

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 123/124 (1944)
Heft: 5

Artikel: Das Wärmepump-Ergänzungswerk des Fernheizkraftwerkes (FHK) der E.T.H.
Autor: Bauer, B.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-53881>

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: 01.04.2025

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

Auf der andern Seite bedingt die ausserordentliche Mannigfaltigkeit in den geologischen Verhältnissen unseres Landes eine ungewöhnliche Fülle und Variationsbreite erdbaumechanischer Probleme, von denen wir nur einen sehr kleinen Ausschnitt beleuchtet haben. Gleichzeitig begegnet man diesen Problemen auf fast allen Gebieten des Ingenieurwesens. Nicht nur von Bau- und Kulturtechnik werden erdbauliche Fragen gestellt, die sich auf Fundationen, Dämme, Stollen, Strassen, Flugplatzpisten, Meliorationen oder Rutschungen beziehen, sondern auch von der Industrie, wie z. B. von der Keramik, den Giessereien und der Ziegelei-Industrie. In Anbetracht der volkswirtschaftlichen Bedeutung aller dieser Probleme ist es auch hier geboten, der Grundlagenforschung grösste Beachtung zu schenken. Oft nimmt die zweck- und terminbedingte Aufgabestellung der Praxis die Arbeitskräfte der wissenschaftlichen Institute derart in Anspruch, dass ihre Hauptaufgabe, die in der Schaffung allgemeiner Grundlagen besteht, zu kurz kommt. Die an sich so notwendige und anregende Wechselwirkung zwischen Praxis und Forschung wird erst richtig fruchtbar, wenn die Möglichkeit besteht, irgend ein Problem nicht allein vom engen Gesichtspunkt eines Spezialfalles, sondern allgemein und tieferschürend zu lösen. Um das eine zu tun und das andere nicht zu lassen, wäre eine Gliederung, bzw. Zweiteilung der wissenschaftlichen Institute in dem Sinne anzustreben, dass neben der Befriedigung der unmittelbaren Bedürfnisse der Praxis die Kontinuität der Forschung in erster Linie gewahrt bleibt. Nur im Geiste einer auf weite Sicht gestellten Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis, die sich von dem Ideal leiten lässt, das Bundesrat Etter anlässlich der Einweihung des neuen Instituts auf dem Weissfluhjoch⁵⁾ als die «in königlicher Freiheit» tätige Forschung formuliert hat, können Früchte von bleibendem Wert heranreifen.

⁵⁾ Am 15. April 1943, vgl. Band 121, Seite 229.

Literatur-Verzeichnis

[1] Bader, Haefeli, Bucher, Neher, Eckel, Thams: Der Schnee und seine Metamorphose, mit einer Einleitung von Prof. Dr. P. Niggli. Beiträge z. Geologie d. Schweiz. Geotechn. Serie, Hydrologie. Bern 1939.
 [2] Niggli, F.: Schnee und Firm. Rektoratsrede an der 107. Stiftungsfeier der Universität Zürich, 1940. Orell Füßli, Zürich.
 [3] Ritter M.: Klassische Erddrucktheorie. Institut für Baustatik E. T. H. Erdbaukurs Zürich, 1938.
 [4] Fröhlich O. K.: Druckverteilung im Baugrund. Wien 1934.
 [5] Haefeli R.: Schneemechanik, mit Hinweisen auf die Erdbaumechanik. Sonderdruck aus [1] (Diss.).
 [6] Haefeli R.: Spannungs- und Plastizitätserscheinungen der Schneedecke. «Schweiz. Archiv», H. 9 bis 12, 1942.
 [7] von Moos A.: Die Geologie der Schweiz und deren Beziehung zur Bautechnik. Separatdruck aus «Hoch- und Tiefbau» 1941/42.
 [8] Niculescu Js.: Untersuchungen über die Energieübertragung und Stossdauer beim geraden zentralen Stoss zylindrischer Stäbe. Freiberg 1. Sa. 1932 (Diss.).
 [9] Stern O.: Das Problem der Pfahlbelastung. Berlin 1908.
 [10] Haefeli R.: Die mechanischen Eigenschaften der Lockergesteine. SBZ Bd. 111, No. 24 und 25 (1938).
 [11] Meyer-Peter E.: Pfahlgründungen. «H. u. T.» 1938, No. 35/36.
 [12] L. Bendel und R. Ruckli: Die Erdrutsche von Emmenegg und Dallenwil. «Strasse und Verkehr», No. 16 und 17, 1937.
 [13] Ros M. und Eichinger A.: Versuche zur Klärung der Bruchgefahr. II. Nichtmetallische Stoffe. Diskussionsbericht No. 28 der Eidg. Materialprüfungsanstalt an der E. T. H., Zürich.
 [14] Tiedemann B.: Ueber Bodenuntersuchungen bei Entwurf und Ausführung von Ingenieurbauten. Berlin 1942.
 [15] Gruner-Haefeli: Beitrag zur Untersuchung des physikalischen und statischen Verhaltens kohärenter Bodenarten. «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 103, No. 15 und 16, 1934.
 [16] Haefeli R. und von Moos A.: Drei Lockergesteine und ihre technischen Probleme. «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 112, No. 11, 1938.
 [17] Niggli F.: Die Schnee-, Lawinen- und Gletscherkunde in der Schweiz. Zur Eröffnung des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung. 15. April 1943.
 [18] Haefeli R.: Neues Forschungsinstitut auf dem Weissfluhjoch der Schweiz. Schnee- und Lawinenforschungskommission. «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 119, No. 26, 1942.
 [19] Maag E.: Grenzbelastung des Baugrundes. «Strasse und Verkehr», 1938.
 [20] Redlich-Terzaghi-Kampe: Ingenieurgeologie. Berlin-Wien 1929.
 [21] Bucher E.: Die Lawinen des Winters 1941/42. «Die Alpen», 1942, H. 12.
 [22] Grevy A.: Compléments de Géométrie, 2ème éd. Paris 1909.
 [23] Grossmann M.: Darstellende Geometrie, 1932.
 [24] Singer M.: Der Baugrund. Wien 1932.
 [25] Huijzinga T. K.: Grondonderzoek voor de Brug over de oude Maas bij Dordrecht. Sonderdruck aus «Openbare Werken», 1936.
 [26] Thams Ch.: Eine Sonde zur Messung der Temperatur in der Schneedecke. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens, Band LXXIX 1943.

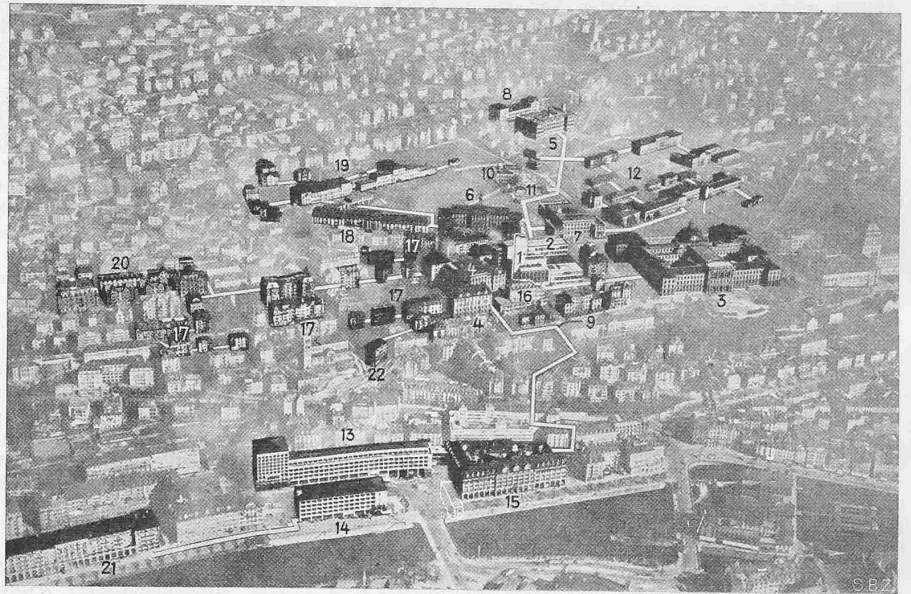


Abb. 1. Uebersicht der vom FHK der E. T. H. versorgten Gebäude (vgl. Bd. 106, S. 141)
 1 Fernheizkraftwerk, 15 Kaspar Escher Haus, an dessen linker Ecke das Wärmepump-Ergänzungswerk

Das Wärmepump-Ergänzungswerk des Fernheizkraftwerkes (FHK) der E. T. H.

I. Maschineller Teil

Nach einem Referat von Prof. Dr. B. BAUER, E. T. H. Zürich

Als Ergänzung zum FHK¹⁾ der E. T. H. steht eine Wärmepumpen-Anlage in Bauvollendung, die bei voller Belastung später jährlich 20000 Mio kcal leisten soll, wovon etwa 13000 Mio dem Limmatwasser, der Rest elektrischer Energie entstammen. Der Zweck der Anlage ist im Protokoll der Sitzung des Bundesrates vom 12. Mai 1942, das im Auszug folgt, klar umrissen.

«Die durch die Errichtung der Wärmepumpen-Ergänzungsanlage zu erreichenden Vorteile können kurz wie folgt zusammengefasst werden:

¹⁾ Ausführlich beschrieben SBZ Bd. 106, S. 141*, 28. Sept. 1935.

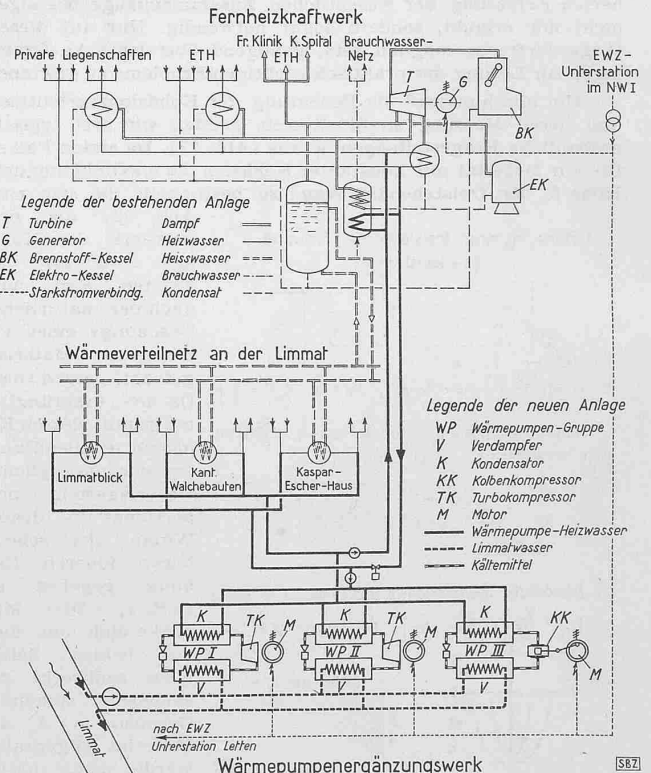


Abb. 1. Schema der Kupplung von FHK und Ergänzungswerk

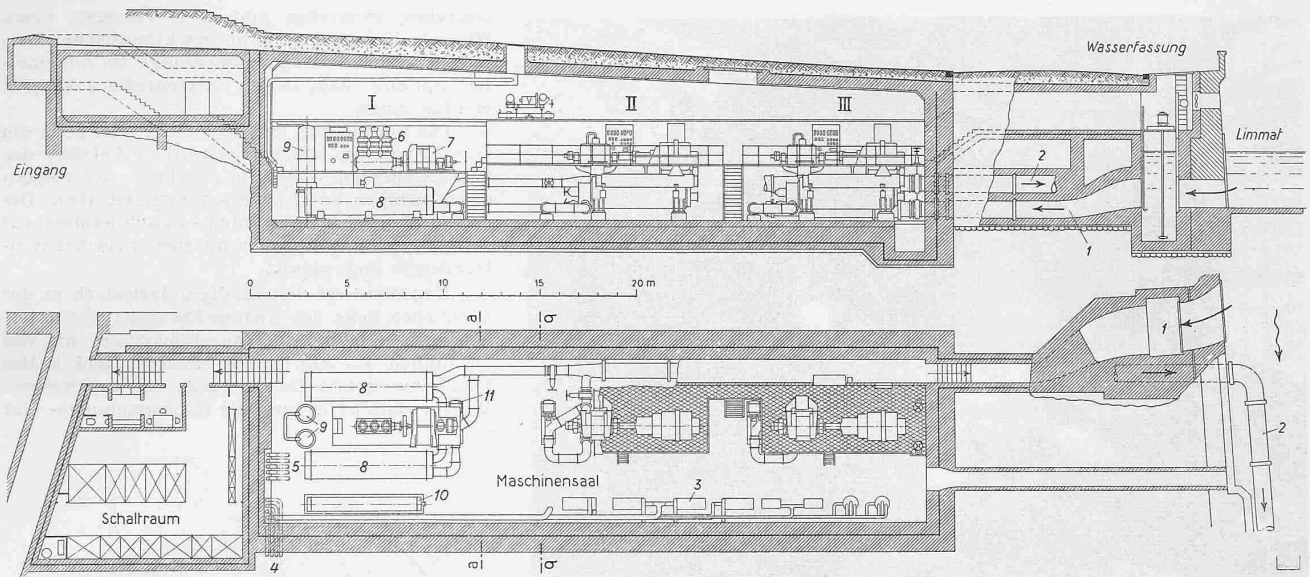
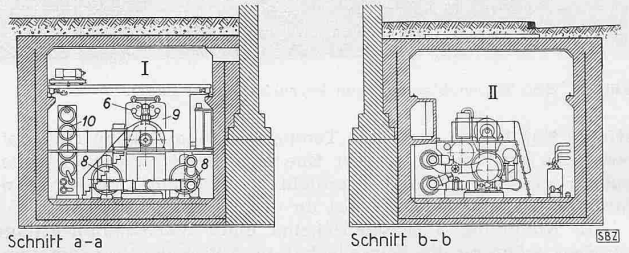


Abb. 5. Wärmepumpwerk des FHK im Walcheplatz. — 1:350
 I Wärmepumpensatz mit Kolbenverdichter Gebr. Sulzer, II, III Brown Boveri Thermoblocs. — 1 Wasserzulauf, 2 Wasserablauf, 3 Umwälzpumpen für Heizwasser, 4 Heizwasser Vorlauf, 5 Heizwasser Rücklauf, 6 Kolbenverdichter, 7 Antriebmotor, 8 Röhrenkessel-Verdampfer, 9 Gaskühler, 10 Röhrenkessel-Kondensator, 11 Limmatwasser-Pumpe



1. Vom Standpunkt der Betriebswirtschaft des FHK aus gesehen, stellt die Heranziehung von elektrischer Energie und Umweltwärme zur Bedarfsdeckung des Versorgungsnetzes eine erhebliche Lockerung unserer wirtschaftlichen Abhängigkeit vom landesfremden Brennstoff dar. Es lässt sich mit dem Ergänzungswerk eine Einsparung am Kohlenkonsum der Vorkriegszeit im Höchstbetrage von 45,4% erzielen.

2. In gemeinwirtschaftlicher Betrachtung sind im Hinblick auf die herrschende Entwicklungstendenz in den Produktionsländern der Kohle alle Massnahmen zur Einschränkung unseres Kohlenkonsums, als im Landesinteresse liegend, zu begrüssen. Nachdem sich bereits eine Reihe unserer industriellen Grossbetriebe aus gleichen Ueberlegungen zur Anpassung ihrer Wärmewirtschaft an die heutigen und kommenden Verhältnisse entschlossen hat, darf verantwortet werden, dass auch die Fernheizung der E. T. H. auf die vorgeschlagene Weise zur Brennstoffbedarfsbeschränkung beitrage.

3. Das Wärmepump-Ergänzungswerk der FHK soll nach dem vorgelegten Projekt eine nach den neuesten Anschauungen und guten Erfahrungen der schweizerischen Technik aufgebaute Einrichtung erhalten. Es wird daher eine wertvolle Ergänzung des Maschinenlaboratoriums und eine Bereicherung seines Lehrwertes darstellen. Darüber hinaus hat die E. T. H. auch im Landesinteresse die Pflicht, eine Musteranlage für ein erstes grosses Wärmepumpwerk — die wenigen schon bestehenden derartigen Werke sind alle kleiner als die FHK-Anlage — zu erstellen, da ohne jeden Zweifel solche Werke zur Ausnützung

der natürlichen Wärme der Seen und Flüsse unseres Landes in den nächsten Jahren in grösserer Anzahl gebaut werden. Die Errichtung von Wärmepump-Anlagen liegt im Interesse der Energieversorgung des Landes. Die E. T. H. sollte als einer der Pioniere dieses neuesten technischen Fortschrittes vorangehen.»

In obigen Ausführungen sind alle Gesichtspunkte beleuchtet, die für den Bau des Werkes massgebend waren. Die gewählte hohe Vorlauftemperatur von 70 bis 75° stellt besonders schwere Bedingungen für die Ausführung der Wärmepumpaggregate, wenn man bedenkt, dass diese die latente Wärme des Flusswassers bis zu 1,5° C hinunter nutzen sollen. Damit dürfte, wenn sich die gewählten Einrichtungen bewähren, der Beweis geleistet sein, dass solche Wärmepump-Anlagen auch zur Speisung von Warmwasser-Fernleitungsnetzen verwendet werden können und dass sie im Gebiete der industriellen Anwendung geeignet sind, Heizwassertemperaturen zu erzeugen, die für Trocknungszwecke und ähnliche Wärmeverbrauchprozesse hinreichend sind. Neben den wirtschaftlichen, durch den FHK-Betrieb gegebenen Erfordernissen waren es gerade diese Ueberlegungen, die die Wahl von Art und Grösse des Werkes beeinflussten, sowie natürlich auch Gesichtspunkte, die in den Rahmen der Lehraufgaben der E. T. H. fallen.

Die Leistung einer Wärmepumpanlage, d. h. das Verhältnis der abgegebenen Wärmemenge zu der, die aufzuwendenden elektrischen Energie äquivalenten Wärmemenge, wird in der Literatur meist als Leistungsziffer $\epsilon = \frac{Q_1}{Q_e}$ bezeichnet, wobei Q_1 die an den Vorlauf abgegebene Wärmemenge, Q_e die der aufgewendeten Energie entsprechende Wärmemenge bezeichnet. Für die hier vom FHK angestellten, noch unveröffentlichten Betrachtungen wird mit dem reziproken Wert dieses Ausdrucks operiert. Nach der Formel $\frac{Q_e}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$, wobei T_1 die absolute Temperatur des Vorlaufs (des erwärmten Heizungswassers) T_2 die Temperatur des Wärmeträgers der Umweltwärme (Flusswasser) bedeutet ($T = 273 + t$), ist für den Endeffekt, d. h. für das Verhältnis des Wärmeäquivalentes der aufgewendeten Energie Q_e zur gewonnenen Wärme bei gegebenem T_1 die Differenz zwischen T_1 und T_2 massgebend; mit andern Worten, je grösser die Differenz zwischen T_1 und T_2 ist, z. B. Flusswassertemperatur von 5° C (t_2) und Vorlauftemperatur von 70° (t_1), desto grösser wird der Quotient $\frac{Q_e}{Q_1}$ und umso kleiner der End-

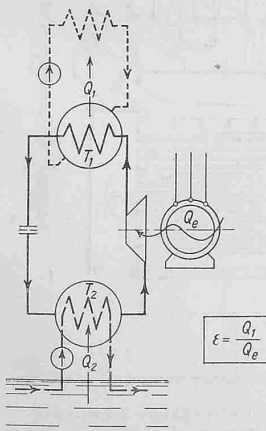


Abb. 2. Schema einer Wärmepumpanlage

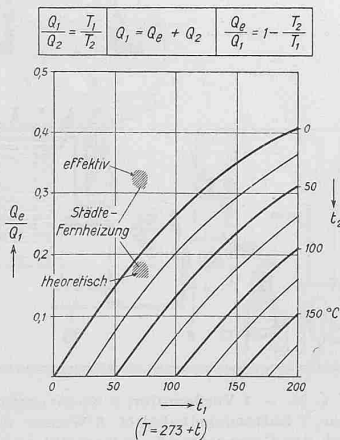


Abb. 3. Wärmepump-Effekt des idealen Kreisprozesses

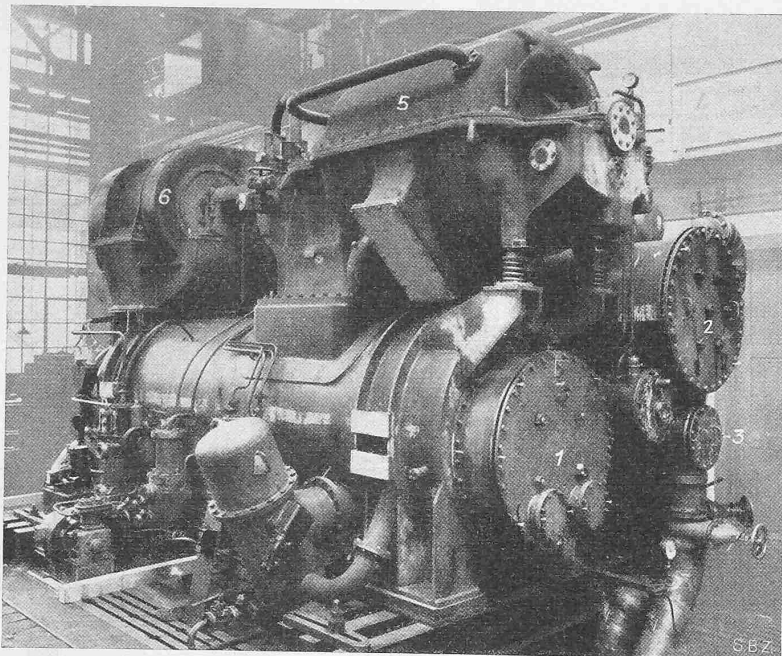


Abb. 8. BBC-Thermobloc auf dem Versuchstand in Baden

effekt. Für Heben niedriger Temperaturen auf hohe Heiztemperaturen sind daher grosser Energieaufwand und verhältnismässig grosse Drücke im Verdichter notwendig, die hohe Anforderungen konstruktiver Art an die Maschinen stellen.

In Abbildung 2 ist das Schema einer Wärmepump-Anlage gegeben, während die Kurvenschar in Abb. 3 den Wärmepump-Effekt für den Fall des idealen Kreisprozesses bei Verwendung eines idealen Arbeitsmittels (Carnot'scher Kreisprozess) bei verlustloser Maschine und Austauscher zeigt. Bei $t_2 = 5^\circ \text{C}$ und $t_1 = 70^\circ \text{C}$ liegt der theoretische Wert des Quotienten $\frac{Q_e}{Q_1}$ bei rd. 0,18, der effektive bei rd. 0,32. Der Gesamtwirkungsgrad kann in grober Annäherung als das Produkt von drei Einzelwirkungsgraden betrachtet werden, nämlich vom Stoffwirkungsgrad, der von der gewählten Verdampfer-Flüssigkeit abhängig ist, vom Wirkungsgrad der Wärmeaustauscher und von jenem des Verdichters mit Zubehör; er erreicht heute etwa 56%.

Das neue Wärmepumpwerk soll in der Weise mit dem FHK zusammen arbeiten, dass es die Wärmelieferung an die in der Nähe der Limmat liegenden öffentlichen Gebäude übernimmt (Abb. 4) und überschüssige Wärme durch die Fernleitung an das FHK abgibt. Für später ist die Wärmelieferung an Grossgebäude auch auf dem linken Limmatufer geplant. Das Werk soll vorläufig jährlich rund 13 000 Mio kcal liefern, von denen etwa $\frac{2}{3}$ der Limmat entnommen und $\frac{1}{3}$ durch elektrische Energie aufzubringen sind. Dies entspricht einer Kohleneinsparung von rd. 2500 t. Später soll bei Vollausbau der möglichen Anschlüsse die Leistung der Anlage rd. 20 Mia kcal jährlich betragen.

Es ist allerdings grundsätzlich damit zu rechnen, dass bei sehr niedrigen Temperaturen des Flusswassers wegen Einfriergefahr die Verdampfer stillgelegt oder in der Leistung eingeschränkt werden müssen. Dieser Fall wird wohl selten

eintreten, immerhin gibt diese Tatsache einen Hinweis darauf, dass in unsern klimatischen Verhältnissen eine Wärmepumpanlage im allgemeinen mit einer kalorischen Heizzentrale gekuppelt werden muss.

Die Verbindung mit dem FHK gibt noch die Möglichkeit des thermoelektrischen Antriebs der Wärmepumpen, wobei die Abwärme der Gegendruckturbinen im Heizwerk verwendet wird. Die neue Anlage ist daher nicht ausschliesslich auf den Bezug von wertvoller hydroelektrischer Winterenergie angewiesen.

Das Werk ist vollständig unterirdisch an der nördlichen Ecke des Kaspar Escherhauses untergebracht. Es umfasst 3 Maschinenaggregate von zusammen 1,5 Mio kcal/h mittlerer und 2 Mio kcal/h maximaler Heizleistung, die zugehörigen Wärmeaustauscher und die Hochspannungs- und

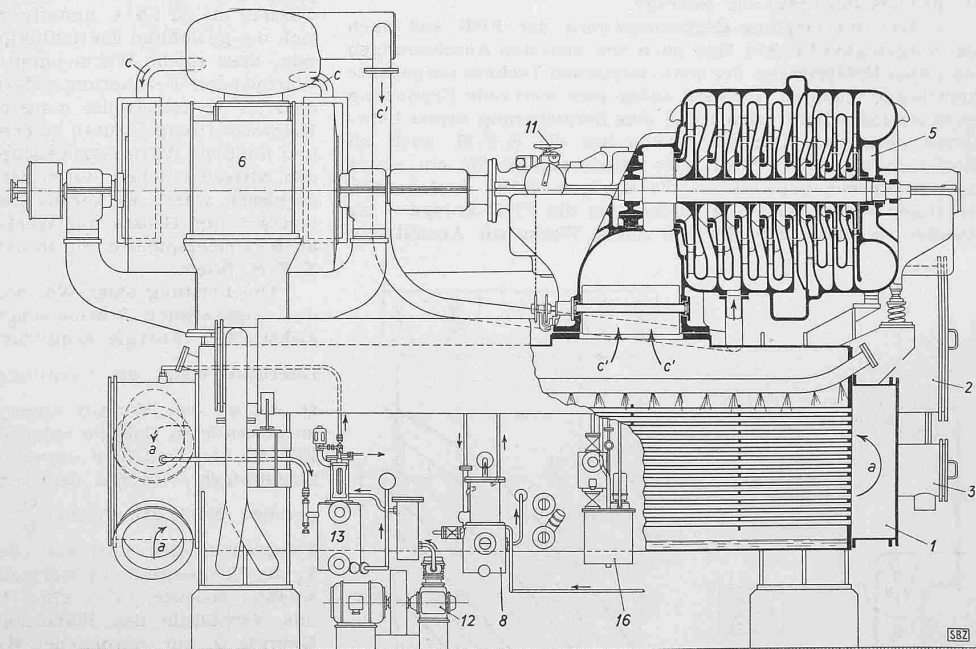
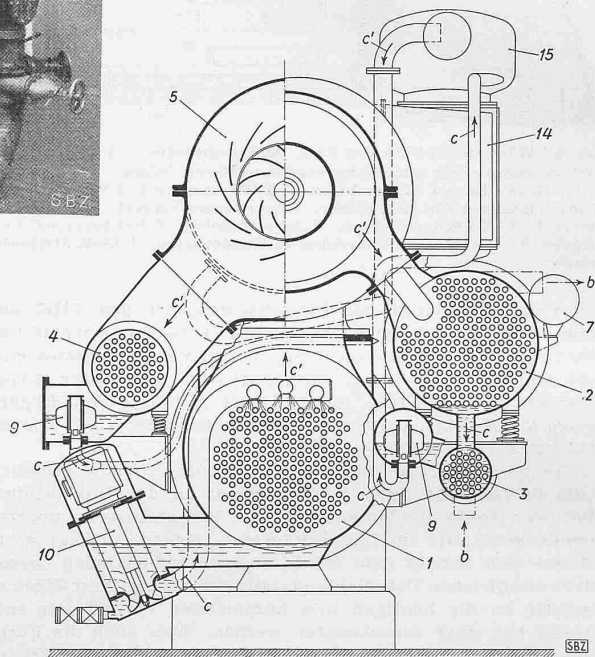


Abb. 6 u. 7. Thermobloc Brown Boveri, 1:50. — 1 Verdampfer, 2 Kondensator, 3 Unterkühler, 4 Zwischenkühler, 5 Turbokompressor, 6 Hauptmotor, 7 Luftsammelbehälter, 8 Wasser- u. Luftabscheider, 9 Schwimmerventil, 10 Berieselungspumpe, 11 Antrieb der Kompressor-Sauggrossklappe, 12 Entlüftungspumpe, 13 Behälter und Rückkühler zu 12, 14 Umlauf-Luftkühler zum Hauptmotor, 15 Spartopf, 16 Ölbehälter mit Ölpumpe zur Stopfbüchse. — a Kaltwasser, b Heizwasser, c Arbeitsmittel (flüssig), c' Arbeitsmittel (gasförmig)

Schaltanlagen (Abb. 5). Das Kaltwasser, rd. $1 \text{ m}^3/\text{sec}$, wird der Limmat etwas über der Flusssohle entnommen und gelangt durch einen Feinrechen und eine Schlammkammer in die Verteilung, aus der es durch Umwälzpumpen den entsprechenden Wärmeaustauschern zugeführt wird. Das um 1° abgekühlte Wasser wird später in die Flussmitte der Limmat zurückgeleitet; dadurch soll verhindert werden, dass ein weiter unten liegender Benutzer bereits abgekühltes Wasser erhält.

Von den drei Wärmepumpen-Aggregaten werden zwei als Turbokompressoren (Abb. 6 bis 8) von Brown Boveri und eines als dreizylindriger, dreistufiger Kolbenverdichter von Gebr. Sulzer geliefert (Abb. 9 u. 10). Obgleich für den Betrieb einheitliche Kompressoren Vorteile geboten hätten, entschloss man sich hauptsächlich im Hinblick auf die Aufgaben des FHK als Institut der E. T. H. zu zwei verschiedenen Maschinentypen.

Die Turbokompressor-Aggregate werden die Grundlast übernehmen. Die Verdichter arbeiten von 0,3 auf 4,5 ata, als Kältemittel ist Freon (CFC_3) gewählt. Der verlustlos, stufenweise in der Leistung regulierbare Kolbenkompressor soll vornehmlich zur Zeit der Lastspitze eingesetzt werden. Er arbeitet mit Ammoniak, im Druckbereich von 5 bis 46 atü. Die elektrische Leistung der Turbokompressoren ist zu je 1000 kW, die der Kolbenmaschine zu 850 kW gewählt worden.

Die Bauarbeiten für das unterirdische Maschinenhaus, das auf Kote 399 zu liegen kommt, während der Limmatspiegel heute auf Kote 404 und später nach der Seeabflussregulierung auf Kote 406 liegt, boten gewisse Schwierigkeiten, da vor der Ausführung des drucksicheren und wasserdichten Kastens es notwendig war, die Fundamentmauern der nördlichen Fassade des Kaspar Escher-Hauses zu unterfangen. Der Baugrund, das alte Fabrikareal von Escher Wyss, bestand zum Teil aus Auffüllung, durchsetzt mit zahlreichen alten Fabrikfundamenten, zum Teil, im Gebiet des alten Haldenbaches, aus Gesteine. Die angefahrne Grundmoräne war sehr dicht und standfest. Da der Wasserzudrang unbedeutend und lokal war, konnte die Baugrube ohne Spund-Wände, nur mit einfachen «marciavanti» und kräftiger Holzversperrung ausgeführt werden. Bevor aber diese Arbeit in Angriff genommen werden konnte, mussten die Fundamente des Kaspar Escher-Hauses bis auf die Tiefe der Fundamente des neuen Werkes unterfangen werden. Dies geschah dadurch, dass in einzelnen Pfeilern neue Fundamente für das Kaspar Escher-Haus erstellt wurden, auf die dann durch hydraulische Winden die alten Fundamente abgestützt und die Zwischenräume mit Beton ausgestampft werden konnten. Nach der Entlastung sind keinerlei Senkungen am bestehenden Gebäude eingetreten. Die Bauarbeiten sind der Arbeitsgemeinschaft Ed. Züblin & Cie. A.-G. und C. Zschokke A.-G., die

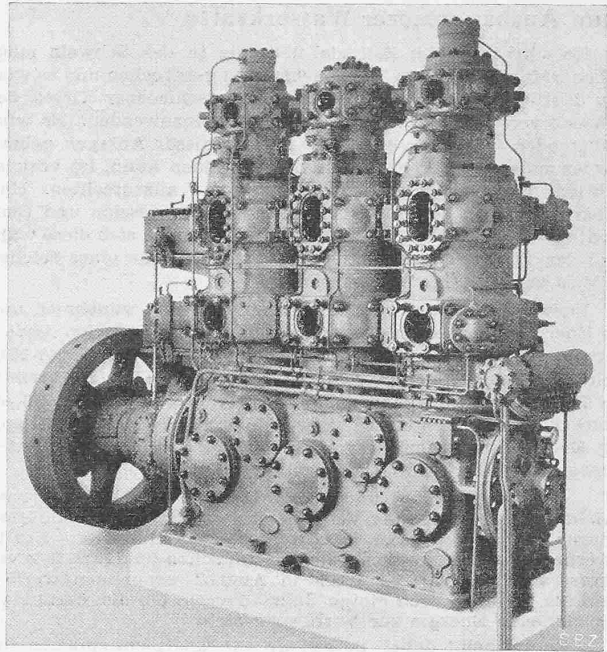


Abb. 9. Sulzer-Kolbenverdichter, 46 atü, 500 U/min

Ingenieur-Arbeiten dem Ingenieurbureau C. Schindler (Zürich) übertragen worden. Experte für den baulichen Teil war Prof. Dr. E. Meyer-Peter, E. T. H. Eine eingehende Darstellung folgt.

Da immer eine gewisse Gefahr besteht, dass geringe Mengen Gase der Kälteflüssigkeit aus den Hochdruckleitungen entweichen könnten, ist zum Schutze der Bedienungsmannschaft ein Notausgang auf der Höhe der Kommando-Bühne direkt ins Freie vorgesehen, der zugleich die Frischluft dem Maschinenaal zuführt.

Durch das neu entstehende Wärmepumpwerk des FHK der E. T. H. wird es möglich sein, eine Reihe einschlägiger Fragen weiter abzuklären. Es ist daher zu begrüßen, dass der Bundesrat die Mittel für diese Anlage im heutigen Zeitpunkt bewilligt hat. Der Bau des Werkes ist soweit gefördert, dass mit der Inbetriebsetzung der ersten Turbogruppe (III) Mitte November 1943 begonnen werden konnte; die übrigen gelangen im Februar d. J. in Probebetrieb.

F. Escher

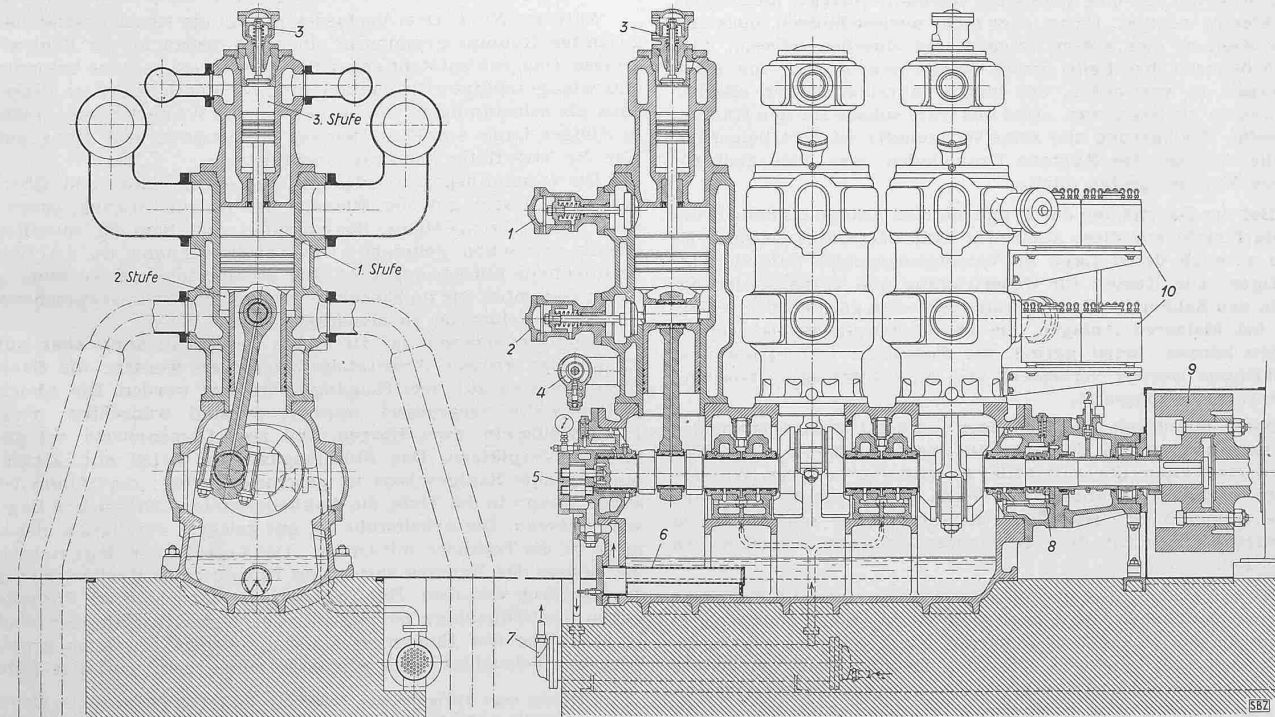


Abb. 10. Dreistufiger Kolbenverdichter Sulzer, 1:30. — 1 Oelgesteuerte Saugventile der 1. Stufe, 2 Oelgesteuerte Saugventile der 2. Stufe, 3 Oelgesteuerte Saugventile der 3. Stufe, 4 Steuerapparat, 5 Zahnradölpumpe für Lagerschmierung, 6 Oelfilter, 7 Oelkühler, 8 Metallische Stopfbüchse, 9 Motorkupplung, 10 Zylinder-Schmierpumpen