Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 37 (1946)

Heft: 18

Artikel: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenheizung und kurze Beschreibung der Grundwasser-Wärmepumpenheizung der Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G., Zürich

Autor: Ruegg, R

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061121

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: 08.08.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:
Zürich, Stauffacherquai 36 ◆ Telephon 23 77 44
Postcheck-Konto VIII 8481

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

37. Jahrgang Nr. 18 Samstag, 7. September 1946

Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenheizung und kurze Beschreibung der Grundwasser-Wärmepumpenheizung der Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G., Zürich

Von *R. Ruegg*, Zürich

621.577

Die Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G., Zürich, haben zur Heizung ihrer Fabriken eine mit Grundwasserwärme gespeiste Wärmepumpenanlage erstellt. Grundwasser hat gegenüber Fluss- und Seewasser den Vorteil einer recht gleichmässigen und relativ hohen Temperatur über das ganze Jahr. Diese Anlage wird kurz beschrieben. Den Hauptteil der Arbeit bildet ein Ueberblick über die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe im Vergleich zur Brennstoffheizung als Grundlage für die Projektierung von Wärmepumpenheizungen.

La S. A. Escher Wyss, Zurich, a aménagé pour le chauffage de ses fabriques une installation de thermopompage alimentée par la chaleur d'une nappe d'eau souterraine, qui présente l'avantage, par rapport à l'eau de rivière et de lac, d'être à une température bien régulière et relativement élevée durant toute l'année. Avant de décrire brièvement cette installation, l'auteur s'occupe de la détermination du rendement économique de la pompe thermique, comparé à celui du chauffage par combustible, pour servir de base aux projets d'installations de chauffage par thermopompage.

Einleitung

Bereits seit etwa 100 Jahren ist das Prinzip der Wärmepumpe, nach welchem Umgebungswärme für Heizzwecke nutzbar gemacht wird, bekannt. Aber erst die in neuerer Zeit gemachten wissenschaftlichen und technischen Fortschritte ermöglichten es, das Problem der Wärmepumpenheizung auch praktisch zu lösen. In der Schweiz sind bereits verschiedene solcher Wärmepumpen-Anlagen von Escher Wyss und anderen Firmen erstellt worden. Die auf dem Gebiete der Kältemaschinen gemachten Erfahrungen gestatteten die Herstellung leistungsfähiger und betriebssicherer Wärmepumpen. Auch die in letzter Zeit erfolgte Entwicklung der Raumheizungseinrichtungen im Sinne einer steten Senkung der Heizwassertemperaturen (Dampf-, Warmwasser-, Strahlungsheizung) begünstigte die Anwendungsmöglichkeit der Raumheizungswärmepumpen, weil die Leistungsziffer und damit die Wirtschaftlichkeit wesentlich von der Höhe der Heizwassertemperaturen abhängt. Schliesslich ist auch darauf hinzuweisen, dass man zweckmässige Kombinationen mit normalen Heizungsanlagen gefunden hat, welche eine maximal mögliche Wirtschaftlichkeit der Anlage gewährleisten. Diese wichtige Frage soll im folgenden besonders untersucht werden.

Ein interessantes Beispiel für eine Wärmepumpenheizung ist die neu erstellte Anlage für die Heizung der Büro- und Werkstattgebäude der Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G. in Zürich. Bei dieser Anlage wird Grundwasser, nicht wie gewöhnlich Flusswasser, für die Lieferung der Umgebungswärme verwendet. Wärmetechnisch gesehen, bietet die Verwendung von Grundwasser einen grossen Vorteil, da Grundwasser normalerweise während des ganzen Jahres ohne grosse Schwankungen mit einer im Vergleich zu Flusswasser verhältnismässig hohen Temperatur zur Verfügung steht. Diesem Vorteil stehen die zusätzlichen Anlagekosten für die Grundwasserförderanlage sowie die Frage der Fortleitung des Wassers nach dessen Verwertung entgegen. Für die hier beschriebene Anlage war es ein grosser Vorteil, dass diese Einrichtungen bereits vorhanden waren. Trotz der erhöhten Anlagekosten bei Verwendung von Grundwasser dürfte in den meisten Fällen die Gesamtwirtschaftlichkeit gleichwohl gesichert sein, woraus folgt, dass sich das Anwendungsgebiet der Raumheizungswärmepumpe bedeutend erweitert, weil diese nun nicht mehr ausschliesslich vom Vorhandensein eines nahen Flusslaufes abhängt.

Die Firma Escher Wyss hat sich im Laufe der letzten Jahre, während welcher sie Gelegenheit hatte, verschiedene Raumheizungswärmepumpen zu bauen, wichtige Erkenntnisse erworben. Eine dieser Erkenntnisse besteht darin, dass die durch die Heizungstechnik gewonnenen Erfahrungswerte nicht ohne weiteres auf Wärmepumpenbetriebe übertragen werden können. Die ganz andere, den besonderen Bedürfnissen der Wärmepumpe angepasste Betriebsweise ergibt ein viel günstigeres Verhältnis von pro Jahr gelieferter Wärmemenge zur installierten Leistung als bei Anlagen, die mit Brennstoffen befeuert sind. Diesem Umstand wird bei den folgenden Untersuchungen besondere Beachtung zu schenken sein.

Wirtschaftliche Betrachtungen

Bei der Raumheizungswärmepumpe sind die Anlagekosten einer Wärmepumpenheizung ein Mehr-

faches einer normalen Gliederkesselanlage. Infolge der Wärmepumpenwirkung werden aber die Energiekosten, günstige Elektrizitätspreise vorausgesetzt, wesentlich geringer als bei Verwendung normaler Brennstoffe. Im folgenden sollen daher diese Zusammenhänge untersucht, und es soll festgestellt werden, unter welchen Umständen eine Wärmeerzeugungsanlage mit Wärmepumpe wirtschaftlich ist. Gleichzeitig soll die Zweckmässigkeit einer Kombination zwischen direkter Wärmeerzeugung in Kesseln und Erzeugung der Wärme durch Wärmepumpe abgeklärt werden.[1]) Da die Wärmepumpenanlage teurer ist als eine Kesselanlage, ist anzunehmen, dass sie, wirtschaftlich betrachtet, nicht in der Lage ist, Spitzenleistungen mit geringer Benützungsdauer zu übernehmen. Die folgenden Untersuchungen wollen als Berechnungsbeispiel aufgefasst sein und haben zahlenmässig nicht besonderen Bezug auf die Anlage von Escher Wyss. Für anders gelagerte Fälle kann die Wirtschaftlichkeit in gleicher Weise untersucht werden.

Die gesamten Jahreskosten für die Wärmeerzeugung einer Heizung setzen sich zusammen aus Energiekosten (Brennstoff oder Elektrizität), Kapitaldienst, Bedienung, Unterhalt und Diversem. Hier werden nur der Kapitaldienst, die Energiekosten und der Unterhalt der Wärmeerzeugungsanlage nach dem einen und dem anderen System betrachtet. Die Kosten für Bedienung und Diverses dürften bei der Wärmepumpe geringer sein, sollen aber trotzdem nicht näher berücksichtigt werden, um einfache und klare Verhältnisse zu schaffen. Es bedeuten:

die Indices
- w Wärmepumpe
- k Kesselanlage

P den Anschlusswert der Heizung (maximaler Wärmebedarf) in Mcal/h [2])

P_k die Wärmeleistung der Kesselanlage in Mcal/h

P_w die Wärmeleistung der Wärmepumpe

also $P = P_k + P_w$

$n_k = \frac{P_k}{P}$ Leistungsanteil der Kesselanlage

$n_w = \frac{P_w}{P}$ Leistungsanteil der Wärmepumpe

a	Anlagekosten pro Leistungseinheit	Fr./Mcal/h
b	Energiekosten pro Mcal	Fr./Mcal
c	Kosten pro kWh	Fr./kWh
d	Kosten pro kg Brennstoff	Fr./kg
η	Wirkungsgrad der Wärmeumsetzung in der Kesselanlage	
ε	Leistungsziffer der Wärmepumpenanlage	
H_u	unterer Heizwert des Brennstoffes	Mcal/kg
h	jährliche Benützungsdauer der Nennleistung der Heizung	h
α	Zinsfaktor	
β	Amortisationsfaktor	
γ	Unterhaltsfaktor	
ξ	Festkosten-Faktor $= \alpha + \beta + \gamma$	
e	mittlere Wärmekosten	Fr./Mcal

$e = \frac{a\,\xi}{h} + b$, also

$e_k = \frac{a_k\,\xi}{h} + b_k$: mittlere Wärmekosten einer Kesselanlage

$e_w = \frac{a_w\,\xi}{h} + b_w$: mittlere Wärmekosten einer Wärmepumpenanlage

e'	mittlere Wärmekosten der kombinierten Anlage	Fr./Mcal
j	jährlich zu liefernde Wärmemenge	Mcal/Jahr
j_w	jährlich durch die Wärmepumpe zu liefernde Wärmemenge bei der kombinierten Anlage	Mcal/Jahr
j_k	jährlich durch die Kesselanlage zu liefernde Wärmemenge bei der kombinierten Anlage	Mcal/Jahr

Für den tiefsten Wert von e' ergibt sich, privatwirtschaftlich gesehen, die günstigste Anlage. Wenn eine Kombination von beiden Systemen derart erfolgt, dass die Wärmepumpe die Grundlast und die Kesselanlage die Spitzen übernimmt, so wird dadurch die Benützungsdauer der Wärmepumpe erhöht, diejenige der Kesselanlage erniedrigt. Eine solche Kombination hat den Vorteil, dass das verhältnismässig hohe Anlagekapital der Wärmepumpe auf die Wirtschaftlichkeit einen bedeutend verminderten Einfluss ausübt.

Um die Berechnung von e' zu ermöglichen, müssen die Zusammenhänge von Leistung und Benützungsdauer an Hand der Häufigkeitskurven ermittelt werden.

In Fig. 1 ist die Aussen-Temperatur als Häufigkeitskurve aufgetragen. Als tiefste Temperatur wurde —20° C angenommen. In Fig. 2 ist die Häufigkeitskurve der täglich auftretenden mittleren Belastungen dargestellt. Diese wurde so angenommen, dass die lineare Beziehung zwischen mittlerer täglich abgegebener Wärmemenge und Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Aussentempe-

[1]) Eine kombinierte Anlage (allerdings mit elektrischer Zusatzheizung) wurde von Escher Wyss bereits im Jahre 1936 im Rathaus Zürich erstellt. Vgl.:

Egli, M.: Die Wärmepumpenheizung des zürcherischen Rathauses, Bull. SEV Bd. 29(1938), Nr. 11, S. 261...273, und Nr. 26, S. 765...766 (Berichtigung).

Ostertag, A.: Heizen mit Wärmepumpen, Escher Wyss Mitt". Bd. 14(1941), S. 50...64.

Weitere Literatur:

Bauer, B.: Die Luftwärmepumpe. Diskussionsbeitrag an der Kurzvorträge-Veranstaltung des SEV vom 9. Juli 1938 in Fryburg. Bull. SEV Bd. 30(1939), Nr. 2, S. 46...47.

Egli, M.: Einiges über die Möglichkeiten von Wärmepumpenheizungen. Bull. SEV Bd. 30(1939), Nr. 2, S. 42...46.

Peter, R.: Anwendungsbereiche der Wärmepumpe. Diskussionsbeitrag an der Kurzvorträge-Veranstaltung des SEV vom 9. Juli 1938 in Fryburg. Bull. SEV Bd. 30(1939), Nr. 2, S. 47...48.

Paltzer, G., und *Peter, R.:* Die Wärmepumpen in den Werken der Vereinigten Schweizerischen Rheinsalinen. Bull. SEV Bd. 34(1943), Nr. 16, S. 467...474.

Kornfehl, A.: Die Wärmepumpen-Heizanlage im Etzelwerk in Altendorf. Bull. SEV Bd. 36(1945), Nr. 6, S. 157...160, u. Nr. 8, S. 255 (Berichtigung).

Wirth, P. E.: Die wirtschaftlichen Möglichkeiten der Wärmepumpe. Bull. SEV Bd. 32(1941), Nr. 18, S. 435...438.

Hasler, O.: Die wirtschaftlichen Grundlagen der Wärmepumpenanlagen im neuen Hallenschwimmbad Zürich. Bull. SEV Bd. 32(1941), Nr. 15, S. 345...348, u. Nr. 16, S. 381 (Berichtigung).

Red.: Die Wärmepumpe marschiert. Bull. SEV Bd. 32 (1941), Nr. 25, S. 726.

Landolt, R.: Gleichzeitige Kühlung und Heizung einer industriellen Anlage mit Wärmepumpe. Techn. Rdsch. Sulzer Bd. 1942, Nr. 2, S. 25...31, u. Bull. SEV Bd. 33(1942), Nr. 23, S. 677...678.

Red.: Die Wärmepumpenanlage zur Heizung der Zürcher Amtshäuser. Bull. SEV Bd. 34(1943), Nr. 17, S. 511...512.

Mettler, D.: Die Schweizer Flüsse als Wärmequelle für Wärmepumpen. Elektr.-Verwertg. Bd. 18(1943/44), Nr. 7/9, S. 145...146.

Baumann, A., und *Marples, D.:* Einige Anwendungen der Wärmepumpe als Heizmaschine. Brown Boveri Mitt". Bd. 30 (1943), Nr. 7/8, S. 146...167, u. Bull. SEV Bd. 35(1944), Nr. 1, S. 26...28.

[2]) 1 Mcal = 10^6 cal = 1000 kcal.

ratur gewahrt bleibt und dass sich anderseits eine Benützungsdauer von 1000 h/Jahr ergibt. Eine Benützungsdauer von 1000 h/Jahr stellt einen für Zürich bei brennstoffbefeuerten Heizanlagen üblichen Wert dar.

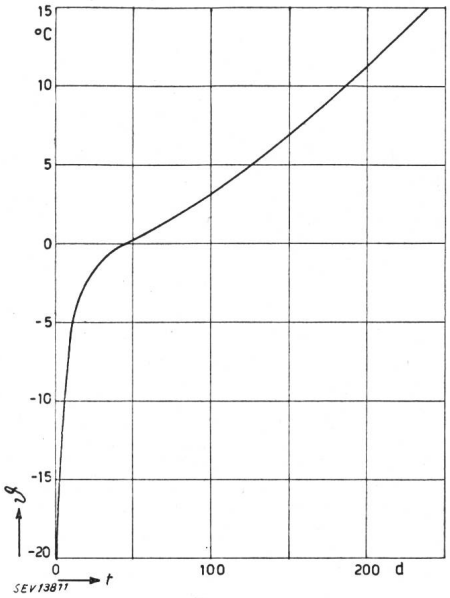

Fig. 1.
Häufigkeitskurven der Aussentemperatur in Zürich
t Zeit in Tagen (d)
ϑ mittlere tägliche Lufttemperatur in °C

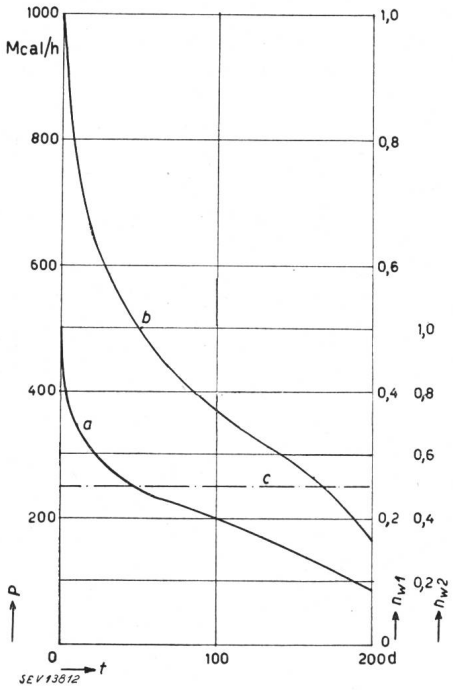

Fig. 2.
Häufigkeitskurven des Wärmeleistungsbedarfes P
t Zeit in Tagen (d)
a täglich auftretende mittlere Last
b täglich auftretende Höchstlast
c gewählte Leistungsaufteilung $n_w = \frac{P_w}{P} = 0{,}25$ (bei normaler Auslegung) bzw. $= 0{,}5$ (wenn, wie es hier empfohlen wird, durchgehend geheizt wird, und nach Erfahrung dann die Nennleistung der Heizanlage auf 50 % herabgesetzt werden kann)
n_{w1} Leistungsaufteilung bei normaler Nennleistung
n_{w2} Leistungsaufteilung bei durchgehendem Heizbetrieb, bei dem die Nennleistung auf 50 % bemessen werden kann

Kurve b gibt die tägliche Höchstbelastung an. Sie wurde so angenommen, dass sie bei —20° C Aussentemperatur gleich dem Anschlusswert ist und dass gleichzeitig die lineare Beziehung zwischen täglicher Höchstlast und Temperaturdifferenz von Innen- und Aussentemperatur gilt.

Fig. 2 zeigt nun, dass bei einer gewöhnlichen Heizung die maximale Leistung rund das Doppelte desjenigen Wertes beträgt, der nötig wäre, wenn die gleiche Heizwärmemenge über den ganzen Tag gleichmässig verteilt geliefert werden könnte. Auf Grund der bisher von Escher Wyss gelieferten Wärmepumpenanlagen ergab sich die Erfahrung, dass der durchgehende Heizbetrieb für Wärmepumpen unbedingt anzustreben ist, da er die günstigsten Resultate ergibt. Auch bei der kombinierten Anlage wird daher, mindestens für die Wärmepumpe als den Hauptwärmelieferanten, der durchgehende Betrieb nach Möglichkeit angewendet werden.

Die folgenden Ermittlungen sind also auf der vereinfachenden Annahme eines durchgehenden Betriebes mit konstanter Belastung durchgeführt.

Es sollen nun die Jahreswärmekosten der Kesselanlage, der Heizanlage mit Wärmepumpe und des kombinierten Systems ermittelt werden.

1. Normale Kesselanlage

$$e_k = \frac{a_k\,\xi}{h} + b_k$$

$$b_k = \frac{d}{H_u\,\eta}$$

$$e_k = \frac{a_k\,\xi}{h} + \frac{d}{H_u\,\eta}$$

2. Heizung mit Wärmepumpe

$$e_w = \frac{a_w\,\xi}{h} + b_w$$

$$b_w = \frac{c}{0{,}86\,\varepsilon}$$

$$e_w = \frac{a_w\,\xi}{h} + \frac{c}{0{,}86\,\varepsilon}$$

3. Kombiniertes System

$$e' = \frac{j_w}{j}\left(\frac{a'_w\,\xi}{h_w} + \frac{c}{0{,}86\,\varepsilon}\right) + \frac{j_k}{j}\left(\frac{a'_k\,\xi}{h_k} + \frac{d}{H_u\,\eta}\right)$$

Für eine bestimmte Anlage sind ξ, c, d und H_u konstant, bzw. gegeben. Der Wert η hängt von der Leistungsaufteilung und der Gesamtleistung ab. In erster Annäherung kann er jedoch konstant angenommen werden. Die Werte h_w und h_k sind in weiten Grenzen variabel, da sie von der Leistungsaufteilung abhängen.

$$e' = \frac{h_w\,n_w}{h}\left(\frac{a'_w\,\xi}{h_w} + \frac{c}{0{,}86\,\varepsilon}\right) + \frac{h_k}{h}\,(1 - n_w)\left(\frac{a'_k\,\xi}{h_k} + \frac{d}{H_u\,\eta}\right)$$

Nimmt man irgend eine Leistungsaufteilung vor (Horizontale c in Fig. 2), so können auf Grund der Häufigkeitskurve die Werte von h_w, h_k, $\frac{j_w}{j}$ und $\frac{j_k}{j}$ in Abhängigkeit von n_w berechnet werden (Fig. 3).

Da h_w, h_k, $\frac{j_w}{j}$ und $\frac{j_k}{j}$ Funktionen von n_w sind, ebenso ε unter bestimmten Annahmen, so ist auch e' eine Funktion von n_w. Wenn man daher für n_w denjenigen Wert bestimmt, für den e' zum Minimum wird, so erhält man die günstige Leistungsaufteilung.

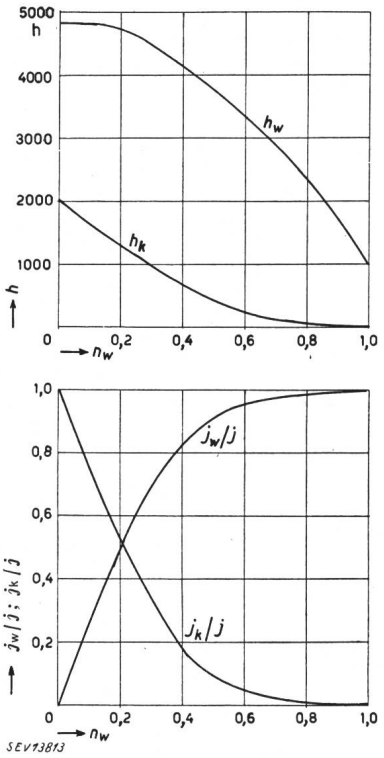

Fig. 3.
Graphische Darstellung der jährlichen Benützungsdauern h_w, h_k und der Verhältnisfaktoren j_w/j, j_k/j in Funktion des Leistungsanteils der Wärmepumpe n_w

Die Werte a'_w und a'_k beziehen sich auf die kombinierte Anlage und sind ebenfalls von n_w abhängig, da im allgemeinen mit kleiner werdender Leistung der Preis pro Leistungseinheit steigt. Zur Vereinfachung des Problems wurden mittlere Werte zu Grunde gelegt, welche über den ganzen Bereich von n_w konstant angenommen sind.

Als Beispiel möge zunächst eine Raumheizung von 1000 Mcal/h maximalem Heizbedarf untersucht werden. Für diese Leistungsgrösse kann man heute mit Anlagekosten von etwa 300...350 Fr./Mcal/h rechnen. Die Kosten einer normalen Zentralheizungsanlage einschliesslich Kohlenförderanlage betragen schätzungsweise zirka 40 000 Fr. für 1000 Mcal/h Heizleistung. Es ist also:

$$a'_k = 40 \text{ Fr./Mcal/h}.$$

Zur Festlegung der Leistungsziffer wurde angenommen, dass eine Strahlungs-Deckenheizung von 50° C maximaler Vorlauftemperatur zur Anwendung gelangen soll. In Fig. 4 ist der angenommene Verlauf der Vor- und Rücklauftemperatur in Abhängigkeit der Aussentemperatur dargestellt. Gleichzeitig ist der Verlauf der Temperatur der Wärme, welche hochgepumpt werden soll, angegeben. Es ergibt sich dann die in Fig. 5 dargestellte Leistungsziffer. Je nach der Leistungsaufteilung ändert sich auch die mittlere Leistungsziffer. Wenn n_w klein

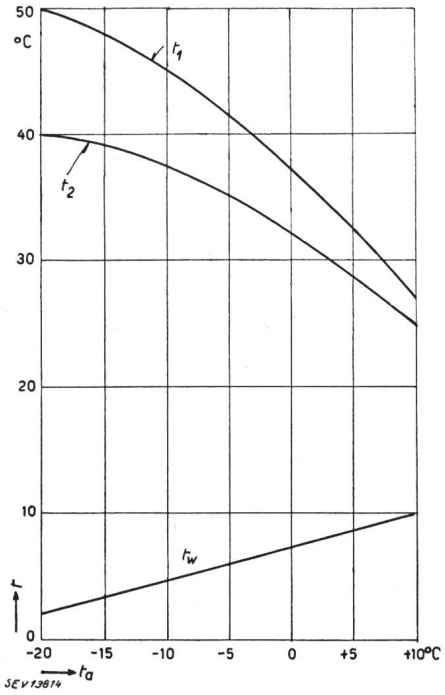

Fig. 4.
Heizwassertemperaturen t in Abhängigkeit der Aussentemperaturen t_a für eine Deckenheizung
t_1 Vorlauftemperatur
t_2 Rücklauftemperatur
t_w Flusswassertemperatur

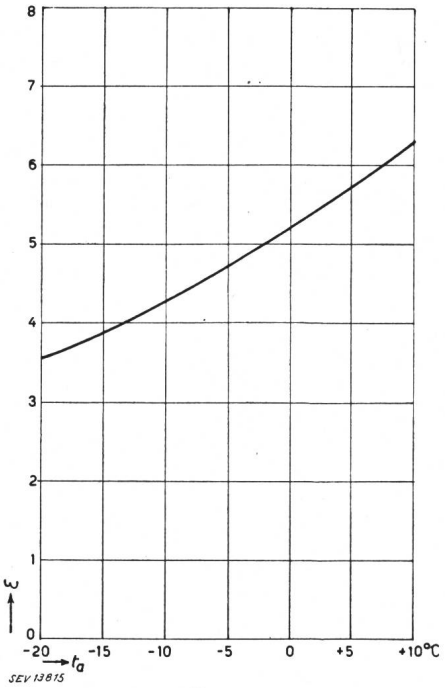

Fig. 5.
Leistungsziffern ε in Abhängigkeit der Aussentemperaturen t_a
(auf Grund von Fig. 4)

ist, ist ε_{mittel} gross und umgekehrt. Der Zusammenhang ist in Fig. 6 dargestellt.

Des weitern wurden noch folgende Werte zu Grunde gelegt:

$\alpha = 0{,}05$; $\beta = 0{,}03$; $\gamma = 0{,}02$, also

$\xi = 0{,}1$;
$\eta = 0{,}65$
$H_u = 7000$ kcal/kg $= 7$ Mcal/kg
ε = variabel entsprechend Fig. 5 und 6
d = 0,060 Fr./kg ferner alternativ 0,12 und 0,18 Fr./kg
c = variabel 0,01; 0,02; 0,03; 0,04 Fr./kWh

1. Normale Zentralheizungsanlage

$$e_k = \frac{a_k\,\xi}{h} + b_k$$

2. Wärmepumpe

$$e_w = \frac{a_w\,\xi}{h} + b_w$$

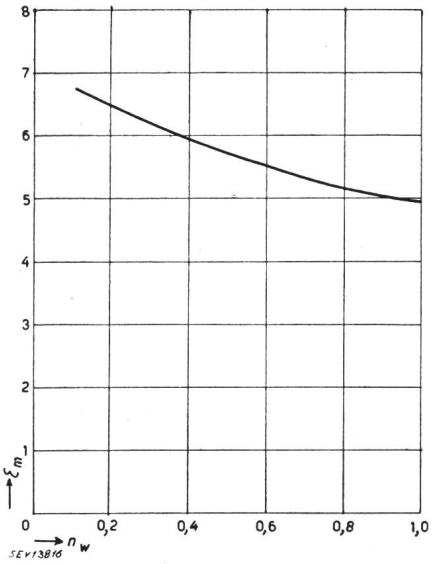

Fig. 6.
Mittlere Leistungsziffern ε_m in Abhängigkeit der Leistungsaufteilung n_w

den vorliegenden Verhältnissen einer normalen Heizung überlegen ist. Steht eine reine Wärmepumpenanlage mit einer Zentralheizung in Wettbewerb, so müssen sehr tiefe kWh-Preise vorliegen, damit die Wärmepumpe wettbewerbsfähig ist. Das kombinierte System bietet daher besonderes Interesse.

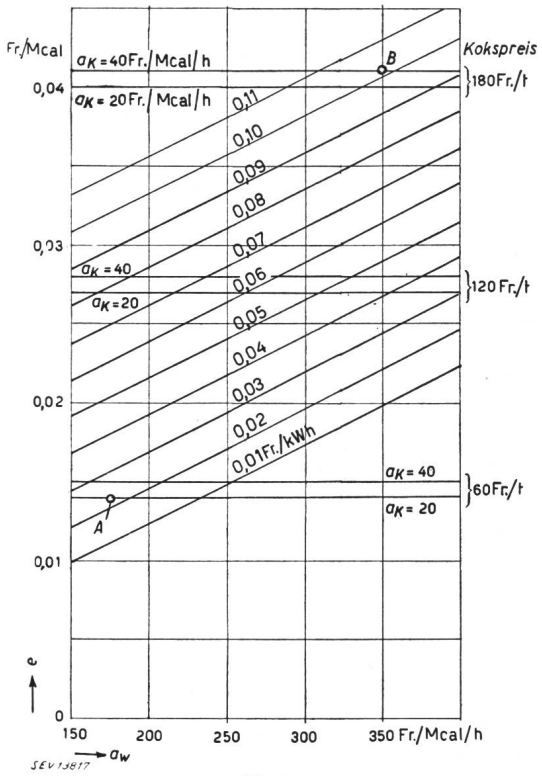

Fig. 7.
Vergleich der Wärmekosten e einer normalen Heizung (horizontale Geraden) **mit einer Wärmepumpenheizung** (schräge Geraden)

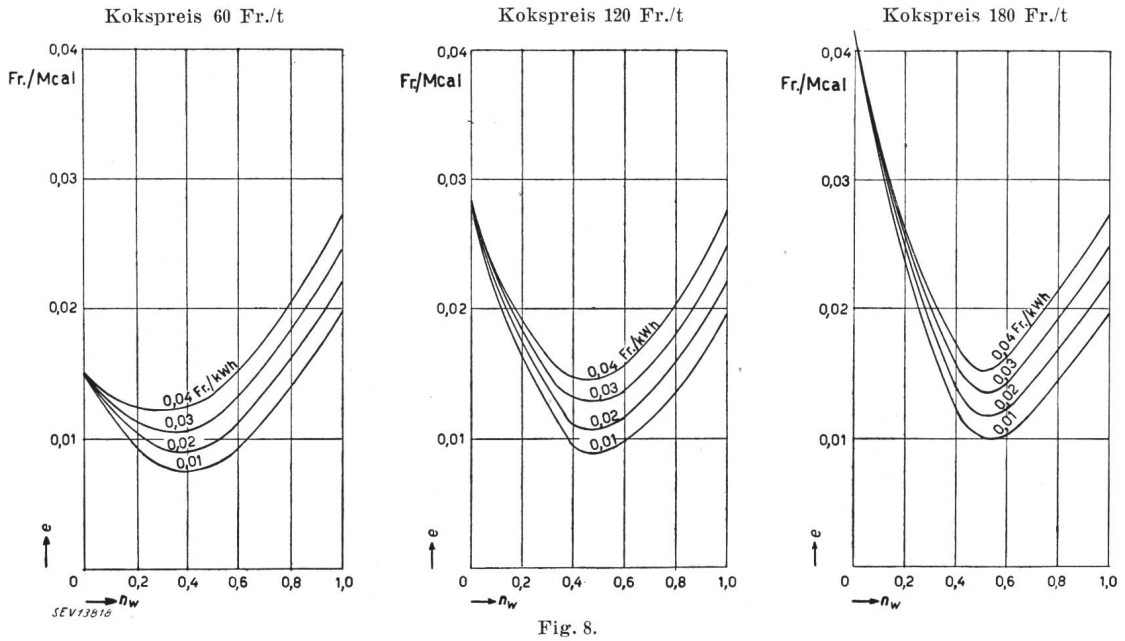

Fig. 8.
Wärmekosten e beim kombinierten System für verschiedene Brennstoffkosten (gültig für a_w = 350 Fr./Mcal/h) **in Funktion des Leistungsanteils der Wärmepumpe n_w**

Die Auswertung dieser Formeln führt zur graphischen Darstellung Fig. 7. Es geht daraus hervor, unter welchen Bedingungen eine Wärmepumpe bei

Fig. 7 gibt in anschaulicher Weise auf eine Frage Antwort, die heute von erhöhtem Interesse ist. Der Aequivalenzpreis hat sich nämlich unter dem Ein-

fluss der veränderten Preislage seit dem Kriege ganz bedeutend geändert. Nimmt man an, dass die Herstellungspreise sowohl einer Wärmepumpenanlage, als auch einer normalen Zentralheizungsanlage gegenwärtig doppelt so hoch sind als vor dem Krieg, wogegen die Brennstoffkosten sich auf ungefähr dreifacher Höhe bewegen, so bringt beispielsweise der Vergleich von Punkt A (vor dem Kriege) mit dem Punkt B (gegenwärtig) zum Ausdruck, dass sich der Aequivalenzpreis von 0,022 Fr./kWh auf zirka 0,102 Fr./kWh erhöht hat. Der Aequivalenzpreis ist also auf den 4,6fachen Betrag angestiegen. In nächster Zeit ist wohl mit einer gewissen Rückbildung der Preise zu rechnen, so dass sich auch der Aequivalenzpreis wieder verkleinern wird.

3. Kombiniertes System

$$e' = \frac{j_w}{j}\left(\frac{a'_w\,\xi}{h_w} + \frac{c}{0{,}86\,\varepsilon}\right) + \frac{j_k}{j}\left(\frac{a'_k\,\xi}{h_k} + \frac{d}{H_u\,\eta}\right)$$

Die Auswertung dieser Formel führt für $a'_w = 350$ Fr./Mcal/h zu den in Fig. 8 dargestellten Kurven. Man erkennt aus dieser Figur, dass sämtliche Kurven ein Minimum aufweisen. Es geht daraus hervor, dass namentlich bei hohen Brennstoffkosten die Aufstellung einer kombinierten Anlage sehr zu empfehlen ist. Die Leistung der Wärmepumpe soll zirka 0,4...0,6 der totalen Leistung betragen.

Anpassung der Wärmepumpenanlage an die bestehende Heizung

Im vorhergehenden Abschnitt wurde die Wirtschaftlichkeit einer kombinierten Brennstoff-Wärmepumpen-Heizung untersucht, wobei die Annahmen so einfach als möglich getroffen wurden, um klare Verhältnisse zu erhalten. Eine möglichst tiefe Vorlauftemperatur beim höchsten Heizbedarf, was z. B. bei einer Deckenheizung der Fall ist, ist vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe sehr wichtig, da eine tiefe Vorlauftemperatur eine hohe Leistungsziffer ergibt und gestattet, für den Kompressor der Wärmepumpe mit geringen Drücken auszukommen. In diesem Falle wird bei einer kombinierten Heizung die Schaltung so getroffen, dass die Erhitzung des Vorlaufwassers in zwei Apparaten erfolgt, welche in Serie geschaltet sind, wobei die erste Erhitzung durch die Wärmepumpe und die zweite durch die zusätzliche Feuerungsanlage erfolgt.

Wird dagegen für die Heizung eine hohe Vorlauftemperatur benötigt, z. B. 90° C, so wird die Anlage so disponiert, dass die Wärmepumpe bis zu

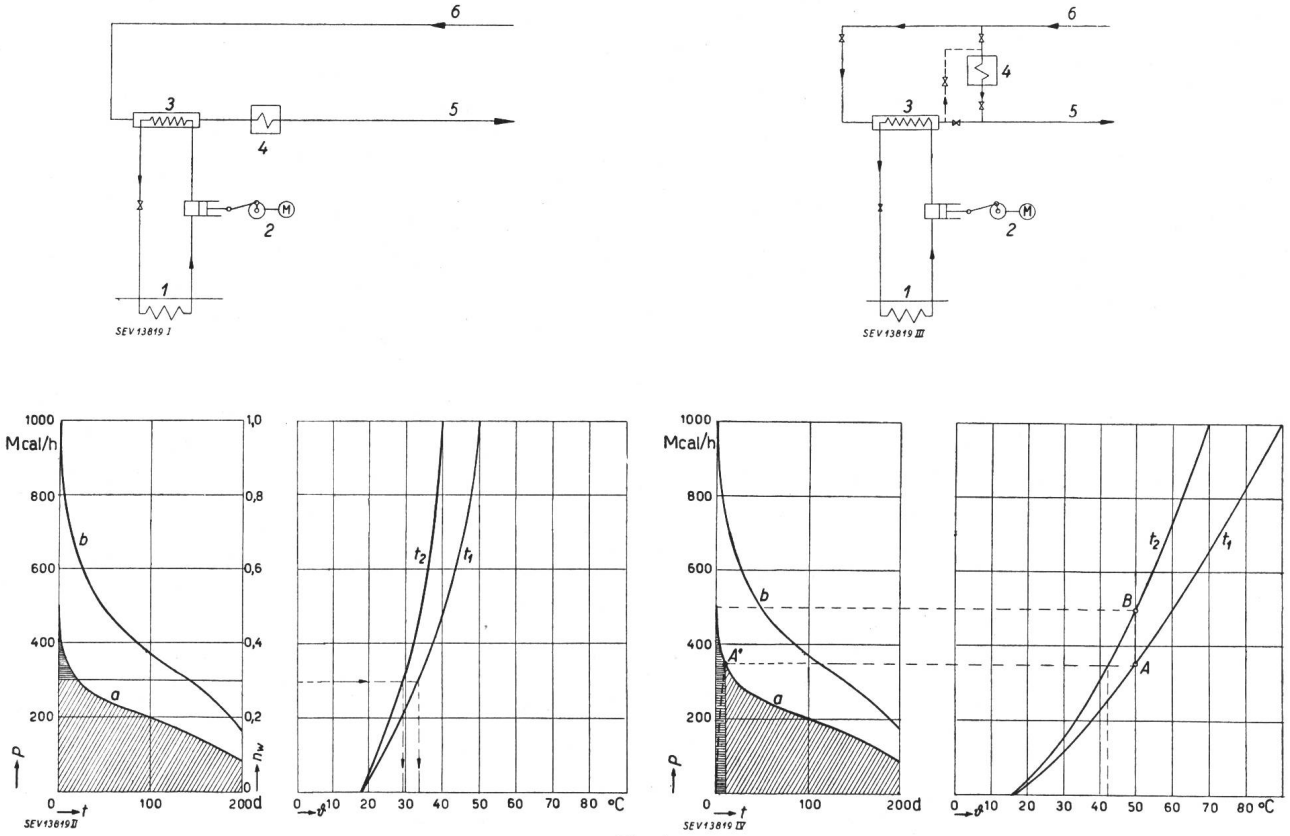

Fig. 9.

Kombinierte Brennstoff-Wärmepumpen-Heizungsanlage

a) max. Vorlauftemperatur 50° C **b) max. Vorlauftemperatur 90° C**

1 Verdampfer
2 Kompressor
3 Kondensator
4 Zusatzheizung (Brennstoff)
5 Vorlauf, a) max. 50° C, b) max. 90° C
6 Rücklauf, a) max. 40° C, b) max. 70° C
P Wärmeleistung (in Mcal/h)
t Zeit in Tagen (d)
a täglich auftretende mittlere Last
b Tagesspitzen bei einer brennstoffbefeuerten Anlage
ϑ Heizwassertemperaturen (in ° C)
t_1 Vorlauftemperatur (in °C)
t_2 Rücklauftemperatur (in °C)

n_w Leistungsanteil der Wärmepumpe: auf maximale Spitzenlast bezogen: 0,35, auf maximale mittlere Tagesleistung bezogen: 0,6.

einer bestimmten Aussentemperatur (z. B. —5° C entsprechend einer Vorlauftemperatur von 50° C) den gesamten Heizbedarf deckt. Für tiefere Aussentemperaturen wird die Wärmepumpe abgestellt und ausschliesslich die Feuerungsanlage in Betrieb gehalten. Fig. 9 zeigt einen Vergleich der beiden Schaltungen und der zugehörigen Diagramme.

Auf der linken Seite ist eine Anlage dargestellt, bei der die max. Vorlauftemperatur 50° C beträgt. Der Leistungsanteil der Wärmepumpe, bezogen auf den Maximalwert der mittleren Tagesleistung (bei —20° C Aussentemperatur) beträgt 0,6. Bis zu einer Aussentemperatur von —2° C steht die Wärmepumpen-Anlage in Betrieb. Für tiefere Aussentemperaturen wird ausserdem noch die brennstoffbeheizte Anlage in Betrieb genommen.

Die kombinierte Anlage ist hier nur durch wirtschaftliche Ueberlegungen bedingt; technisch wäre es möglich, auch bis zu höchsten Heizleistungen den gesamten Wärmebedarf durch die Wärmepumpe zu decken.

Auf der rechten Seite ist eine Anlage dargestellt, welche für eine max. Vorlauftemperatur von 90° C bestimmt ist. Das Diagramm zeigt, dass bis zur Vorlauftemperatur von 50° C entsprechend —5° C Aussentemperatur nur die Wärmepumpen-Anlage in Betrieb ist. Für Aussentemperaturen unter —5° C wird die Wärmepumpe abgestellt, und es ist nur die brennstoffbefeuerte Anlage in Betrieb. In beiden Diagrammen ist die durch die Wärmepumpe gelieferte Wärmemenge durch schräge Schraffur dargestellt; der horizontal schraffierte Teil entspricht der durch die Feuerungsanlage gelieferten Wärmemenge. Im Diagramm rechts kann die durch die Wärmepumpe erzeugte Wärme noch vergrössert werden, wenn eine zusätzliche Leitung für Serienschaltung vorgesehen wird. Dadurch kann die durch die Wärmepumpe zu liefernde Wärmemenge entsprechend dem Verlauf der Kurve *A'—B'* vergrössert werden.

Die Wärmepumpenheizung bei Escher Wyss in Zürich

Nachdem die grundsätzlichen Möglichkeiten der Wärmepumpenschaltung in Abhängigkeit des zu bedienenden Heizungssystems erläutert wurden, soll nun auf die besonderen Verhältnisse bei den Büro- und Werkstättegebäuden von Escher Wyss näher eingetreten werden. In Fig. 10 ist ein Anlageplan der Gebäulichkeiten dargestellt, in welchem die vor dem Umbau vorhandenen Heizeinrichtungen eingetragen sind. Folgende Heizarten waren bereits vorhanden:

1. Warmwasserheizung (maximale Vorlauftemperatur 90° C)
   a) Einzelzentralheizungen mit Kokskessel (z. B. Landihaus)
   b) Kleine Fernheizung ab Umformerstation (Dampf-Warmwasser-Umformer), z. B. Kleindreherei, Büro im Versuchslokal).
2. Heisswasserheizung (maximale Vorlauftemperatur über 100° C) als Fernheizung ab Umformerstation (Dampf-Heisswasser-Umformer, z. B. im Landihaus).
3. Dampfheizung als Fernheizungsanlage.
4. Ofeneinzelheizungen (z. B. Giesserei).
5. Elektrische Einzelheizungen.

Eine Nachprüfung ergab, dass die Heizung an und für sich nicht das Maximum an Wirtschaftlichkeit aufwies, und zwar sowohl bezüglich der Güte der Brennstoffausnützung, als auch wegen der

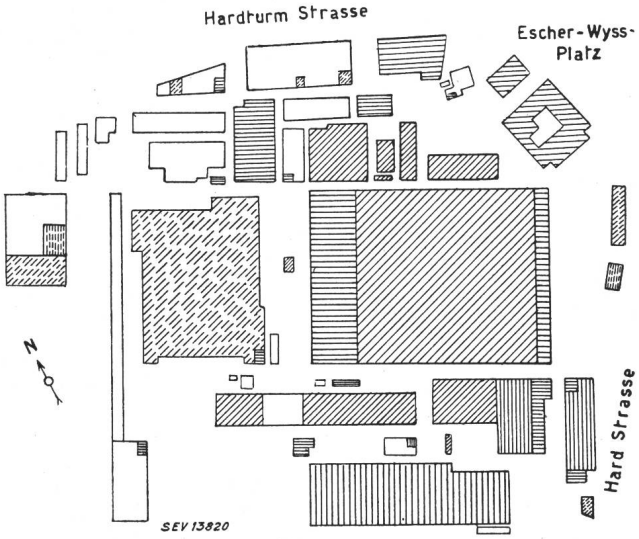

Fig. 10.
Lageplan der beheizten Gebäude vor dem Umbau

Gebäude mit Dampfheizung
Gebäude mit Heisswasserheizung
Gebäude mit Warmwasserheizung
Gebäude mit Einzelöfen (Koksöfen)
Gebäude mit elektrischer Heizung

hohen Bedienungskosten infolge der dezentralisierten Aufstellung der verschiedenen Wärmeerzeugungsstellen. Es lag daher nahe, die Wärmeerzeugung noch mehr als bisher zu zentralisieren, d. h. die Fernheizung weiter auszubauen, und ausserdem die Verwendung verschiedener Heizsysteme zu unterdrücken und damit eine Vereinheitlichung der Fernheizung anzustreben.

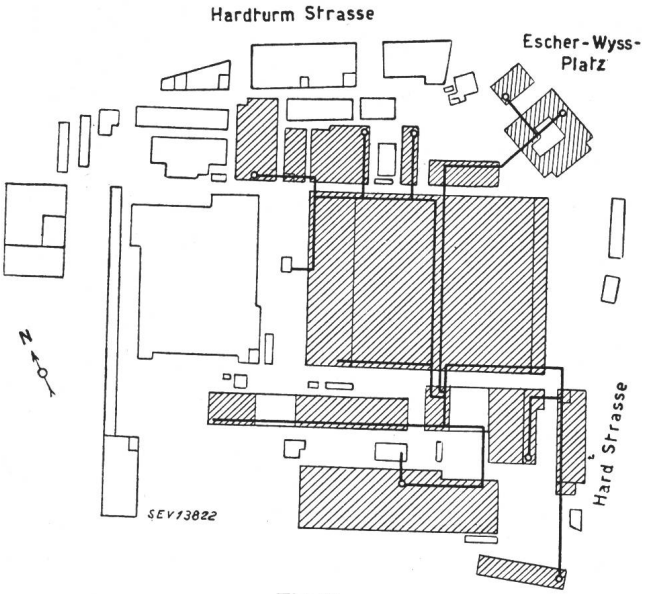

Fig. 11.
Lageplan nach der Vereinheitlichung des Heizsystems
Die schraffierten Gebäude werden aus der neuen Wärmezentrale mit Grundwasser-Wärmepumpe gespeist

Da sämtliche Heizkörper für hohe Temperaturen (Dampfheizung, Heisswasserheizung von 110° C Vorlauftemperatur oder Warmwasserheizung von 90° C Vorlauftemperatur) vorgesehen waren, kam grundsätzlich nur eine Schaltung nach Fig. 9b in Frage.

Fig. 11 zeigt den Lageplan nach der Vereinheitlichung des Heizsystems. Sämtliche vorhandenen Heizkörper werden nun mit Warmwasser (max. Vorlauftemperatur 90° C) betrieben.

Das neue Fernleitungssystem ist heute ausschliesslich auf Warmwasserheizung umgestellt. Von der Zentrale gehen die verschiedenen Stränge aus, wobei diese so disponiert sind, dass die Büroräume und die Werkstätten unabhängig voneinander betrieben werden können. Diese Aufteilung trägt wesentlich zur sparsamen Wärmeverwendung bei.

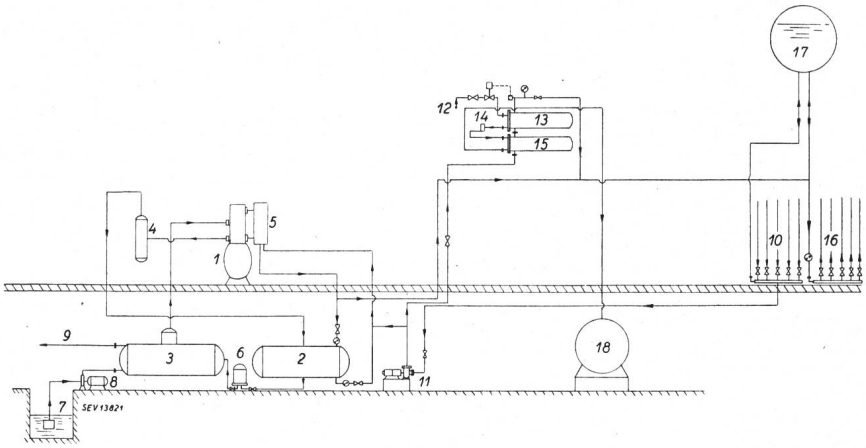

Fig. 12.
Schema der Wärmepumpenheizung bei Escher Wyss

1 Kompressor
2 Kondensator
3 Verdampfer
4 Oelabscheider
5 Zwischenkühler
6 Automatisches Reduzierventil
7 Grundwasser-Entnahme
8 Grundwasser-Pumpe
9 Grundwasser-Ableitung
10 Rücklauf-Sammler
11 Heizwasser-Umwälzpumpe
12 Dampf-Zuleitung
13 Dampf-Heizwasser-Umformer
14 Kondenstopf
15 Kondenswasser-Kühler
16 Vorlauf-Verteiler
17 Expansionsgefäss
18 Kondenswasser-Behälter

Die Wärmepumpenzentrale

In Fig. 12 ist das Prinzip-Schema der Wärmepumpenzentrale dargestellt. Das im Sammler (*10*) vereinigte Rücklaufwasser gelangt über die Umwälzpumpe (*11*) in den Kondensator (*2*) der Wärmepumpenanlage und wird hier erhitzt. Eine Teilmenge des Rücklaufwassers gelangt in den Zwischenkühler (*5*) des Kompressors (*1*). Bei sehr grossem Heizbedarf wird die Wärmepumpenanlage abgestellt, und die Erhitzung des Heizungswassers erfolgt in einem Dampf-Warmwasserumformer (*13*), nachdem es zunächst noch Wärme in einem Kondensatkühler (*15*) aufgenommen hat.

Fig. 13 zeigt die Kompressorenanlage. Die Wärmeleistung der Wärmepumpenanlage mit 2 Wärmepumpen beträgt 1500 Mcal/h. Es ist der nötige Platz für die Aufstellung einer weitern Kompressorengruppe vorgesehen.

Fig. 14 gibt die Anordnung der Apparate, links den Verdampfer und rechts den Kondensator, wieder.

Aus Fig. 15 geht die Aufstellung der Grundwasserpumpe sowie die Anordnung der automatischen Regulierventile hervor. Rechts erkennt man den Verdampfer.

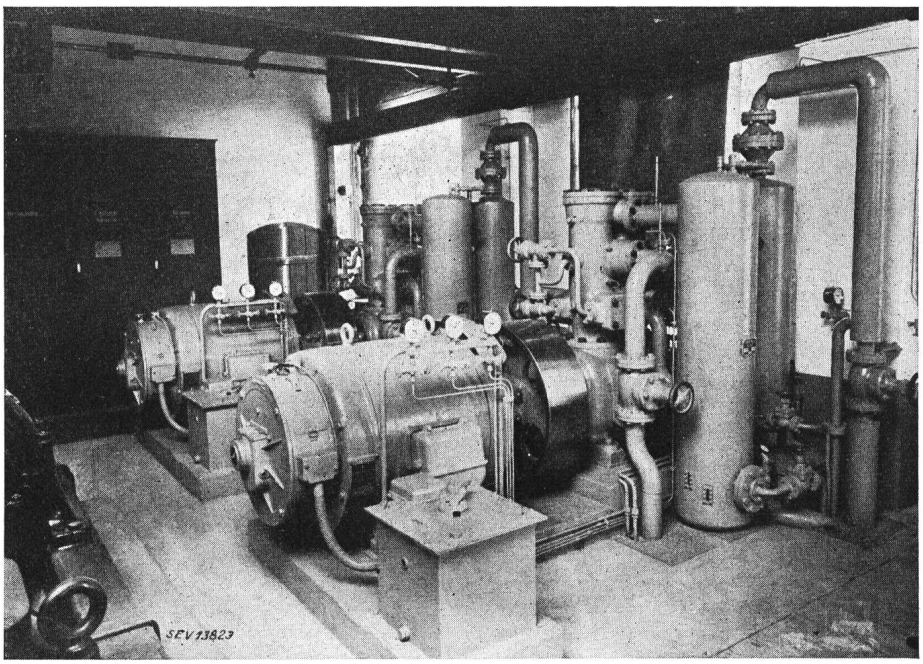

Fig. 13.
Kompressorengruppen der Wärmepumpenanlage

Bisherige Ergebnisse

Die Anlage hat im Winter 1945/46 zur vollen Zufriedenheit gearbeitet. Es zeigte sich, dass dank

der wirtschaftlichen Auslegung der Leistungsgrösse der Wärmepumpe sowie der zweckmässigen Ausbildung der Fernheizung bedeutende Ersparnisse gegenüber dem früheren Betrieb erzielt werden konnten. Systematische Betriebserhebungen sind für die nächste Heizperiode vorgesehen; es soll zu gegebener Zeit darüber berichtet werden.

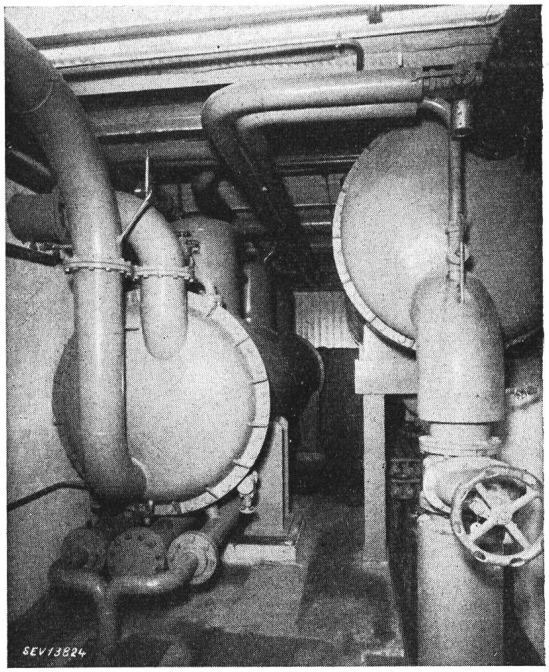

Fig. 14.
Verdampfer (links) **und Kondensator** (rechts) **der Wärmepumpenanlage**

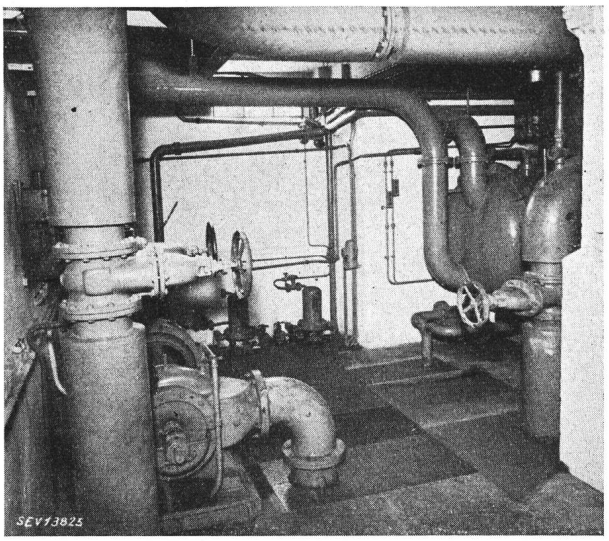

Fig. 15.
Grundwasserpumpe und automatische Regulierventile der Wärmepumpenanlage
Rechts im Hintergrund der Verdampfer (siehe Fig. 14)

Adresse des Autors:
Dr. sc. techn *R. Ruegg*, Hönggerstr. 135, Zürich 10.

Zur Theorie des Frequenz-Diskriminators

Von *P. Güttinger*, Baden

621.396.619.018.41 : 621.396.62

Ausgehend von Arbeiten anderer Autoren (vgl. Literatur-Verzeichnis am Schluss) wird hier eine allgemeine Theorie des Diskriminators entwickelt. Es werden die Linearitätsbedingungen von einem neuen Gesichtspunkte aus betrachtet. Die Untersuchung bezieht sich vor allem auf den Fall der Demodulation von FM-Schwingungen. Dort bildet bekanntlich die möglichst unverzerrte Umformung der Frequenzmodulation in Amplitudenmodulation das Hauptproblem.

Partant des travaux d'autres auteurs, (cf. liste à la fin de l'exposé) une théorie générale du discriminateur a été développée dans cet article. Les conditions de linéarité ont été envisagées d'un point de vue nouveau. Les recherches se rapportent avant tout à la démodulation d'ondes modulées en fréquence. Dans ce domaine le problème principal est la conversion, avec le moins de distorsion possible, de la modulation de fréquence en modulation d'amplitude.

Ein Schaltungselement der Hochfrequenztechnik, welches in neuerer Zeit eine besondere Bedeutung erlangt hat, ist der Diskriminator. Seine Aufgabe besteht darin, feste Frequenzen zu messen und zu kontrollieren (Frequenzregulierung von Sendern) oder die Modulation variabler Frequenzen zu «diskriminieren» (Umwandlung von Frequenz- in Amplitudenmodulation bei Empfängern).

Die einfachste Form des Diskriminators besteht in einer Drosselspule, welche von einem Wechselstrom *konstanter Amplitude*

$$i = A_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

durchflossen wird (Fig. 1). Da die an L entstehende Spannung

$$u = L \frac{di}{dt} = A_0 L\omega \cos(\omega t + \varphi)$$

der Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$ proportional ist, kann mit Hilfe eines Amplitudengleichrichters, z. B. mittels einer Diode, die Frequenz direkt gemessen werden.

Indessen wird diese primitive Form des Diskriminators in der Hochfrequenztechnik nur sehr selten verwendet, hauptsächlich darum, weil sein Wirkungsgrad ungenügend ist. Die in der Hochfrequenztechnik festzustellenden Frequenzänderungen sind relativ gering, so dass die Amplitudenvariationen von u fast unmessbar klein werden.

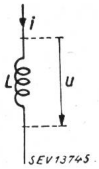

Fig. 1.
Drosselspulen-Diskriminator
L Induktivität. i HF-Strom.
u Spannung über L.

Auch ein gewöhnlicher Resonanzkreis (Fig. 2) kann als Diskriminator verwendet werden, wobei der Wirkungsgrad gegenüber der nicht abgestimmten Induktivität viel höher ist. Dieses Verfahren