Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 113/114 (1939)
Heft: 1

Artikel: Physikalische Grundlagen und Anwendungen der Wärmepumpe
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-50532

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: 26.07.2025

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

Räumen, die künftig dem Kirchenrat dienen sollen. Im Sitzungszimmer wurden an Stelle des unpassenden Täfers die Wände verputzt. Die Fensternischen hat man mit den ursprünglichen Profilstäben versehen.

Vom Korridor vor den Kirchenratsräumen führt eine Eichentreppe in das Dachgeschoss. Dieses enthält eine vollständig neu ausgebaute Hauswartwohnung, Archivräume und flussaufwärts einen grossen Dachraum, wo die Ventilationsmaschinen untergebracht sind. Unter dem Dachfirst wurde, traditionsgemäss, ein Taubenschlag eingerichtet.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass nahezu der gesamte Innenausbau unter Wiederverwendung der vorhandenen historischen und wertvollen Bauelemente neu ausgeführt werden musste. Auch Konstruktionsteile wie Mauer- und Zimmerwerk waren in weitgehendem Ausmass zu ersetzen. Die Tribünen-Rückwand, die sich über die ganze Länge der Halle im ersten Stock hinzieht, war durch das Herausschneiden von Türöffnungen in ihrer Tragfähigkeit stark geschwächt und musste an einem im Dachstock neu eingebrachten Eisenbinder aufgehängt werden (Abb. 1). Um Wärmeverluste zu vermeiden, mussten alle Fensteröffnungen mit neuer Doppel- und Superhermit-Verglasung versehen werden. An technischen Anlagen wurden die elektrischen und sanitären Installationen, sowie eine Warmwasser-Radiatorenheizung und eine Klimaanlage neu eingebaut. An diese sind der Kantonsratsaal, dessen Vorhalle, der frühere Regierungsratsaal und der «Rechensaal» im Erdgeschoss angeschlossen.

Für die Wärmelieferung ist erstmals eine *Wärmepumpe* verwendet worden, worüber im folgenden Aufsatz berichtet wird.

In den Umbau und die Renovationsarbeiten ist auch die Reinigung und Restaurierung der hauptsächlich von Tauben stark beschmutzten und teilweise defekten *Sandsteinfassaden* (Abb. 10) miteinbezogen worden. Mit einem Dampfstrahlgebläse wurden die Schmutzkrusten aufgeweicht, abgebürstet und sodann abgewaschen. Dieses Verfahren bietet den Vorteil, dass die Profile nicht geschwächt werden und die Oberflächenstruktur keine nachteilige Veränderung erfährt. Schadhafte Werkstücke und defekte Ornamentik wurden durch Stein- und Bildhauer zum Teil nachgearbeitet und teilweise auch durch neue Steine ersetzt. Ausserdem wurde das Ziegeldach umgedeckt und die Spenglerarbeit erneuert.

Die örtliche Bauleitung lag in den Händen von Architekt H. Reimann vom kant. Hochbauamt, der schon unter Kantons-Baumeister H. Wiesmann † das grundlegende Projekt geschaffen und die Vorarbeiten für den Umbau besorgt hatte. Die Gesamtkosten der Arbeiten, die von Juni 1937 bis Juli 1938 dauerten, stellen sich auf 678 000 Fr. O. D.

Für weitere Aufschlüsse über die Baugeschichte des Rathauses und die jüngste Renovation sei verwiesen auf die Denkschrift, die als Heft 3 der Reihe II von «Bauwesen und Denkmalpflege des Kantons Zürich» erschienen und zum Preise von Fr. 1,50 bei der kantonalen Baudirektion erhältlich ist. Besonders zu empfehlen ist selbstverständlich eine Besichtigung, zu der das Rathaus jedermann offensteht von Dienstag bis Samstag täglich 10 bis 11.30 h, am Samstag auch von 14 bis 16 h.

Physikalische Grundlagen und Anwendungen der Wärmepumpe

Die Verwendung der Wärmepumpe, namentlich als Kältemaschine, ist verbreiteter als ihr Verständnis. Darum war es gut, dass an einem von der Physikalischen Gesellschaft Zürich veranstalteten, diesem Gegenstand gewidmeten Vortrags- und Diskussionsabend den von Ing. *R. Peter* im Lichtbild vorgeführten typischen Beispielen von ausgeführten Anlagen Prof. Dr. *G. Eichelberg* eine Darlegung der physikalischen Grundlagen vorausschickte[1]). In seiner Formulierung und Deutung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik[2]) führte Eichelbergs Vortrag tiefer als die folgenden elementaren, sehr freien Variationen über sein Hauptthema.

1. Grundsätzliches

Dem Propellerumlauf eines Dampfers widerstrebt das gequirlte Wasser mit einem Schub und einem Drehmoment; die Arbeit des entgegengesetzten Moments ist es, die der auf dem Schiff mitfahrende Ingenieur als Arbeitsabgabe seiner Maschinenanlage misst. Ausserdem gibt diese an das Kühlwasser, in den Lagern, durch Abstrahlung usw. Wärme ab. Ihr Geschwindigkeits-, Druck- und Temperaturzustand bleibt trotzdem dank der fortwährenden Zufuhr von neuem Brennstoff stationär. Indem der Ingenieur sowohl dem verbrauchten Brennstoff, wie auch der verlorenen Wärme, den umlaufenden Massen, dem Kesselwasser und dem durch die Turbinenschaufeln strömenden Dampf ein bestimmtes Arbeitsvermögen, genannt Energie, zuschreibt, stellt er fest, dass bei stationärem Lauf, also konstanter Energie der Maschinenanlage, die ihr zugeführte gleich der ihr entnommenen Energie (Arbeit oder Wärme) ist — im Einklang mit dem *ersten Hauptsatz* (dem Energiesatz) der Thermodynamik.

Wie wäre es, die zum Betrieb der Turbine nötige Wärme statt aus Kohle oder Oel, aus dem ungeheuren Wärmereservoir des Ozeans zu ziehen? Maschinen, die Wärme aus einer Sole ziehen, gibt es ja: die Kältemaschinen! In einer solchen, etwa einer Kolbenmaschine, wird ein Gas oder Dampf, der Wärmeträger, einem gewissen Kreisprozess unterworfen, in dessen Verlauf er expandierend die Wärmemenge Q_k aus einem kälteren Wärmespeicher aufnimmt und sodann, durch den zurückgehenden Kolben zusammengedrückt, die Wärmemenge Q_w an einen wärmeren Speicher abgibt. Da nach vollendetem Kreisprozess mit dem alten Zustand die alte Energie des Wärmeträgers wiederhergestellt ist, fordert der erste Hauptsatz die Gleichheit der vom Kolben auf den Wärmeträger ausgeübten Arbeit A und des abgegebenen Wärmesaldos: $A = Q_w - Q_k$[3]).

Zum Antrieb einer solchen Wärmepumpe kann man z. B. eine Dampfmaschine nehmen. Deren Wärmeträger durchläuft gleichfalls einen Kreisprozess, entnimmt dem wärmeren Reservoir Wärme, Q_w', und führt dem kälteren Reservoir Wärme, Q_k', zu. Nach dem ersten Hauptsatz ist die pro Arbeitsspiel vom Dampf auf den Kolben ausgeübte Arbeit $A' = Q_w' - Q_k'$.

Ist der Kreisprozess des Wärmeträgers *reversibel*, d. h. ebensogut im umgekehrten Sinne durchführbar, wobei in jeder Phase Geschwindigkeiten, Arbeiten und Wärmeübergänge unveränderten Betrag, aber entgegengesetztes Vorzeichen haben, so lässt sich die Maschine sowohl als Antrieb wie auch als Wärmepumpe verwenden. Bei Vermeidung von Reibung, Temperatursprüngen, Wirbelbildung usw. lässt sich ein reversibler Kreisprozess in gewisser Annäherung verwirklichen.

Bauen wir also in unserm Schiff einen Wärmespeicher der absoluten Temperatur T_w, sowie zwei reversible thermische Maschinen auf, die wir für die gleiche Arbeit pro Kolbenspiel bemessen. Die eine, als Wärmepumpe betrieben, entziehe dem Meer von der Temperatur T_k die Wärmemenge Q_k und führe dem Speicher die Wärmemenge Q_w zu. Die zweite, zum Antrieb der ersten dienend, entnehme dem Speicher die Wärmemenge Q_w' und stosse die Wärmemenge Q_k' ins Meer ab. Verlustlose Uebertragung der Arbeit angenommen, ist

$$A' = Q_w' - Q_k' = A = Q_w - Q_k \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Als Wärmeträger können wir in den beiden Maschinen ganz verschiedene Stoffe verwenden; auch brauchen wir als reversiblen Kreisprozess in der einen nicht einfach den umgekehrten Kreisprozess der andern zu wählen: Passt uns der Carnot-Prozess nicht, so nehmen wir den Stirling-Prozess (mit Regeneration). Sorgen wir vor allem für einen möglichst grossen Unterschied der Wirkungsgrade! Denn umso grösser wird die Wärmemenge $Q_w - Q_w'$, über die wir (bei Speichertemperatur T_w!) pro Kolbenspiel verfügen. Sei nämlich $\eta' = A/Q_w'$ der Wirkungsgrad des Motors, $\eta = A/Q_w$ das Verhältnis der aufgewendeten Arbeit zu der von der Wärmepumpe in den Speicher geförderten Wärmemenge. Dann ist

$$Q_w - Q_w' = Q_k - Q_k' = A\left(\frac{1}{\eta} - \frac{1}{\eta'}\right)$$

Mit dieser Wärmemenge erzeugen wir, ohne den Gang unserer Gruppe zu beeinträchtigen, Dampf von der Temperatur T_w und treiben damit die Turbine der Schiffschraube! Sollte $Q_w - Q_w'$ negativ ausfallen, so lassen wir die Gruppe im umgekehrten Sinne laufen: die Wärmepumpe als Antrieb, den Motor als Wärmepumpe. Nichts hindert uns, den Betrag $|Q_k - Q_k'|$ der dem Meer pro Arbeitsspiel entzogenen Wärme durch eine entsprechende Vergrösserung unserer Anlage zu vertausendfachen.

So wäre denn die von der Sonne immer neu gespeiste Energie des Weltmeers in unserer Gewalt? Der erste Hauptsatz verbietet es nicht. Unsere Maschinengruppe ist ja kein Perpetuum mobile, das die Energie für den Propellerantrieb aus dem Nichts hervorzaubert; sie holt sie vielmehr aus dem Ozean. Sie *schafft* nicht Energie, sondern macht die vorhandene Energie *gebrauchsfähig*, indem sie ermöglicht, Wärme statt bei Meerestemperatur bei Kesseltemperatur zu beziehen und damit das Gefälle zwischen den beiden Temperaturen auszunützen. Nach jedem Arbeitsspiel ist die Gruppe in ihren ursprünglichen Zustand zurückgekehrt; sie hat Arbeit weder aufgenommen, noch abgegeben; nichts ist

[1]) Eichelbergs Vortrag ist abgedruckt im «Schweizer Archiv» 1938, Nr. 11.

[2]) Der zweite Hauptsatz bestätigt, dass der Lauf der Welt sich nicht umkehren lässt, und hängt wohl damit zusammen, dass die «Zeit» nur «zunehmen» kann.

[3]) Natürlich sind Arbeiten und Wärmemengen in den selben Einheiten zu messen, beide etwa in kWh, oder beide in Cal.

geschehen ausser dem Uebertritt der Wärmemenge $Q_k - Q_k'$ aus dem Meer in den Dampfkessel. Eine Apparatur, die, ohne Arbeit zu verrichten, Wärme von einem tieferen auf ein höheres Temperaturniveau zu pumpen vermag, ist immerhin erstaunlich genug, um, wenn auch nicht den Namen eines eigentlichen, so doch eines sog. «Perpetuum mobile zweiter Art» zu verdienen.

$Q_w - Q_w'$ ist positiv oder negativ, je nachdem $\eta' >$ oder $< \eta$. Nur im Grenzfall $\eta' = \eta$ . . . . . (2) wird die verfügbare Wärmemenge $= 0$.

Die Tatsache, dass für irgend zwei, zwischen den selben beiden Temperaturen T_k und T_w reversibel arbeitende therm. Maschinen gerade der Grenzfall (2) eintritt, bei festliegenden Temperaturen T_k, T_w an dem Verhältnis $\eta = A/Q_w$ einer solchen Maschine also durch keinerlei Massnahmen zu rütteln ist, verallgemeinert der *zweite Hauptsatz* zu der Feststellung, dass auch ein Perpetuum mobile zweiter Art nicht möglich ist: Der Uebergang von Wärme aus einem Reservoir höherer in ein solches tieferer Temperatur kann ohne Veränderungen der Welt ausserhalb der Reservoirs geschehen, nicht aber der umgekehrte Uebertritt. Das hat *Sadi Carnot* schon 1824 bemerkt.

Indem er unser Projekt vereitelt, bezeichnet der zweite Hauptsatz zusammen mit dem ersten die Schranken, über die hinaus sich keine thermische Maschine verbessern lässt: Arbeitet zwar die Wärmepumpe reversibel, nicht aber ihre Antriebsmaschine, so kann deren Wirkungsgrad η' unmöglich $> \eta$ sein. Arbeitet der Motor reversibel, nicht aber die Wärmepumpe, so kann das Verhältnis η' der von der Wärmepumpe verbrauchten Arbeit zu der durch sie in den Speicher gepumpten Wärmemenge unmöglich $< \eta$ sein. In der Tat ist in jedem wirklichen, d. h. irreversibel zwischen den Temperaturen T_k und T_w arbeitenden thermischen Motor $A/Q_w < \eta$, in jeder wirklichen Wärmepumpe $A/Q_w > \eta$. Der für ideale thermische Maschinen gültige Grenzwert η lässt sich nach dem Gesagten aus jedem beliebigen reversibeln Kreisprozess berechnen, z. B. aus dem mit einem «idealen» Gas ausgeführten klassischen Carnot-Prozess, wie dies in jedem Lehrbuch der Thermodynamik geschieht. Ergebnis:

$$\eta = A/Q_w = 1 - \tau, \qquad \tau = T_k/T_w \quad . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Je näher τ dem Grenzwert 1 kommt, desto geringer wird in der Wärmepumpe der kleinstmögliche relative Arbeitsaufwand. Zwei Beispiele: 1. Fördert die Wärmepumpe aus einem Fluss von 3° C, d. h. $T_k = 276°$ K, Wärme in das auf 60° C, d. h. $T_w = 333°$ K gehaltene Expansionsgefäss einer Zentralheizung, so wird sie pro zugeführte Cal nicht wie die elektrische Widerstandsheizung 1,162 Wh verbrauchen, sondern nur einen Bruchteil hiervon, immerhin, bei aller Vollkommenheit, doch mehr als $1 - \tau = 0{,}172$ mal soviel, d. h. mehr als 0,279 Wh. 2. Beheizt man zum Destillieren einer Flüssigkeit bei Atmosphärendruck und 100° C diese mit einem elektrischen Widerstand, so erhält man für die kWh verbrauchter Energie 1,5 kg Destillat. Weit rationeller ist es natürlich, die Verflüssigungswärme des Destillats zur Beheizung heranzuziehen: Man heize die zu verdampfende Flüssigkeit, statt elektrisch, mit Nassdampf, z. B. von 105° C und 1,2 ata. Den heizenden Dampfmantel speise man aus dem Verdampfungsgefäss selber, indem man das verdampfte Wasser durch einen elektrisch angetriebenen Kompressor von 100° C und 1 ata auf 105° C und 1,2 ata zusammendrückt. Als Verhältnis der von einer bestimmten Dampfmenge im Kompressor aufgenommenen Arbeit A zu der Verflüssigungswärme Q_w, die diese Dampfmenge, sich niederschlagend, dem Heizdampf-Mantel übergibt, ist $1 - \tau = 5/378$ anzustreben. Dann würde die auf die Antriebswelle des Kompressors übertragene kWh in das Verdampfungsgefäss $860 \cdot 378/5$ Cal fördern, und wäre imstande, $1{,}5 \cdot 378/5 = 222$ kg Flüssigkeit zu verdampfen!

2. Anwendungen [4])

Von Ing. R. Peter, Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G., Zürich

In Abb. 1 ist die Anwendung der Wärmepumpe *für Kälteerzeugung* schematisch dargestellt. Der Kühlraum 1 wird durch Abgabe von Wärme an den Verdampfer 2 auf Temperaturen gebracht, die unter jenen der Umgebung liegen. Im Verdampfer bringt die aufgenommene Wärme das Kältemittel bei niedrigem Druck zur Verdampfung. Die Dämpfe werden nun von dem Kompressor 3 — der Wärmepumpe — angesaugt und auf höheren Druck verdichtet, unter Steigerung der Temperatur. Hierauf gelangen sie in den Kondensator 4, über dem aus der Leitung 5 Kühlwasser rieselt. An dieses stösst das Kältemittel, indem es sich wieder verflüssigt, die aufgenommene Wärme ab. Das erwärmte, beheizte Kühlwasser fliesst bei 6 weg. Durch die Verbindung 7 mit eingebautem Drosselventil gelangt das verflüssigte Kältemittel in den Verdampfer 2 zurück.

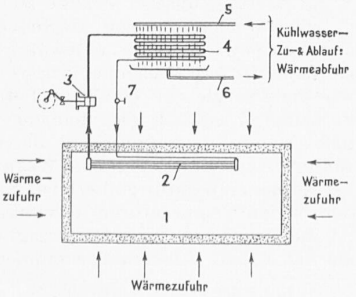


Abb. 1. Wärmepumpe als Kältemaschine

Die Ausnützung der Wärmepumpe für *Trockenzwecke* zeigt Abb. 2. Das im Raum 1 befindliche Gut wird durch einen unten trocken ein-, oben feucht austretenden Luftstrom getrocknet. Ein Ventilator 4 hält diesen Luftstrom durch den Raum 1 und die Kälte-Heizanlage — Wärmepumpe — in Umwälzung. Der Verdampfer dieser Anlage besorgt die Kühlung des Luftstromes und damit die Trocknung durch Niederschlag der Feuchtigkeit, während der Kondensator die Wiedererwärmung der Luft übernimmt. Die auf der einen Seite weggenommene Wärme wird auf der andern wieder zugefügt. Die Verwendung eines Wärmeaustauschers 2 zwischen der gekühlten, trockenen und der wärmeren, feuchten Luft erlaubt die Wärmepumpe bedeutend kleiner und auch im Energiebedarf sparsamer zu bauen.

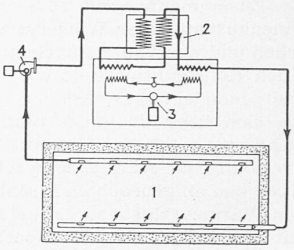
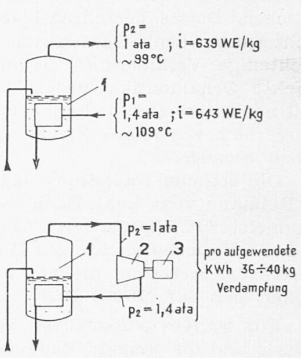


Abb. 2. Schema einer Trocknungsanlage

Das Schema Abb. 3 zeigt die Anwendung der Wärmepumpe für die *Eindampfung von Lösungen*. Im Eindampfungsapparat 1 wird Lösung durch Wegdampfen des Lösemittels eingedickt. Der in die Heizkammer eingeführte Dampf bringt die Lösung zum Kochen. Die Abdämpfe, «Brüden», verlassen den Apparat mit kleinerem Druck als der Heizdampf, da für die Heizung ein Temperatur- bzw. Druckgefälle erforderlich ist. Die Wärme, die in die Heizkammer eingeführt wird, verlässt die Apparatur oben in den Brüden. Praktisch werden mit 1 kg Heizdampf 1 kg Brüden erzeugt. Wie aus dem Schema ersichtlich, besitzt 1 kg Heizdampf nahezu den gleichen Wärmeinhalt wie 1 kg Brüden. Die beiden Dämpfe unterscheiden sich wesentlich nur im Druck. Werden nun gemäss dem Schema die Brüden mit einem Kompressor 2, angetrieben durch eine Kraftmaschine 3, auf den Druck des Heizdampfes komprimiert, so ergibt sich eine vollständige Abdampfverwertung, mit der, von Verlusten abgesehen, der Eindampfungsprozess ohne Zuführung von Fremddampf aufrecht erhalten werden kann. Für den Betrieb des Kompressors 2 — der Wärmepumpe — ist in der Kraftmaschine 3 eine gewisse Arbeit aufzuwenden. Mit einer kWh können nun bei den angegebenen Betriebsverhältnissen des Eindampfungsapparates je nach Leistung der Anlage 36 bis 40 kg Wasser verdampft werden. Gemäss der beigefügten kleinen Tabelle beträgt die Verdampfung pro kWh je nach Art der Lösung 12 bis über 35 kg, und zwar bei industriellen Anlagen. Die entsprechenden Verdampfungswärmen sind 7- bis über 22-fach grösser als das Wärmeäquivalent der im Elektromotor 3 verbrauchten Energie.



Einzudpf. Lösung:	leicht	mittel	schwer
kg Verdpfg./KWh	> 35	> 20	> 12
WE Dpf./WE Energie	> 22	> 12	> 7

Abb. 3. Schema einer Eindampfungsanlage

Die Heizung mittels Wärmepumpe ist aus Abb. 4a und b ersichtlich, und zwar in der Anwendung im Zürcher Rathaus. Das Schema gibt die wesentliche Schal-

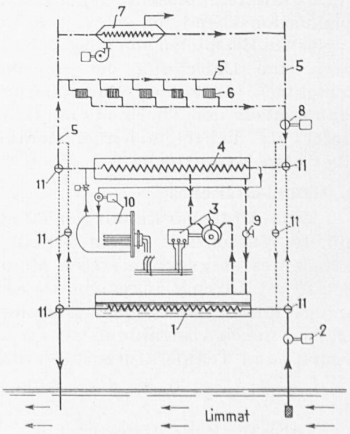


Abb. 4a. Schema der Heiz- und Kühlungsanlage des Zürcher Rathauses

[4]) Vgl. die ausführlichen Darlegungen Peters im «Schweizer. Archiv» 1938, Nr. 12.

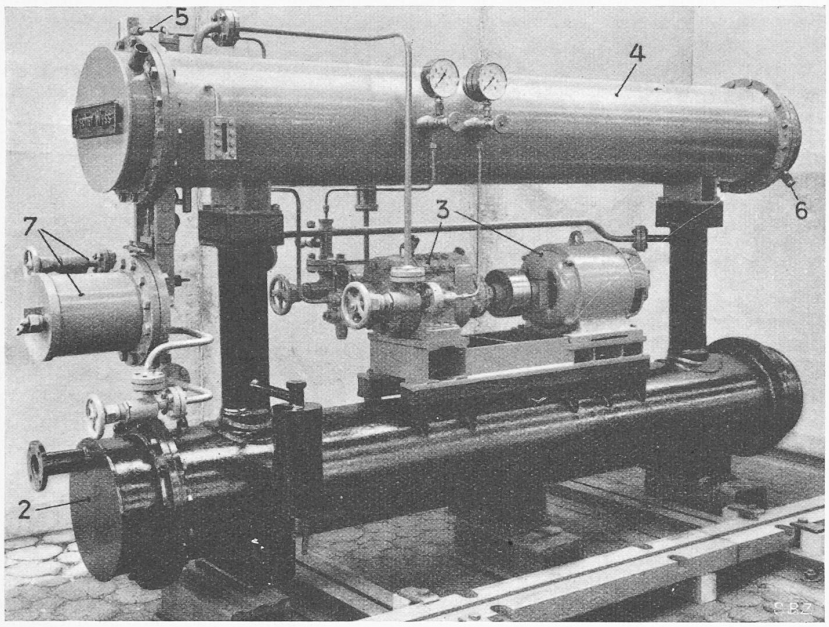


Abb. 4b. Escher Wyss-Wärmepumpenanlage gemäss Schema Abb. 4a; Legende im Text

tung ohne sekundäre Details. Mit der Pumpe 2 wird Limmatwasser durch den Verdampfer 1 gepumpt; dem Wasser wird Wärme entzogen und der flüssige Wärmeträger Freon verdampft. Die Wärmepumpe 3, ein moderner Rotationskompressor, fördert die Freondämpfe und damit die Wärme in den Kondensator 4, wo die Dämpfe unter Abgabe der aus dem Limmatwasser aufgenommenen Wärme bei höherem Druck und höherer Temperatur kondensieren und zwar unter der Kühlwirkung des Heizungswasserumlaufes 5.

Das Heizungswasser verlässt aufgewärmt den Verdampfer 4, gibt seine Wärme an die Radiatoren 6 und die Luftheizung 7 ab und kehrt abgekühlt in das Rohrsystem des Verdampfers 4 zurück. Die Umwälzung wird durch eine Pumpe 8 aufrecht erhalten. Für die Ueberwindung von Belastungsspitzen bei sehr grossem Wärmebedarf (Sitzungen) ist ein Boiler 10 mit direkter elektrischer Heizung vorhanden. Durch die punktierten Verbindungen und die Hahnen 11 kann der Heizungsbetrieb des Winters auf den Kühlbetrieb im Sommer umgestellt werden.

3. Eine neue Luftwärmepumpe

Von Prof. Dr. B. Bauer, E. T. H.

Das Fernheizkraftwerk der E. T. H. hat mit den Firmen A.-G. Brown, Boveri & Cie. und Gebr. Sulzer A.-G. eine Arbeitsgemeinschaft zur Anwendung der Wärmepumpe für die Raumheizung und für industriellen Wärmebedarf gebildet, zwecks rationeller Verwendung der hydroelektrischen Energie für diese Anwendungsgebiete. Wir verfolgen seit 1936 alle technischen Möglichkeiten der Nutzbarmachung brachliegender Wärmemengen der Umwelt mit Hilfe elektrischer Energie. Im besondern beschäftigen wir uns auch mit den Wärmepumpensystemen unter Verwendung der Aussenluft als Wärmequelle und Wärmeträger. Diese Lösung braucht keine Kälteflüssigkeit und ist nicht an die Nähe der Flussläufe, Seen oder des Grundwassers gebunden. Die bekannten Konstruktionen der Luftwärmepumpen leiden an geringem Gesamtwirkungsgrad der benötigten Luftkompressoren und Luftturbinen. Die von uns verfolgte neue Konstruktion, die im Fernheizkraftwerk der E. T. H. zur Zeit ausprobiert wird, vermeidet die zweifache Energieumsetzung, d. h. die Umwandlung mechanischer Energie in Kompressionsarbeit mit darauffolgender Umwandlung der Expansionsenergie wiederum in mechanische Arbeit. Es erfolgt mit dieser neuen Maschine nach besonderem Verfahren eine direkte Druckübertragung zwischen dem Entspannungsvorgang und dem Kompressionsvorgang, wodurch ein relativ hoher Wirkungsgrad erzielt werden kann. Die auf dem Versuchstand des FHK stehende Wärmepumpe ist für eine Leistung von nur 25 000 Cal/h gebaut worden, weil die Erzielung eines guten Wirkungsgrades gerade für so kleine Leistungen schwierig ist. Zur Orientierung über die bis heute erreichten Resultate gebe ich in der Legende zu Abb. 5 die Messwerte für einen unterhalb der Vollast liegenden Betriebspunkt bekannt. Die Abbildung zeigt schematisch den Weg und die Umwandlung des Arbeitsmittels. Die Leistungsziffer der Maschine betrug bei dem oben genannten Lastpunkt 2,3, d. h. es ist mit 1 kWh aufgewendeter elektrischer Arbeit eine nutzbare Wärmemenge von 2,3 mal dem Wärmeäquivalent einer kWh dem zu beheizenden Raum zugeführt worden. Wie die Zahlen zeigen, gibt die Maschine zugleich Warmluft und Kaltluft ab. Es folgt hieraus die leichte Umkehrbarkeit der Anlage für Kühlzwecke.

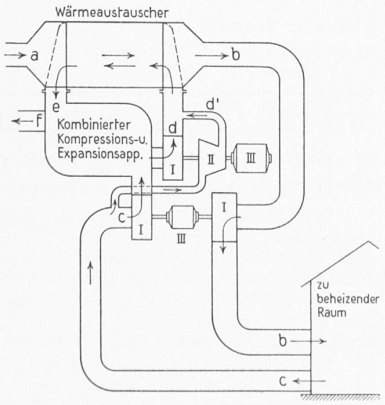


Abb. 5. Luft-Wärmepumpe. I Ventilatoren, II Zusatzgebläse, III Elektromotoren

		Gemessen
a	Kalte Frischluft	4,4 °C
b	Warme Frischluft f. Raumheizg.	34,6 °C
c	Abluft der beheizten Räume	17,8 °C
d	Warme komprimierte Abluft	42,0 °C
d'	Kompr. Luft vom Zusatzgebläse (Gemisch von d und d' 49 °C)	81,5 °C
e	Gekühlte komprimierte Abluft	15,7 °C
f	Kalte expandierte Abluft, ausgestossen in die Atmosphäre	— 9,3 °C

Diese neue Luftwärmepumpe ist sehr einfach im Aufbau, da sie weder Kolben, Ventile, noch Abdichtungen aufweist. Ihr Platzbedarf ist im Vergleich zur Kaltdampfmaschine gering, schon weil der Verdampfer in Wegfall kommt. Die Unterhaltskosten des Aggregates sind aus den obgenannten Gründen sehr klein. Wir versprechen uns von der weiteren Verfolgung dieses Systems mannigfache Anwendungsmöglichkeiten für Raumheiz- und Kühlzwecke als Konditionierungsanlage, wobei das System besonders auch für industrielle Trocknungsprozesse Interesse bietet[5]).

MITTEILUNGEN

Trolleybus Winterthur-Wülflingen. An der LA steht ein Wagen dieser auf Trolleybus-Betrieb umgebauten Linie; Nr. 6 des «Bulletin SEV» 1939 enthält eine eingehende Beschreibung dieser 3,1 km langen Anlage und ihres Rollmaterials[1]). Für die vorgesehene Wagenfolge von 10 min wären nach einer in Bd. 109 (1937), Nr. 24, S. 284* veröffentlichten generellen Berechnung von E. Anderegg die Gesamtkosten in Rp/Wkm beim Automobil- und Strassenbahnbetrieb etwa gleich (rd. 92), für Trolleybus niedriger (rd. 85). Demgegenüber könnten nach den Vorstudien für die genannte Linie der Dieselwagen (70,1) mit dem Trolleybus (68,0) schon beinahe konkurrieren, nicht aber der Benzinmotor (81,1), während auch der nur eingeleisige Trambetrieb mit 99,4 Rp/Wkm ausser Betracht gefallen ist. Der von Adolph Saurer, Arbon, und Brown Boveri, Baden gebaute Wagen, der täglich von der Strassenbahn zum und vom Ausgangsplatz geschleppt wird, vereinigt Standard-Elemente aus dem Strassenbahn- und dem Automobilbau. Eine Gleichspannung von 600 V zwischen den Fahrdrähten speist über einen Stufenschalter von 21 Stufen einen Seriemotor von 64 kW Stundenleistung und 1660 U/min, der die Hinterachse über Kardan, Differential und Zahnradvorgelege an den Rädern (Uebersetzung 10,6 : 1) antreibt. Beim Anfahren werden durch einen Hilfskontakt am herabgedrückten Fahrpedal die Steuerapparate im Führerpult in Bewegung gesetzt: Der Line-breaker schnappt ein, die Stufen werden nacheinander kurzgeschlossen, und schon nach wenigen Sekunden ist die Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h erreicht. Ein Nachlassen des Drucks auf das Fahrpedal: der Stromkreis ist wieder unterbrochen, und der Stufenschalter dreht sich unter Einwirkung von Druckluft in die Nullstellung zurück. Betätigt der Führer nun das Bremspedal, so wird der auslaufende Motor als Generator auf einen Widerstand geschaltet. Ein Relais

[5]) Eine solche Anlage für eine Heizleistung von 50 000 Cal/h wird gegenwärtig von Gebr. Sulzer, Winterthur, im Zürcher Kongressgebäude eingebaut. Sie soll einen Teil der Beheizung und Kühlung des Bankettsaales übernehmen. Red.

[1]) Ueber die Gesichtspunkte beim Bau einer Trolleybus-Anlage vergleiche H. Wüger: Technische Entwicklungsmöglichkeiten des Trolleybus, «SBZ» Bd. 109 (1937), Nr. 14, S. 164*.