarf für die Heizung des Zürcher Rathauses im Verlauf einer Woche. Vorausgesetzte Aussentemperatur -20°C .

- 0 — *a* Wärmebedarf.
- 0 — *b* Heizleistung durch Wärmepumpe gedeckt.
- b* — *c* Heizleistung durch Widerstandsheizung gedeckt.
- a* — *c* Wärmeaufnahme und -abgabe des Speichers.
- c* — *d* Widerstandsheizungsreserve.

saales verursacht wird. Die Horizontale *b* grenzt die Leistungsaufnahme der Wärmepumpe (38 kW) ab. Die zwischen dieser Horizontalen und der Linie *a* liegende Fläche der Heizlast wird durch Widerstandsheizung (30 kW) aufgebracht. Die zwischen der Linie *a* und der Horizontalen *c* liegenden Flächen zeigen die Aufnahme und Abgabe der Wärmespeichereinrichtung; unter 68 kW wird Wärme gespeichert und über 68 kW, speziell während der 3 Spitzen, wird Wärme abgegeben. Mit dieser Kombination ist es möglich, mit einem Anschlusswert von nur 68 kW auszukommen, wobei ausserdem noch eine Reserve von 5 kW, entsprechend der Horizontalen *d*, zur Verfügung steht. Diese Betriebsaufteilung ermöglicht nicht nur die Einhaltung der gewünschten Innentemperatur in den die Spitze verursachenden Räumen, auch bei einer Aussentemperatur von -20°C , sondern auch die Bereitstellung der für ihre Aufheizung nötigen Energiemengen, dargestellt durch die den Lastspitzen vorgelagerten Aufheizflächen. Je höher die durchschnittliche Aussentemperatur steigt, um so geringer ist die Beanspruchung der Wärmespeicherung.

Die erstellte Anlage ist schematisch in Fig. 7 dargestellt. Es sind wiederum Verdampfer, Verflüssiger und Kompressor einschliesslich der das Limmatwasser in Zirkulation haltenden Kaltwasserpumpe erkenntlich. Dagegen fliesst das Zentralheizungswasser nach Verlassen des Verflüssigers vorerst durch den Wärmespeicher und erst nachher zum

Expansionsgefäß der Zentralheizung. Ist der Wärmebedarf grösser als die Wärmeleistung der Pumpe, so wird das Zentralheizungswasser durch den Wärmespeicher auf die gewünschte Temperatur nachgeheizt. Das so erwärmte Wasser wird nun den Heizkörpern und Lufterhitzern zugeführt.

Von besonderer Bedeutung ist die Eigenschaft der Wärmepumpe, bei Bedarf als *Kühlmaschine* verwendet werden zu können. Zu diesem Zweck verbinden Rohrleitungen die Zentralheizungs-

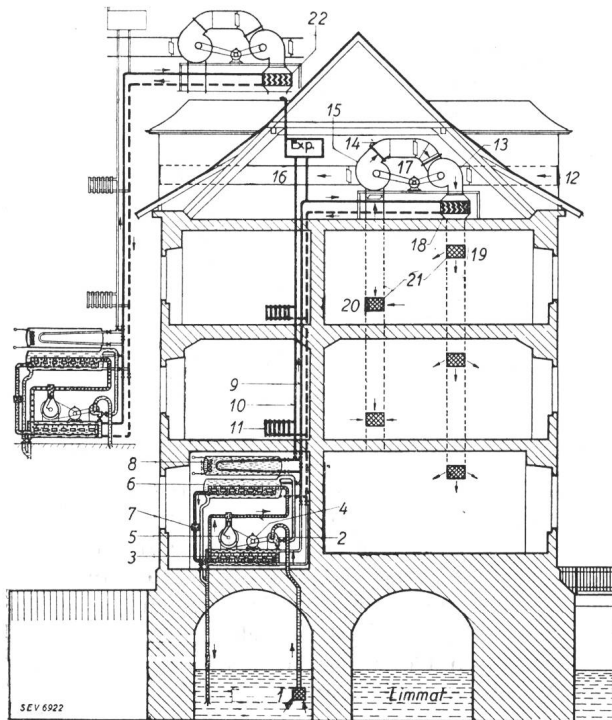


Fig. 7.

Schema der Anlage im Zürcher Rathaus.

Heizbetrieb:

- | | |
|------------------------------------|--------------------------|
| 1 Saugkorb. | 11 Radiatoren. |
| 2 Limmatwasser-Umwälzpumpe. | 12 Frischluft. |
| 3 Verdampfer. | 13 Frischluftventilator. |
| 4 Motor. | 14 Umluft. |
| 5 Kompressor. | 15 Abluftventilator. |
| 6 Verflüssiger. | 16 Abluft. |
| 7 Reduzierventil. | 17 Motor. |
| 8 Speicher mit Widerstandsheizung. | 18 Lufterhitzer. |
| 9 Heizwasservorlauf. | 19 Zuluft. |
| 10 Heizwasserrücklauf. | 20 Abluft. |
| | 21 Ventilationsgitter. |
| | 22 Luftkühler. |

Links oben: Kühlbetrieb.

stränge mit dem Verdampfer, so dass das Limmatwasser statt dem Verdampfer dem Verflüssiger zugeleitet werden kann. Die Ueberführung der Anlage vom Heiz- auf Kühlbetrieb erfolgt durch Umstellen von vier Dreiwegschiebern. Bei der Ventilstellung für Kühlbetrieb werden die Rohrschlangen des Verdampfers vom Zentralheizungswasser umspült, das die für die Verdampfung des Freons nötige Wärme abgibt. Diese Wärme wird durch den Kompressor in den Verflüssiger befördert und an das diese Rohrschlangen umspülende Limmatwasser abgegeben. Auf diese Weise wird das Zentralheizungswasser gekühlt und das Limmatwasser erwärmt und mit dem Zentralheizungswasser die für die Ventilation benötigte Frischluft vorgekühlt. Diese zweiseitige Verwendungsmöglichkeit der Maschine ist für die Grösse ihres Absatzgebietes von

entscheidender Wichtigkeit, weil sie dadurch nicht nur für die Gegenden grosser Heizbedürfnisse, sondern auch für diejenigen grosser Kühlbedürfnisse Interesse bietet und überdies in Gebieten, in denen sich beide Bedürfnisse geltend machen, zur Universalmaschine mit Ganzjahresbetrieb wird. Ausserdem gibt es aber auch in unserer Gegend Räumlichkeiten, für welche die Kühlung einem im allgemeinen unterschätzten Interesse begegnet.

Der Speicher.

Wesentlich für die Festlegung der Leistungsaufteilung zwischen Wärmepumpe und Wärmespeicher ist die Veränderung ihrer Grössen in Abhängigkeit der Kosten. Während sich die Nominalleistung für die Wärmepumpe ohne weiteres aus dem Belastungsdiagramm ergibt, sind für den Wärmespeicher Druck und Volumen nicht von vornherein bestimmt. Die Wahl fiel auf Wasser als Speichermedium. Die Höhe des Maximaldruckes musste zahlenmässig bestimmt werden. Die zur Abklärung nötige Auskunft gibt Fig. 8. Darin ist die Speicherkapazität des Wassers in Funktion des Druckes durch die Kurve *i* und die Kosten pro m³ Raum-

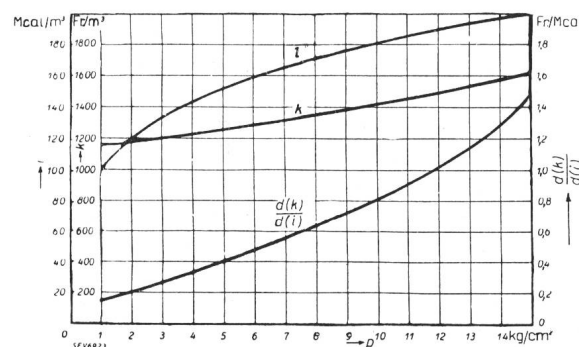


Fig. 8.

Leistungsbestimmung des Wärmespeichers.

- i* Speicherkapazität des Wassers in Mcal in Funktion des Druckes in kg/cm².
k Spezifische Kosten in Fr./m³ in Funktion des Druckes.

inhalt durch die Kurve *k* angegeben. Da sich die Zunahme der spezifischen Wärme mit steigendem Druck vermindert, die Kostenzunahme sich aber mit steigendem Druck vergrößert, biegt sich die Kurve des Verhältnisses Kosten zu Wärmeinhalts-Zunahme immer stärker nach oben, so dass ein Speicher von mehr als 12 kg/cm² Druck im allgemeinen kaum mehr als wirtschaftlich betrachtet werden kann. Es wurde deshalb ein Speicher von 6,6 m³ Nutzinhalt und 10,7 kg/cm² Betriebsdruck gewählt.

Beschreibung der Ausführung.

Das Betriebsschema der zur Aufstellung gelangten Wärmepumpe ist in Fig. 9 sowohl für Heiz-, als auch für Kühlbetrieb dargestellt. Das Limmatwasser wird bei Heizbetrieb durch die Kaltwasserpumpe angesaugt und fliesst unter Druck durch einen ersten Dreiwegschieber dem Verdampfer zu und von dort durch einen zweiten Dreiwegschieber wieder in die Limmat zurück. Das Zentralheizungswasser wird durch die Wasserpumpe einem mit dem Rohrleitungssystem der Zentralheizung direkt

kommunizierenden Ausgleichsgefäß entnommen und fliesst über einen weitem Dreiwegschieber dem im Ausgleichsgefäß liegenden Verflüssiger zu, von dem es wieder durch eine Verteilleitung dem durchfliessenden Zentralheizungswasser beigemischt wird. Die Freondämpfe werden in einem dem Verdampfer aufgesetzten Rohrstutzen gesammelt und vom Kompressor angesaugt, verdichtet

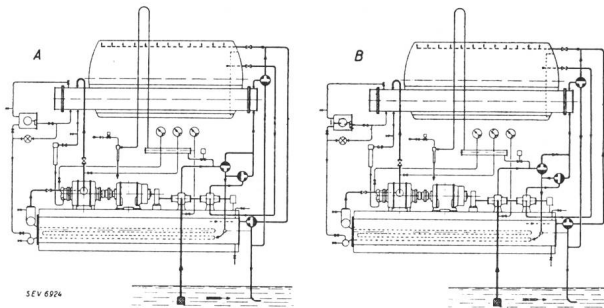


Fig. 9.

Betriebsschema.

A Winterbetrieb (Heizen). B Sommerbetrieb (Kühlen).

und dem Verflüssiger zugepumpt. Das Freonkondensat fliesst über ein Schwimmergefäß durch ein Reduzierventil wieder dem Verdampfer zu. Eine gesonderte Leitung führt das mitgerissene und im Verflüssiger rückgekühlte Öl wieder zur Ölpumpe des Kompressors. Entleert sich die Ansaugleitung des Limmatwassers aus irgendeinem Grunde, so saugt ein an das städtische Wassernetz angeschlossener, durch elektrische Ventile gesteuerter Injektor automatisch die in ihr enthaltene Luft ab, bis die Kaltwasserpumpe wieder Limmatwasser schöpft, worauf die Injektoreinrichtung ebenfalls wieder automatisch ausgeschaltet wird. Beim Kühlbetrieb werden, wie bereits erwähnt, die vier Drei-

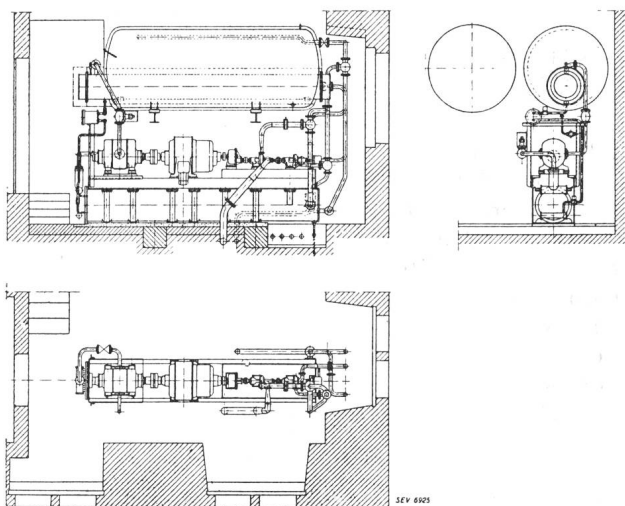


Fig. 10.

Wärmepumpenaggregat mit Ausgleichsgefäß.

wegschieber umgestellt, so dass das Limmatwasser durch den Verflüssiger und das Zentralheizungswasser durch den Verdampfer fliesst.

Die Ausführung dieses Schemas entspricht Fig. 10. Ein Kurzschlussankermotor mit Zentrifugalanlasser und einer Nennleistung von 42 kW, bei 500 V, treibt am einen Ende den Kompressor mit

einer Drehzahl von 580/min, am andern ein Uebertragungsgetriebe mit einem Drehzahlverhältnis von 580/2400. Durch dieses Getriebe wird sowohl die Kaltwasserpumpe, 8,0 l/s, als auch die Warmwasserpumpe, 3,6 l/s fördernd, angetrieben. Am Ende dieser Welle sitzt ein Zentrifugalausschalter, der einmal bei Kupplungs- oder Wellenbruch, aber auch bei Nichterreichung der nötigen Drehzahl aus an-

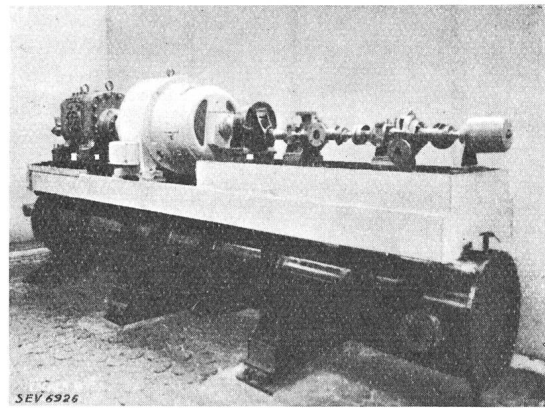


Fig. 11.

Maschinengruppe.

dern Gründen, den Motor abschaltet. Dadurch wird das Einfrieren des Verdampfers oder das übermässige Ansteigen des Druckes im Verflüssiger mangels genügender Kalt- oder Warmwasserförderung verhindert. Das Ausgleichsgefäß, mit einem Inhalt von 4,7 m³, ist auf 2 Querträgern abgestützt, vom Verflüssiger hydraulisch getrennt und abisoliert und hat den Zweck, sowohl für den Ausfall der Maschine eine Warmwasserreserve zu bilden, als auch die durch den intermittierenden Betrieb der Maschine verursachten Temperaturschwankungen niedrig zu halten. Der Verdampfer ist von dem die Maschinenteile tragenden geschweissten Rahmen umfasst und kann mit demselben an den dar-

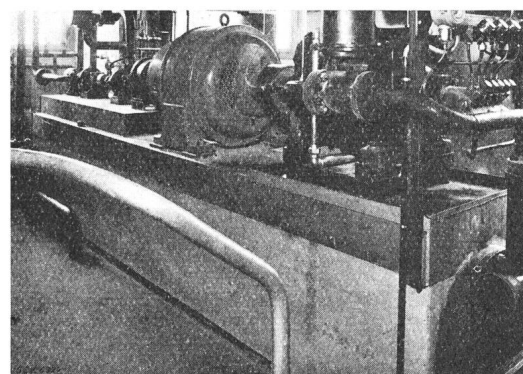


Fig. 12.

Die fertig eingebaute Anlage.

überliegenden Querträgern für den Ausbau aufgehängt werden. Sowohl Verdampfer als auch Verflüssiger können durch die in der rechten Abschlusswand angebrachte Türen nicht nur gereinigt, sondern auch in einem Stück ausgefahren werden. Ueberhaupt kann jeder Teil der Maschinengruppe in einem halben Tag ausgewechselt

werden, einer Zeitdauer, für die die Warmwasserreserve des Ausgleichgefässes und Rohrnetzes zusammen vollkommen ausreicht. Die ganze Maschinengruppe ist in Fig. 11 einbaubereit zusammengestellt und in Fig. 12 fertig montiert abgebildet. Der Verdampfer ist, um seine Masse zu erhöhen, vollständig von Beton umgossen und ohne irgendeine feste Verbindung mit dem Gebäude nur auf eine 5 cm dicke Korkplatte abgestellt; auch das Festschrauben irgendwelcher Rohrleitungen oder ähnlicher Aggregate an die Träger des Ausgleichgefässes und des Wärmespeichers ist durchgehend vermieden.

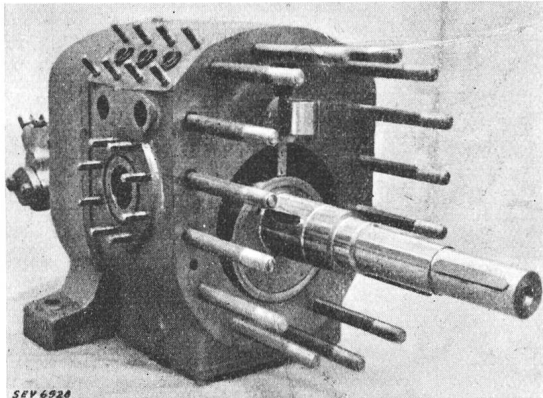


Fig. 13.
Rotationskompressor, geöffnet.

Von Anfang an bestanden wegen Lärm- und Erschütterungserscheinungen Bedenken gegen die Verwendung eines Kolbenkompressors; es wurde daher vom Unternehmer die Lieferung eines neu in die Fabrikation aufgenommen Rotationskompressors verlangt. Dieser Kompressor ist in Fig. 13 geöffnet dargestellt. Dem Prinzip nach besteht er aus einem exzentrisch auf eine Welle aufgekeilten

auf dem Exzenter lose aufgeschobenen deformierbaren Büchse, die durch Erzeugung eines Ölpolsters bis zu hohen Druckverhältnissen äusserst günstige volumetrische Wirkungsgrade gewährleistet. Drei Druck- und Ueberströmventile sorgen für Einhaltung der Kreislaufrichtung und eine Spezialstopfbüchse für dichten Gasabschluss auf der Wellenseite. Das Gehäuse ist wassergekühlt, und eine aufgeflanschte Zahnradölpumpe versieht die empfindlichen Laufflächen mit Drucköl. Dieser Kompressor ist praktisch vibrationsfrei und geräuschlos.

Der Wärmespeicher (Fig. 14) ist, wie bereits angegeben, ein Hochdruckgefäss von 6,6 m³ Nutzvolumen und für einen Druck von 10,7 kg/cm² berechnet. Die Konstruktion der verschiedenen Unteraggregate war in erster Linie durch die Vorschrift der einfachen Ausbaumöglichkeit bestimmt. So sind die 6 elektrischen Heizrohre schräg in den Behälter eingeschweisst, damit die Widerstandskörper durch die Eingangstüre ausgezogen werden können, und das eingebaute Zirkulationsrohr gegen die Behälterachse abgedreht, damit das in ihm untergebrachte Heizregister, aus 36 Siederohren von 15 mm Durchmesser bestehend, durch das Montagetur ausgezogen werden kann. Das ganze Gefäss ruht auf einem festen und einem rollenden Lager und ist mit 15 cm Schlackenwolle gegen Wärmeverluste geschützt. Stehen die Heizrohre unter Strom, so erwärmt sich das Wasser und wird infolge des abnehmenden spezifischen Gewichtes von dem längs der den Heizrohren entfernten Behälterwand absinkenden kalten Wasser der näheren Wand entlang nach oben gedrückt. Werden nun die beiden Drosselklappen, welche das Zirkulationsrohr gegen das Speicherwasser abschliessen, geöffnet, so fliesst das im Zirkulationsrohr befindliche Speicherwasser infolge seiner Wärmeabgabe an das Heizregister und somit an das Zentralheizungswasser durch die untere Drosselklappe ab,

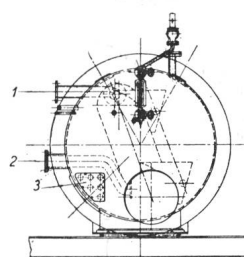
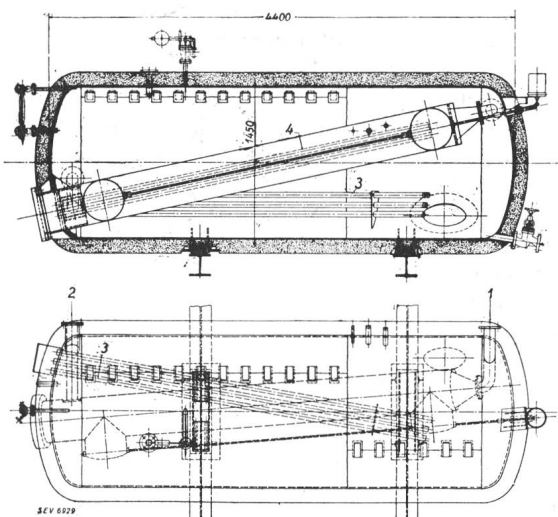


Fig. 14.

Wärmespeicher 6600 l, 10,7 kg/cm².

- 1 Einlauf des Heizungswassers.
- 2 Auslauf des Heizungswassers.
- 3 Sechs elektrische Widerstandsheizelemente.
- 4 Heizregister für das Heizungswasser.

Zylinder, der in einer konzentrischen Bohrung rotiert, wobei ein durch 2 Pleuel gesteuerter Schieber die Trennung zwischen Druck- und Saugkammer vollzieht. Dieses Kompressorsystem ist im Grunde genommen schon längst bekannt; die Neuheit in dieser Ausführung liegt in der Verwendung einer

und warmes Speicherwasser strömt aus dem oberen Teil des Speichers durch die obere Drosselklappe in das Zirkulationsrohr nach und gibt so je nach Verstellung der Klappe und dem entsprechenden freien Querschnitt mehr oder weniger Wärme ab. Bei geschlossener Drosselklappe verhindert eine um das Zirkulationsrohr gelegte 7-cm-Schlackenwolleisolation den ungehinderten Wärmedurchgang durch die Rohrwand. Dadurch ist die Wärmespeicherung ohne Behinderung des übrigen Heizbetriebes gewährleistet. Der Behälter ist mit Wasserstandsglas und Sicherheitsventil nach den Bestimmungen des Dampfkesselgesetzes ausgerüstet. Das Zentralheizungswasser ist hydraulisch vom Speicher-

wasser vollständig getrennt. Die maximale Wärmeabgabe an das Heizregister beträgt 150 000 kcal/h und die elektrische Anschlussleistung ($30 + 35 =$) 65 kW. Im Innern des Heizregisters sind bereits 3 Reserveröhre zur Aufnahme weiterer, für eine Notheizung vorgesehene, Widerstände eingeschweisst.

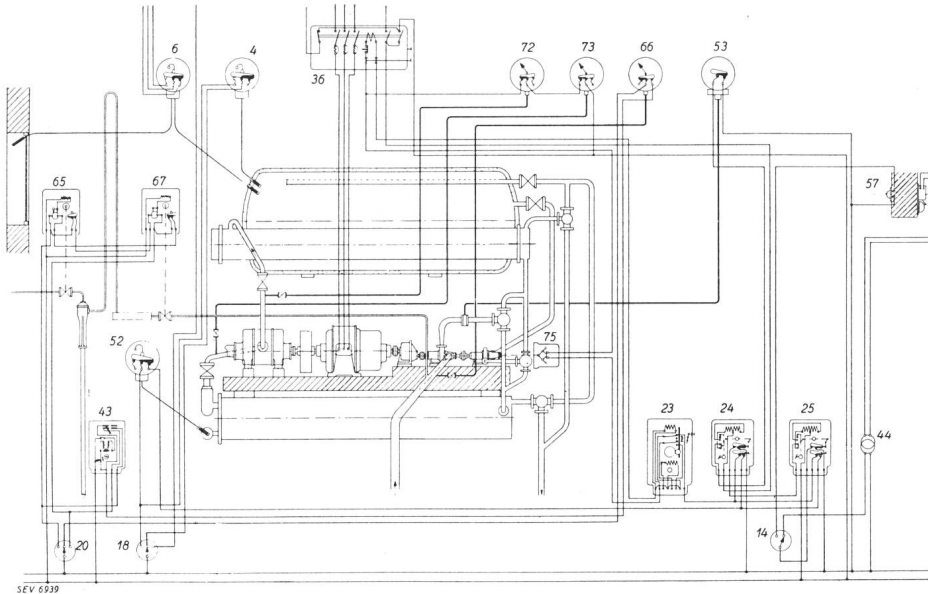


Fig. 15.

Elektrische Steuerung der Wärmepumpe.

Der bedienungslose Betrieb der Wärmepumpe setzt das Vorhandensein einer ziemlich umfangreichen elektrischen Apparatur voraus, die in Fig. 15 schematisch dargestellt ist. Steht der Thermostat 6 auf Einschaltstellung, so läuft die Pumpe an. Wird durch die Kaltwasserpumpe im Limmatwassersaugrohr der am Manometer 66 erforderliche Unterdruck nicht erreicht, so öffnen sich die elek-

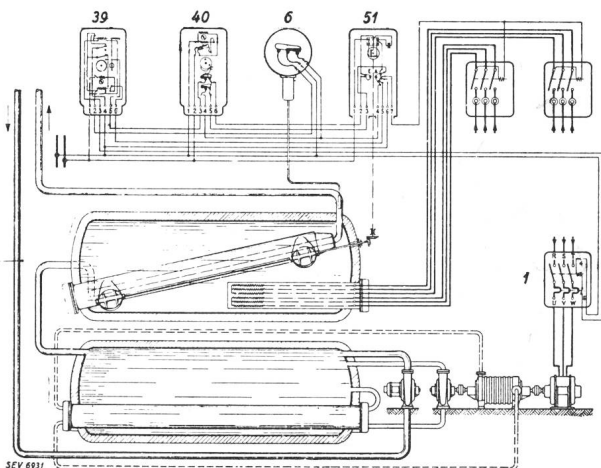


Fig. 16.

Temperaturregung der Anlage.

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 6 Quecksilberthermostat. | 51 Drosselklappenantrieb. |
| 39 Verzögerungsuhr. | 1 Kompressorschütz. |
| 40 Impulsuhr. | |

trischen Ventile 65 und 67 und gleichzeitig wird die Minuterie 43 in Bewegung gesetzt. Bleibt bis nach Ablauf eines bestimmten Zeitintervalles der erforderliche Unterdruck aus, so wird die Pumpe ausser Betrieb gesetzt, weil dann die Limmatwasser-

saugleitung derart undicht ist, dass der Injektor die einströmende Luft nicht mehr abzugsaugen vermag. Fällt dagegen die Drehzahl der Maschine, so wird durch den Zentrifugalausschalter 75 die Minuterie 23 in Betrieb gesetzt, die ihrerseits bei Nichterholen derselben die Maschine nach einer halben Minute ausschaltet. Kommt anderseits der Druck nach der Kaltwasserpumpe nicht auf die vorgeschriebene Höhe, so wird durch ein Druckregulierorgan 53 aufeinanderfolgend erst die Verzögerungsuhr 24 und darauf eine gleiche Uhr 25 in Betrieb gesetzt, die die Maschine beim andauernden Ausbleiben des Druckes in der Kaltwasserleitung unter Inbetriebsetzung einer Klingelanlage abschaltet.

Die elektrische Steuerung der ganzen automatisch regulierten und bedienungslosen Anlage ist in Fig. 16 dargestellt. Das

Zentralheizungswasser

fließt im Rücklauf der einzeln angetriebenen Zirkulationspumpe der Heizung zu und wird von dort durch das Ausgleichsgefäß und anschliessend den Wärmespeicher in das Zentralheizungssystem wieder zurückbefördert. Die Warmwasserumwälzpumpe und der Kompressor haben einen gemeinschaftlichen Motor. Ein Flüssigkeitsthermostat 6 ist in die Vorlaufleitung der Zentralheizung eingesetzt, dessen Temperatureinstellung durch einen im Freien befestigten Fühler automatisch umgekehrt proportional der Aussentemperatur verändert wird. Ist die Wärmepumpe in Betrieb, die Drosselklappe infolge ungenügender Wärmelieferung durch die Pumpe geöffnet und nimmt nun der Wärmebedarf ab, so schliesst sich durch Quecksilber der Kontakt zwischen 1 und 3 wodurch die Verzögerungsuhr 39 in Betrieb gesetzt wird. Nach 5 Minuten setzt diese Uhr die Impulsuhr 40 in Betrieb, die alle 40 Sekunden 3 Sekunden lange Stromimpulse auf den Drosselklappenantrieb 51 gibt. Dadurch wird die Drosselklappe stossweise geschlossen, bis erneut das Gleichgewicht zwischen Wärmebedarf und Wärmelieferung hergestellt ist. Geht die Drosselklappenbewegung bis zur vollständigen Geschlossenstellung vorwärts, so wird durch den Endausschalter der in der Verzögerungsuhr 39 befindliche Wende- schalter der Wärmepumpe um- und der Kompressorschütz ausgeschaltet. Die Folge davon ist das Absinken der Temperatur des Zentralheizungswassers und das Schliessen des Quecksilberkontaktes zwischen 1 und 2. Dadurch wird die Wärmepumpe und die Verzögerungsuhr 39 wieder eingeschaltet. Genügt die durch die Pumpe gelieferte Wärmemenge nach Ablauf von 40 Minuten noch nicht, so

werden mit der Impulsuhr 40 die elektrischen Heizwiderstände des elektrischen Wärmespeichers wieder eingeschaltet. Die Drosselklappe wird nun in den bereits erwähnten Intervallen schrittweise geöffnet, bis erneut Gleichgewicht zwischen Wärmelieferung und Wärmebedarf herrscht. Die zwei Stufen der Heizwiderstände sind gegenseitig derart elektrisch verriegelt, dass bei laufendem Kompressor nur die 30-kW-Stufe, bei stillstehendem dagegen die 65-kW-Stufe eingeschaltet werden kann. Durch Einschalten des Speicherhandschalters werden aber die Heizwiderstände, auch ohne dass die Drosselklappe durch den Thermostaten 6 geöffnet sein muss, unter Spannung gebracht.

Die Versuchsergebnisse einer derartigen Musteranlage sind für alle Interessenten von grösster Wichtigkeit, weil sie nicht nur die Grundlagen für die Weiterentwicklung liefern, sondern auch aus irgendwelchen Interessen verbreitete, unbegründete Anfechtungen der Wärmepumpe einwandfrei

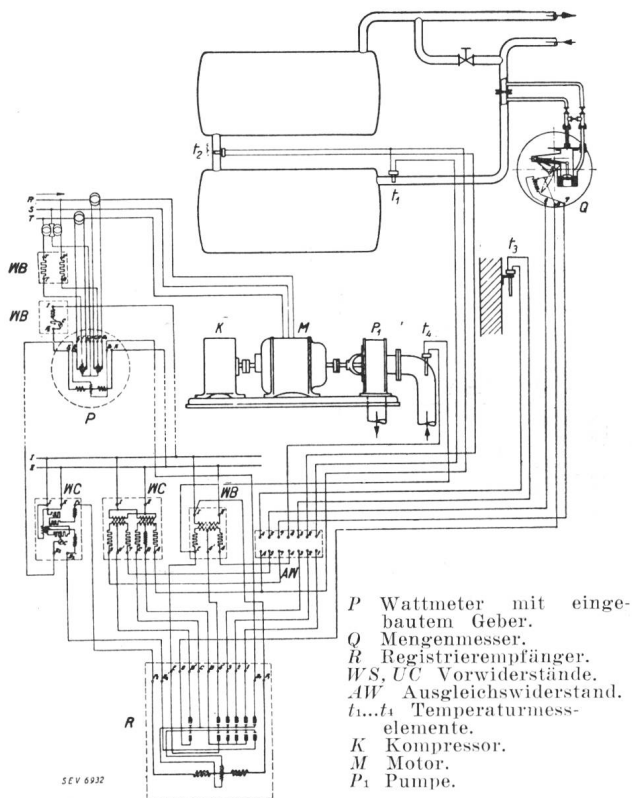


Fig. 17.

Registrierende Wärmebilanz-Messeinrichtung (Messung von Temperatur, Leistung und Wassermenge).

widerlegen. Aus dieser Erkenntnis wurde in der Rathausanlage eine kontinuierlich registrierende Wärmebilanzmeseinrichtung entsprechend Fig. 17 eingebaut. Diese Einrichtung misst durch einen 6-Kurvenschreiber mit einer Punktfolge von 30 Sekunden pro Messpunkt die elektrische Leistung der Wärmepumpe an den Klemmen, die durchfließende Zentralheizungswassermenge und die Zentralheizungswassertemperatur vor und nach der Wärmepumpe. Sie schreibt weiter gleichzeitig die Aussentemperatur und die Limmatwassertemperatur am Eintritt in die Kaltwasserpumpe nieder. Diese Messresultate sollen periodisch veröffentlicht

werden. Die Wassermengenmessung geschieht durch eine geeichte Stauscheibe mit Druckmanometer, in dem durch ein Hebelspiel ein elektrischer Widerstand verändert und die daraus resultierenden Spannungsänderungen auf dem Registrierstreifen direkt als Wassermenge aufgezeichnet werden. Die elektrische Leistung wird durch ein Wattmeter angezeigt und durch einen Nebenschlusskreis auf das Registrierinstrument übertragen. Die Temperaturmessung wird durch Widerstandsthermometer vollzogen. Dabei wurde der Antrieb des Registrierinstrumentes absichtlich mit Handaufzug gewählt, damit das durch den Hauswart des Rathauses zu besorgende Aufziehen des Uhrwerkes die periodische Ueberprüfung des Instrumentes sicherstellt. Die Messeinrichtung arbeitet unter einer Spannung von 6 V. Von Zeit zu Zeit werden die verschiedenen Messinstrumente geeicht und überdies wurde für den Mengensmesser für das Wasserwerk eine Eichkurve erstellt. Diese Messeinrichtung erlaubt deshalb nicht nur, über beliebige Zeiträume die Leistungsziffer mit genügender Genauigkeit festzuhalten, sondern auch alle einzelnen Betriebsvorgänge vollständig zu analysieren.

Die durch diese Apparatur hergestellten Diagramme haben die Form von Fig. 18, deren Auswertung mit eigens hinzugelieferten Maßstäben bewerkstelligt wird. Die Wassermenge Q wurde während der dargestellten Messzeit konstant gehalten; sie ändert sich nur beim Öffnen oder Schliessen von Strang- oder Heizkörperventilen. Die Aus-

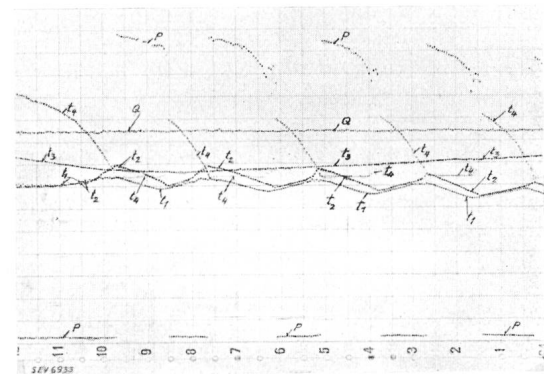


Fig. 18.

Registrierdiagramm (Original in 6 Farben).

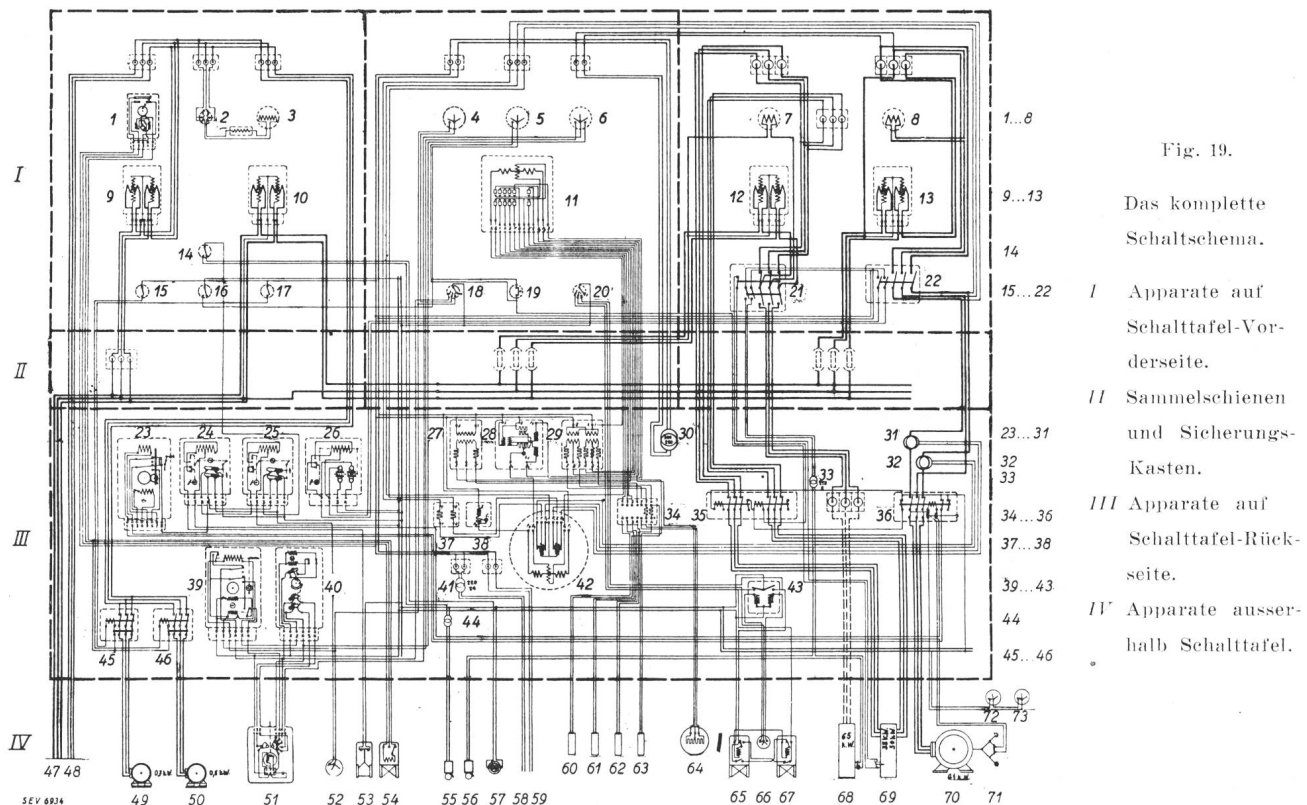
Q Zentralheizungswassermenge. t_2 Vorlauftemperatur.
 P Motorleistung. t_3 Aussentemperatur.
 t_1 Rücklauftemperatur. t_4 Flusswassertemperatur.

sentemperatur t_3 sank gegen Morgen langsam, stieg dann aber merkbar gegen Mittag. Deutlich sind die periodisch auftretenden Laufzeiten des Motors erkenntlich, die durch die in den Zwischenräumen liegenden geradlinigen Punktfolgen auf der Nulllinie vervollständigt werden. t_1 und t_2 geben die Rück- und Vorlauftemperaturen des Zentralheizungswassers an, wobei einmal die Pendelungen durch den intermittierenden Betrieb klar erkennbar sind. Die Limmatwassertemperatur t_4 ist selbstverständlich über den im Diagramm enthaltenen Messbereich konstant; die aufsteigenden Kurventeile, die in den Betriebsintervallen der Wärme-

pumpe liegen, rühren davon her, dass sich das Wasser in dem Ansaugrohr, in welchem das Messelement eingesetzt ist, bei stillstehender Pumpe durch die Raumwärme des Maschinenraums erwärmt. Die Theorie, wonach die Antriebsleistung mit zunehmender Temperaturdifferenz zwischen Zentralheizungswasser und Flusswasser steigt, wird durch die Motorleistungskurve unzweideutig bestätigt, und die Messpunktstreuung am Anfang jeder Betriebsphase der Motorleistungskurve rührt teils von der erhöhten Wärmeabgabe des Verdampfungsapparates, verursacht durch Wärmespeicherung von verschiedenen Maschinenteilen, teils von Freondampfakkumulation im Verdampfer selbst her. Weiter ist die Zu- und Abnahme der mittleren Zentralheizungswassertemperatur in Funktion der Aussentemperatur ersichtlich. Die entsprechenden Maßstäbe wurden absichtlich noch nicht auf dem Diagramm eingetragen, weil bei der

mente selbst, der Wärmepumpe und Speicheranlagen. Darunter liegen die verschiedenen Hauptsicherungen des Elektrizitätswerkes und anschliessend die hinter dem Tableau befindlichen Apparate.

1 ist ein Zeitschalter, der die Drosselklappe am Verteiler betätigt, um die Wärmezufuhr zu den Büroräumen während der Bureauzeit zu erwirken, dagegen ausserhalb derselben zu unterbrechen. 2 ist der Umschalter für die 3 Phasen des 500-V-Drehstromnetzes und 3 das entsprechende Voltmeter. 9 ist der Zähler für allgemeinen Kraftbedarf, der die Energieaufnahme der Zentralheizungsumwälzpumpen, des Motors der Waschmaschine usw. misst, und neben ihm ist ein Maximalzähler für die Aufzeichnung eventuell auftretender Lastspitzen angebracht. Der Alarmschalter 14 gestattet bei Abschalten der Wärmepumpe wegen mangelhafter Arbeitsweise die in Funktion befindliche Klingel 55 in der Hauswartwohnung aus- und dafür ein Lichtsignal einzuschalten. Der Hauswart ist deshalb bei Betriebsstörungen auch während der Nachtzeit gezwungen, den Heizraum aufzusuchen und so zur Ueberprüfung des Anstandes angehalten. Die Schalter 15 und 17 dienen zusammen mit



Aufnahme des dargestellten Meßstreifens die Messeinrichtung noch nicht fertig abgestimmt war. Da in der Zwischenzeit die Wintersaison, die quantitative Messungen ermöglicht hätte, zum Abschluss gekommen ist, wurde wenigstens ein Ausschnitt als qualitative Angabe festgehalten. Die ausgewerteten Messresultate werden später besonders behandelt werden.

Das Schaltschema des ganzen Tableaus ist in Fig. 19. aufgezeichnet. Es ist in 3 Felder aufgeteilt. Das erste Feld enthält die von aussen zu bedienenden oder zu kontrollierenden allgemeinen Apparate, das zweite die Steuer- und Wärmebilanzmessapparate der Wärmepumpenanlage und Speicherung, das dritte die elektrischen Messinstru-

den Schützen 45 und 46 für die Inbetriebsetzung der zwei Zentralheizungswasserumwälzpumpen 49 und 50. Der Schalter 16 setzt die Widerstände 69 der Speicherheizung durch den Schützen 35 in Betrieb. Der von aussen einstellbare Thermostat 4 besorgt bei entsprechender Stellung des Schalters 18 die Temperaturregulierung der Wärmepumpe bei Kühlbetrieb, während der durch die Aussentemperatur eingestellte Thermostat 6 die Temperaturkontrolle des Zentralheizungswassers bei Heizbetrieb ausübt. Der Thermostat 5 wirkt als Temperaturbegrenzer für den Wärmespeicher und ist regulierbar von 0 bis 210° C. Alle drei Thermostate sind Fernregulierungsinstrumente mit Fühler und Kapillarrohr. Die Mitte dieses Feldes nimmt das Registrierinstrument 11 ein, das derart ausgebildet ist, dass bei geöffnetem Fenster die Messung eingestellt bleibt. Der Schalter 18 besitzt 4 Betriebsstellungen: Heizung automatisch, Kühlung automatisch, Wärmepumpenbetrieb unter Ausschaltung der Thermostaten und Nullstellung. Der Betrieb der Maschine

ohne Kontrollapparate erfolgt, wenn ein Thermostat eine Störung in der automatischen Steuerung verursacht, deren Behebung die Wärmelieferung zu lange unterbricht. Der Taster 19 erlaubt das Fahren der Wärmepumpe mit einem auf Ausschaltstellung stehenden Thermostaten. Schalter 20 dient zum Ein- und Ausschalten der elektrischen Ventile 65 und 67 des Injektorbetriebes, um die damit zusammenhängenden Verzögerungsschalter zu überbrücken. Dabei wirkt das Kontaktvakuummeter als nicht rückstellender Ausschalter. Das Ampèremeter der Speicherheizung ist in 7, dasjenige der Wärmepumpe in 18 eingetragen. 12 ist der Zähler für die Speicherheizung und 13 derjenige für die Wärmepumpe. 21 ist ein Wendeschalter für den Wärmespeicher, der bei gänzlicher Ausserbetriebsetzung der elektrischen Steuerung das Einschalten einer Notheizung 88 ermöglicht. Er erlaubt ferner bei geschlossener Drosselklappe des Wärmespeichers die Wärmeabgabe aufrechtzuerhalten, ohne Aufheizung des im Speichergefäß befindlichen Speicherwassers, die bei unvorhergesehenem Ausfall der Wärmepumpe bis zur Wärmeabgabe an das Zentralheizungswasser eine Zeit von mindestens 2 Stunden benötigt. Dabei wird der Ausschaltzeitpunkt für die Notheizung durch eine Alarmglocke 56 angezeigt. Der Handausschalter für die Wärmepumpe ist in 22 eingezeichnet. Ein Sicherheitsthermostat 52 schaltet die Wärmepumpe vor Erreichen der Einfriertemperatur des Verdampfers aus, während der Unterdruckschalter 53 bei entleerter Limmatwasserausleitung die Injektor-einrichtung in Betrieb setzt. 72 und 73 sind Kontaktmanometer, die bei Auftreten nicht erwünschter Freondrücke die Wärmepumpe ausschalten.

Das derart ausgeführte Tableau ist aus Fig. 20 ersichtlich. Oben sind die verschiedenen Thermometer für die Temperaturanzeige des Zentralheizungswassers, des Limmatwassers vor und nach Verflüssiger, des Freons, des Speicherwassers, und je ein Manometer für die Limmatwasserausleitung und den Wärmespeicher angebracht. Darunter befinden sich die Sicherungen der verschiedenen Stromkreise. Weiter folgen im ersten Feld der Zeit-

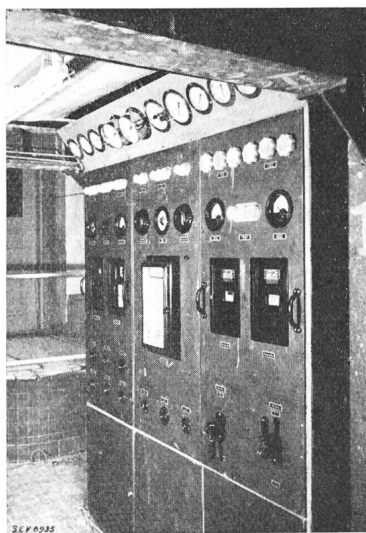


Fig. 20.
Ansicht der Schalttafel.

schalter und das Voltmeter mit seinem Wählschalter und darauf 2 Zähler und verschiedene versenkte Drehschalter. Im mittleren Feld sind von rechts nach links Heizungsthermostat, Speichert thermostat und Kühlthermostat erkenntlich und unter diesen der 6-Kurven-Schreiber und drei weitere Drehschalter. Auf dem dritten Feld sind zwei Ampèremeter, darunter Wärmepumpen- und Speicherzähler und die beiden Handschalter angeordnet. Die Frontplatte des ersten Feldes ist als nach aussen drehbare Türe ausgebildet, wobei die Mess-

instrumente fest bleiben, die Griffe der Drehschalter aber mit der versenkten Dose fest verbunden sind und sich von den Schalterkörpern lösen. Die sie verbindenden Kupplungen sind derart ausgebildet, dass die Drehknöpfe bei Schliessen des Tableaus selbständig wieder in die Schalterkupp-

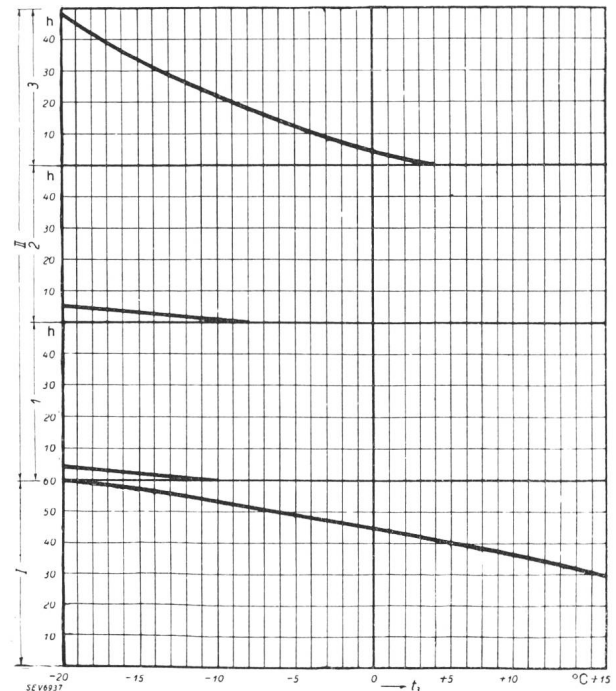


Fig. 21.
Heizprogramm für Innentemperatur von 18° C, bei verschiedenen Aussentemperaturen t_s .
I Bestimmung der Vorlauftemperatur.
II Aufladezeit des Wärmespeichers.
1 Festsaal.
2 Regierungsratssaal.
3 Kantonsratssaal.

lungen eingreifen und so in keiner unrichtigen Stellung stehenbleiben können. Das mittlere Feld ist fest, dagegen ist die Frontplatte des dritten Feldes wiederum ausschwenkbar, nachdem es parallel vorgezogen worden ist und die Handschaltergriffe abgeschraubt worden sind. Unten sind die Zugangs-türen zu den Hauptsicherungen angeordnet.

Fig. 21 zeigt das Heizprogramm, wobei zu bemerken ist, dass die Kurve der Vorlauftemperatur des Zentralheizungswassers in Funktion der Aussentemperatur selbständig eingehalten wird und nur der Kontrolle halber aufgezeichnet wurde. Oben sind die Einschaltzeiten des Wärmespeichers für verschiedene Saalbenützung in Abhängigkeit der Aussentemperatur dargestellt.

Anlage- und Betriebskosten.

Die vorliegenden Ausführungen müssten als unvollständig bezeichnet werden, würde nicht noch ein Wort über die Kostenfrage geäussert, obwohl die äusserst kurze, einer Bauperiode von nur 1½ Jahren entsprechende Entwicklungszeit noch kein klares Bild über diese Verhältnisse ergibt. So ist es einleuchtend, dass ein Vergleich der Anlagekosten zwischen einer kohle-, öl- oder gasgefeuerten Heizung und einer Wärmepumpenanlage des Rathauses schon deshalb unmassgebend, ja geradezu irre-

führend ausfällt, weil sich eine Muster- und Versuchseinrichtung von einer reinen Gebrauchsanlage ganz wesentlich unterscheidet. Ohne ausgedehnte Sicherheitsmassnahmen für alle zu gewärtigenden Betriebsvorkommnisse ist eine Erstaussführung nicht verantwortbar, ganz besonders nicht für ein Objekt von der Wichtigkeit eines Rathauses. Diese Vorsichtsmassnahmen bleiben selbstverständlich nicht ohne Einwirkung auf die Anlagekosten. Es wurde aber trotzdem versucht, die Grössenordnung der Anlagekosten unter Abzug all dieser Sonderbelastungen in Fig. 22 darzustellen. Dieses

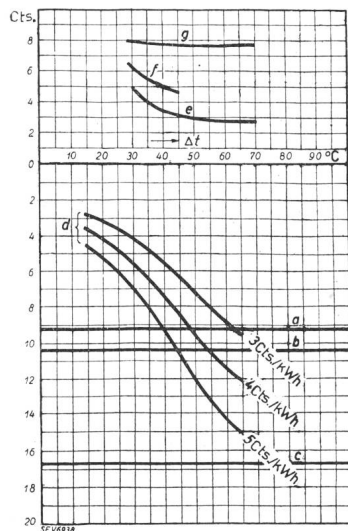


Fig. 22.

Anlage- (oben) und Betriebskosten (unten) in Rp./Meal/Tag einer Anlage für 200 Meal/h bei 10 Jahren Amortisationsdauer. Δt Differenz zwischen Vorlauftemperatur u. Innentemperatur.

Betriebskosten:

- a Koks Fr. 8.40/100 kg, $\eta = 70\%$.
- b Gasöl Fr. 15.—/100 kg, $\eta = 80\%$.
- c Widerstandsheizung 3 Rp./kWh
- d Radiatorenheizung mit Wärmepumpe.

Anlagekosten:

- e Radiatorenheizung mit Wärmepumpe.
- f Strahlungsheizung mit Wärmepumpe und Spitzendeckung.
- g Warmluftheizung mit Wärmepumpe und Spitzendeckung.

Diagramm zeigt einerseits die Anlagen- und andererseits die Betriebskosten als Funktion der Differenz zwischen maximaler Radiatoren- und Innentemperatur, von der der Wärmepumpenbetrieb in bereits erwähntem Masse abhängig ist. Die Kurve e zeigt die Änderung der Anlagekosten in Abhängigkeit von diesem Temperaturunterschied für eine koh-

lengefeuerte Radiatorheizung. Je niedriger die Vorlauftemperatur gewählt wird, um so grösser werden Radiatoren und Rohrleitungen. Das Verhältnis, in dem sich diese Heizungssteile verändern, ist vollständig bekannt und der Verlauf der Kurve dementsprechend gegeben. Schon weniger abgeklärt liegen die Verhältnisse bei der Strahlungsheizung, weil diese Heizungsart noch jüngerer Ursprungs ist. Es kann aber immerhin mit Sicherheit vorausgesehen werden, dass eine Erniedrigung der Heizwassertemperatur eine Erhöhung der Rohrlängen der Heizregister mit sich bringt. Bei der Warmluftheizung ändern sich mit der Heizwassertemperatur nur die Lufterhitzer und Wasserleitungen, welche aber nur einen geringen Anteil der Anlagekosten dieses Heizungssystems ausmachen. Vom Nullpunkt nach unten auf der Ordinate die Betriebskosten aufgetragen, und es ist sofort ersichtlich, dass die Anlagekosten gegenüber den Betriebskosten von untergeordneter Bedeutung sind. Es kommt also gar nicht so darauf an, ob die Anlage etwas mehr oder weniger kostet; die Hauptsache ist eine billige Betriebsweise. Es geht deshalb aus diesem Diagrammteil hervor, dass sich die Betriebskosten einer Wärmepumpenanlage für den Elektrizitätsproduzenten mit absolut tragbaren kWh-Preisen heute schon im Gebiete der Betriebskosten anderer Heizungsarten bewegen. Es muss aber nochmals festgehalten werden, dass diese Kurven und Werte als qualitative Angaben zu betrachten sind, die später einmal eingehender behandelt werden sollen.

Nachdem die Anlage erst gegen Ende dieser Heizsaison vollständig in Betrieb genommen werden konnte, müsste die verbindliche Bekanntgabe irgendwelcher Betriebs- oder Erfahrungsergebnisse als verfrüht betrachtet werden. Mit Bestimmtheit kann aber heute schon gesagt werden, dass die bereits durchgeführten Messungen, die mit der für derartige Unternehmen zu verantwortenden Genauigkeit hergestellten Berechnungen bestätigten. Gleichfalls ist das für die Anlage vorausgesetzte Interesse nicht ausgeblieben, und die Hoffnungen, die auf die Konkurrenzfähigkeit dieses Heizungssystems in bezug auf Betriebs- und Anlagekosten gesetzt wurden, sind sogar übertroffen worden. Darüber wird in gleicher Weise später einmal eingehend zu berichten sein.

Ueber die Messung der Einzelverluste bei Mutator-Transformatoren.¹⁾

Von J. Kübler, Baden.

621.317.384 : 621.314.21 : 621.314.6

Die Ströme in den Mutator-Transformatoren weichen von der Sinusform ab. Die Messung der Verluste dieser Transformatoren wäre deshalb im allgemeinen nur vollkommen einwandfrei, wenn Transformator und Mutator zusammengeschaltet und die ganze Gruppe betriebsmässig voll belastet würde. Diese Messart aber ist aus bekannten Gründen nicht sehr genau. Zudem ist sie häufig nicht ausführbar, so dass man die Einzelverluste des Transformators, unter Umständen zusammen mit denjenigen des Mutators, bestimmen muss. Es werden verschiedene Arten der Messung der Einzelver-

Les courants des transformateurs de mutateurs diffèrent de la forme sinusoïdale. La mesure des pertes de ces transformateurs ne serait en général absolument correcte qui si le transformateur et le mutateur étaient accouplés et si le groupe fonctionnait à pleine charge de service.

Cependant, pour des raisons connues, ce mode de mesure n'est pas très exact. En outre, on ne peut souvent pas l'appliquer, de sorte que l'on en est réduit à déterminer séparément les pertes du transformateur et du mutateur. L'auteur discute plusieurs méthodes de mesure des pertes, en parti-

¹⁾ Mit diesem Artikel ist beabsichtigt, einen Beitrag zur Klärung der Aufstellung von Regeln der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) für Messung der Einzelverluste bei Transformatoren, welche für den Betrieb von Mutatoren bestimmt sind, zu leisten.