

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 30 (1939)
Heft: 2

Artikel: Einiges über die Möglichkeiten von Wärmepumpenheizungen
Autor: Egli, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058331>

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: 25.12.2024

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

Die Druckspanne zwischen Kesselhöchstdruck und Verbrauchsdruck dient zur Speicherung des Dampfes. Die Kesselgrösse richtet sich dementsprechend nach der Aufheizzeit, der verfügbaren elektrischen Energie, dem Dampfverbrauch und den Betriebszeiten. Es lässt sich so für jeden Fall ein für die

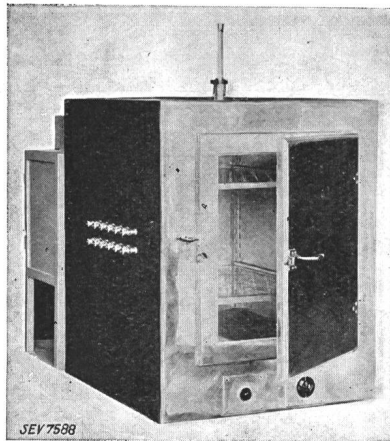


Fig. 15.
Konditionierschrank (Vorderseite).

Rentabilität günstiges Verhältnis zwischen Anschlusswert, Heizzeiten und Dampfverbrauch bestimmen, und die ausgeführten Anlagen geben sowohl dem Energielieferanten, als auch dem Bezüger volle Befriedigung.

Ein ähnlich günstiger Energieverbraucher ist der industrielle Wasserdestillierapparat, der ohne weiteres nur zu Zeiten eingeschaltet werden kann, in denen Energie zu Abfallpreisen zur Verfügung steht, da er vollautomatisch betrieben wird.

Dann sei noch in Kürze das Gebiet der industriellen Luftkonditionierung gestreift, das z. B. für die Luftbefeuchtung nicht nur Motorenenergie für den Ventilator und die Wasserzerstäubung benötigt, sondern auch Wärmeenergie für die Vorhei-

zung der behandelten Luft. Für diese Anwendung kommen hauptsächlich die Textil-, Tabak- und Holzindustrie, auch Lebensmittellager und ähnliche Betriebe in Frage, aber es ist zu erwarten, dass sich die Luftkonditionierung ähnlich wie in Amerika auch bei uns ganz allgemein einführt.

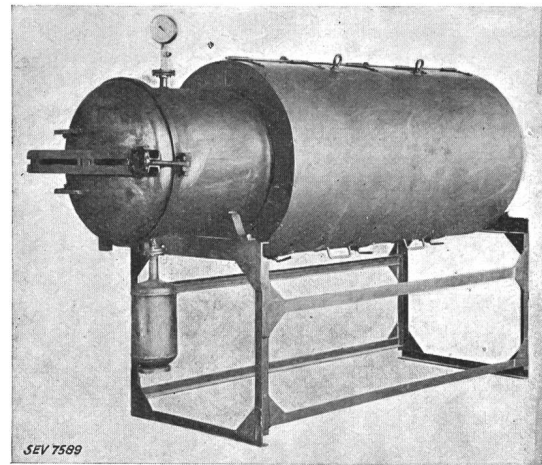


Fig. 16.
Vakuumpessel.

Dieses Anwendungsgebiet der Elektrizität wurde hauptsächlich durch die hohe Entwicklung der elektrischen Regulierapparate für Temperatur, Druck- und Luftfeuchtigkeit erschlossen. Wir sind heute in der Regulierapparatekonstruktion bereits soweit, dass ohne Uebertreibung behauptet werden kann, es lasse sich jedes Regulierproblem auf elektrischem Wege lösen.

Der Vorsitzende dankt Herrn Beutler bestens für den schönen Ueberblick über viele, besonders interessante Anwendungen der Elektrowärme. Der Referent hat die Bedeutung genauer Tempepraturregulierung hervorgehoben; dieser Punkt ist oft wichtiger als der Elektrizitätspreis.

Die Diskussion wird nicht benützt.

Einiges über die Möglichkeiten von Wärmepumpenheizungen.

Referat, gehalten an der Kurzvorträge-Veranstaltung des SEV vom 9. Juli 1938 in Freiburg
von M. Egli, Kant. Heizinspektor, Zürich, und Diskussion.

621.181.63

Die Funktion und die Berechnung der Wärmepumpe werden kurz beschrieben. Die Anwendung zur Raumheizung wird unter besonderer Berücksichtigung der erzielbaren Elektrizitätspreise bei Radiatorenheizung und bei Kombination mit Strahlungs-(Decken-)Heizung und Raumkühlung behandelt. Die Anschaffungskosten werden soweit möglich angedeutet.

L'auteur décrit succinctement les fonctions et le calcul d'une installation de thermo-pompage. Il traite ensuite l'application de ce principe au chauffage des habitations en tenant plus particulièrement compte des prix d'électricité réalisables pour le chauffage par radiateurs et pour la combinaison du chauffage par rayonnement (du plafond) avec la réfrigération des locaux (en été). Il indique dans la mesure du possible les frais de premier établissement.

Es wird von niemand ernsthaft bestritten, dass die Verwendung einheimischer Energie zur wirtschaftlichen Deckung der Raumheizbedürfnisse ein sehr erstrebenswertes Ziel darstellt, dass dieses aber durch das Verfahren der Widerstandsheizung allgemein nicht erreicht werden kann. Wenn keine Möglichkeit bestände, für eine kWh mehr als 860 kcal nutzbare Heizwärme zu gewinnen, ihre

durchschnittlichen Produktionskosten jedoch voraussichtlich um die 3,5 Rp. herum liegen, wogegen 860 kcal nutzbarer Wärme, in einer kohlengefeuerten Zentralheizung erzeugt, im Mittel nur auf etwa 1,5 Rp. zu stehen kommen, müsste jeder Versuch einer Umstellung von brennstoffgefeuerten auf elektrischen Heizbetrieb als wenig aussichtsreiches Unterfangen bezeichnet werden. Die Wärmepumpe

ermöglicht aber, pro kWh das Vielfache ihres Wärmeäquivalentes als Heizarbeit abzugeben, und somit für die kWh auch das entsprechende Vielfache des Brennstoffäquivalentpreises zu zahlen.

Was ist die Wärmepumpe? Im Anschluss an die Veröffentlichung im Bull. SEV 1938, Nr. 11, sei nochmals das Wesentliche kurz erwähnt. Die Wärmepumpe «pumpt» Wärme aus einem Wärmeträger niederer Temperatur (z. B. Wasser oder Luft), im folgenden Wärmespender genannt, in einen Wärmeträger höherer Temperatur, z. B. Zentralheizungswasser. Der Transport dieser Wärme innerhalb der Apparatur erfolgt durch eine Kühlflüssigkeit, im folgenden Wärmeübertrager genannt; verwendet wird z. B. Ammoniaklösung, schweflige Säure, «Freon» (eine ölartige Flüssigkeit) usw. Ein Wärmeübergang von einem Wärmeträger auf einen andern, der höhere Temperatur hat, geht nach den Gesetzen der Thermodynamik nicht von selbst vor sich, sondern nur dann, wenn von aussen Arbeit zugeführt wird; diese Arbeit wird in der Wärmepumpe durch Kompression des Wärmeträger-Dampfes auch in Wärme umgewandelt und wird zusammen mit der dem Wärmespender entzogenen Wärme zur Aufheizung des Zentralheizungswassers benutzt. Die Wärmepumpe ist also grundsätzlich ein Kühlschrank, nur wird bei ihr die abgegebene Wärme ausgenutzt, während die «entstehende Kälte» nicht interessiert, wogegen beim Kühlschrank gerade die «entstehende Kälte» ausgenutzt wird, während die abgegebene Wärme nicht interessiert.

Welche Rolle spielt die Elektrizität bei diesem Apparat? Sie wird benutzt, um durch einen Elektromotor einen Kompressor anzutreiben. Der Motor verwandelt die Elektrizität in mechanische Arbeit, der Kompressor die mechanische Arbeit in Wärme. Diese Wärme ergibt zusammen mit der dem Wärmespender entzogenen die von der Wärmepumpe total gelieferte Wärme. Diese pro aufgewendete kWh erzeugte Gesamtwärme ist in jedem Fall grösser als das theoretische Aequivalent von 860 kcal/kWh. Wie gross sie ist, hängt nur von den gegebenen Voraussetzungen ab. Es wird im folgenden gezeigt, dass ohne wesentliche Schwierigkeiten 2000 kcal/kWh erzeugt werden können, unter günstigen Umständen noch bedeutend mehr.

Das Verhältnis der nutzbar abgegebenen Heizarbeit zur aufgewendeten Antriebsarbeit einer Wärmepumpenanlage sei in Analogie zur Terminologie der Lichtquellen mit «Wärmeausbeute» bezeichnet. Diese kann als Verhältnis der (momentan) abgegebenen zur aufgenommenen Leistung (z. B. in [kcal/h]/kW) oder als Verhältnis der abgegebenen zur aufgenommenen Arbeit (kcal/kWh), z. B. während einer Heizperiode eingeführt werden. Die Wärmeausbeute einer Anlage ändert sich mit der Belastung; es gibt daher eine durchschnittliche, z. B. auf das Jahr oder die Heizsaison bezogene Wärmeausbeute. Dabei soll die elektrische Arbeit am Zähler gemessen werden, also sämtliche Verluste und den Antrieb der Hilfsapparate, nämlich Wasserpumpen, Betrieb der Steuerungseinrich-

tung usw., nicht aber der Zentralheizungsumwälzpumpen, einschliessen.

Es sei kurz angedeutet, wie die Wärmepumpenanlage berechnet wird (Fig. 1). Auf der Abszisse sind die Tage eines Jahres und auf der Ordinate die mittleren Tagestemperaturen nach den Aufzeichnungen der meteorologischen Zentralanstalt entsprechend den Konventionen der Heiztechnik aufgetragen. Nun wird der mittlere Wärmeverbrauch des Gebäudes pro Stunde für die niedrigste Aussentemperatur (konventionell -20°C) ermittelt und daraus nach folgender Methode der Verlauf der Heizarbeit während der Tage des Jahres bestimmt:

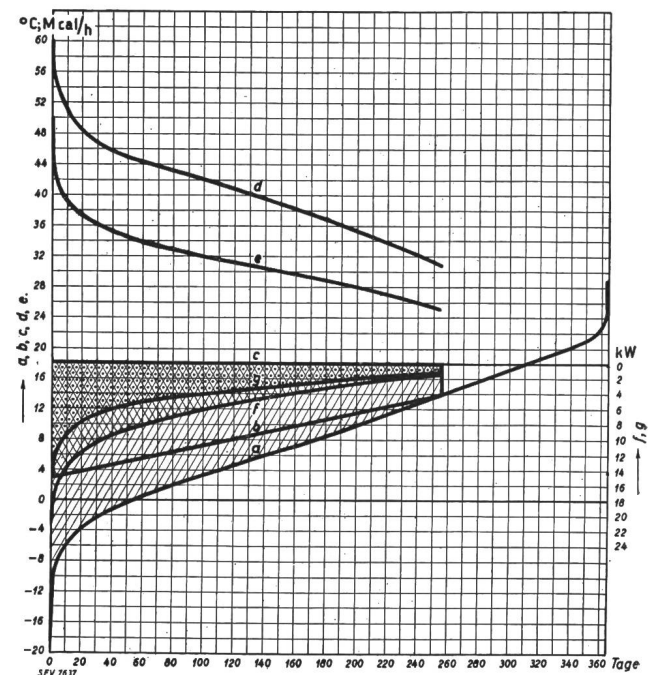


Fig. 1.

Diagramm für die Leistungsbestimmung.

- a Häufigkeitskurve der Aussentemperatur.
- b Häufigkeitskurve der Flusswassertemperatur.
- c Heiztemperaturgerade.
- d Vorlauftemperaturkurve für wärmepumpenbetriebene Radialheizung.
- e Vorlauftemperaturkurve für wärmepumpenbetriebene Deckenstrahlheizung.
- f Antriebsleistungskurve für wärmepumpenbetriebene Radialheizung.
- g Antriebsleistungskurve für wärmepumpenbetriebene Deckenstrahlheizung.

Im grossen und ganzen kann man sagen, dass die für die Heizung aufgewendete Wärmemenge pro Tag dem Unterschied zwischen Innen- und Aussentemperatur proportional ist, so dass der Abstand zwischen der Geraden der Innentemperatur (c) und der Kurve der Aussentemperatur (a) direkt als Maßstab für die Aenderung der (mittleren täglichen) Heizarbeit über die Tagzahl betrachtet werden kann. Die Verwendung dieser vereinfachten Beziehung ist zwar nicht ganz genau, hat aber den Vorteil allgemeiner Verständlichkeit, und sie verwischt das Wesentliche nicht durch heiztechnische Korrekturen, die die Genauigkeit relativ wenig beeinflussen. Eine der wichtigsten dieser Korrekturen wäre die Aenderung der Wärmeübergangszahl mit der Temperaturdifferenz.

Ein weiteres Berechnungselement ist der Verlauf der Temperatur des Wärmespenders, also des Fluss- oder Grundwassers usw. in Abhängigkeit der verschiedenen Tage.

Schliesslich braucht man die Leistungscharakteristik der Wärmepumpe (Fig. 2). Diese Leistungscharakteristik zeigt die aufzuwendende indizierte Antriebsleistung in Funktion der abzugebenden Wärmeleistung für eine bestimmte umgewälzte Menge Wärmeübertrager. Es fällt auf, dass die Fläche des Ammoniakkurvennetzes viel grösser ist als diejenige des Freonnetzes, was bedeutet, dass alle Wärmepumpen für Freon grösser und deshalb

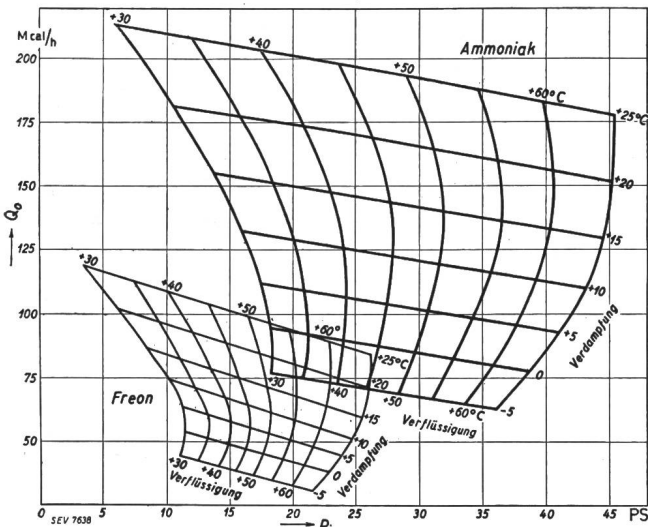


Fig. 2. Diagramm der indizierten Leistung pro 100 m³/h effekt. Saugvolumen für Freon und Ammoniak.

teurer ausfallen als für Ammoniak, während Ammoniakmaschinen stärker gebaut sein müssen als solche für Freon. Es kann ferner festgehalten werden, dass die Vorlauftemperatur des Zentralheizungswassers im Mittel etwa 5° C unter der Verflüssigungstemperatur des Wärmeübertragers und dessen Verdampfungstemperatur etwa 5° C unter der Temperatur des Wärmespenders angenommen werden kann. Die genauen Werte ergeben sich aus der Disposition der ganzen Wärmepumpenanlage.

Aus dem Leistungsdiagramm erhält man als weitere Kurve des Diagramms (Fig. 1) die elektrische Antriebsarbeit pro Tag (Kurve f).

Das Verhältnis des Inhaltes der Fläche zwischen der Innentemperaturgeraden und der Aussentemperaturkurve und desjenigen der Fläche zwischen Innentemperaturgeraden und der Kurve der Antriebsleistung ergibt nun die Wärmeausbeute pro Heizsaison, und zwar, bei zweckmässiger Wahl der Maßstäbe, direkt in kcal/kWh. Er liegt beispielsweise für eine Radiatorenheizung auf dem Platze Zürich, mit einer Vorlauftemperatur von 60° C, für eine minimale Aussentemperatur von - 20° C und für einen geradlinigen Wärmespendertemperaturverlauf von + 3° C bis + 14° C für 250 Heiztage bei ungefähr 2000 kcal/kWh.

Für die Bestimmung des Brennstoffparitätspreises der kWh gegenüber der koks- oder ölbeheizten

Feuerung ist der Wirkungsgrad der Feuerungen zu berücksichtigen. Dieser beträgt etwa 60, bzw. 70 %. Diese Wirkungsgrade werden zweckmässig in die Wärmeausbeute der Wärmepumpe eingeführt; es ergibt sich damit für den Vergleich des Beispiels mit einer Koksfeuerung eine Wärmeausbeute von 2000 : 0,6 = 3350 kcal/kWh und für den Vergleich mit einer Oelfeuerung 2000 : 0,7 = 2850 kcal/kWh, wobei nun für Koks und Oel der Heizwert eingesetzt werden muss. Angenommen, 1 kg Koks koste loco Behälter 8 Rp. und 1 kg Oel 15 Rp., so ergibt sich für das Beispiel ein Aequivalenzpreis von 3,6 Rp./kWh für Koksheizung und von 4,3 Rp./kWh für Oelheizung. Dieser Brennstoffparitätspreis bezieht sich also nur auf die Kosten der Elektrizität und der Brennstoffe, ohne Verzinsung und Amortisierung der Anlagekosten und ohne anderweitige Kosten für Betrieb und Unterhalt.

Je grösser die Wärmeausbeute, um so höher ist der Brennstoffparitätspreis. Wesentlich aber ist vor allem, dass die Wärmeausbeute der Wärmepumpe steigt, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Wärmespenders und Zentralheizungswasser sinkt. Im Beispiel wurde für die Vorlauftemperatur 60° angenommen. Durch Vergrössern der Radiatoren könnte die Vorlauftemperatur noch weiter erniedrigt werden. Bautechnisch sind in dieser Beziehung gewisse Grenzen gesetzt, indem die gegebenen Fensterdimensionen die Radiatorengrösse mehr oder weniger bestimmen.

In neuester Zeit ist nun die Strahlungsheizung in den Vordergrund getreten, die mit niedrigen Temperaturen und grossen Flächen arbeitet, sie eignet sich daher für den Betrieb mit Wärmepumpe besonders gut. Liegt für eine übliche brennstoffgeheizte Radiatorenheizung die höchste Zentralheizungswasservorlauftemperatur bei 90° C und lässt sie sich durch Anpassung an den Wärmepumpenbetrieb auf 60° C verringern, so besteht bei einer Strahlungsheizung durchaus keine Schwierigkeit einer weiteren Reduktion auf 50° C. Dadurch und infolge weiterer Eigentümlichkeiten der Strahlungsheizung steigt die Wärmeausbeute der Wärmepumpe gegenüber 2000 kcal/kWh für eine Radiatorenheizung auf nahezu 3000 kcal/kWh, wodurch der Preis der kWh auf über 5 Rp. erhöht werden kann. Das Verhältnis des Energieaufwandes geht augenscheinlich aus den beiden in Fig. 1 angelegten Flächen hervor.

Im angedeuteten Beispiel wird Flusswasser als Wärmespenders benützt. Es ist daher auch möglich, das Grundwasser zu benützen, das den Vorteil gleichmässiger Temperatur während der Heizsaison aufweist. So wurden z. B. in Zürich Grundwassertemperaturmessungen ausgeführt, die keine Temperaturen unter 10° C ergaben. Dadurch kann der Temperaturunterschied zwischen Grundwasser und Verdampfung wesentlich grösser festgelegt werden als bei Flusswasser, wodurch nicht nur die Verdampfungsoberfläche kleiner oder die wärmeabgebenden Wassermengen geringer gehalten werden können, was entweder die Reduktion der Anlagekosten des Verdampfers oder der Rohrlei-

tung und Förderpumpen zur Folge hat, sondern überdies ist die Gefahr des Einfrierens des Verdampfers geringer, so dass sich die hierfür vorgesehenen Vorsichtsmassnahmen erübrigen. Die Wärmeausbeute von Wärmepumpen, die mit Grundwasser gespeisen werden, ist nicht wesentlich verschieden von flusswassergespiesenen, beträgt also ebenfalls etwa 2000 kcal/kWh für Radiatorenheizung und vorausgesetzt, dass nicht sehr bedeutende Grundwassermengen zur Verfügung stehen, die eine Erhöhung der durchschnittlichen Verdampfungs-

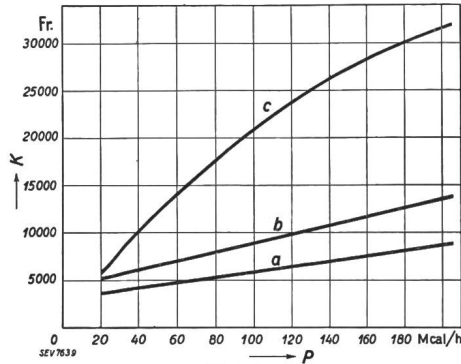


Fig. 3.
Erstellungskosten (K) in Funktion der Leistung (P) für Fabrikation in Serien von je 50 Maschinengruppen pro Typ.
a Kleinanthrazitfeuerung.
b Oelfeuerung.
c Wärmepumpe.

temperaturen und damit der Wärmeausbeute ermöglichen würden. Wesentlich aber ist die Tatsache, dass bedeutend mehr Siedlungsfläche über Grundwasserströmen als an offenen Gewässern liegt und dass dadurch das Marktgebiet der wassergespiesenen Wärmepumpe überhaupt gegenüber der nur mit See- oder Flusswasser gespeisenen mehr als verdoppelt wird.

Damit habe ich die zwei heute im Vordergrund liegenden Ausführungsformen angedeutet. Es bleibt noch als dritte interessante Kategorie die *luftgespessene Wärmepumpe* zu behandeln. Diese Form wird zur Zeit von anderer Seite intensiv studiert. Zweifellos eröffnet auch die Luft als Wärmequelle interessante Perspektiven. Wir werden vielleicht in der Diskussion darüber nähere Auskunft erhalten.

Damit komme ich zu den *Anlagekosten* (Fig. 3). Dieses Kapitel bildet wohl das meist diskutierte des ganzen Wärmepumpenproblems. Die Meinungen gehen darüber auseinander. Es ist eben sehr schwer, Preisvergleiche zwischen Maschinengattungen anzustellen, von denen die eine, nämlich diejenige der brennstoffgefeuerten Kessel, bereits in hundert- und tausendfacher Ausführung im Betriebe steht, während die andere noch nicht einmal umrissen auf dem Papier vorliegt. Alle Erstausführungen sind teuer; sie als massgebendes Kriterium für die Marktfähigkeit der Serienprodukte zu betrachten, wäre unrichtig. Um in dieser Beziehung wenigstens einmal eine Richtlinie zu haben, die zeigt, wohin wir steuern, habe ich die Preise verschiedener Maschinengrössen, in Serien von 50 Stück hergestellt, als Kurve aufgetragen. Demgegenüber

sind die Kurven der ölgefeuerten und der kleinanthrazithgefeuerten automatischen Kesselgruppen dargestellt, wobei bemerkt werden muss, dass nur die Oelfeuerung den Grad der Bedienungslosigkeit einer Wärmepumpe erreicht. Es ergibt sich daraus, dass für eine Gruppe von 50 000 kcal/h die Anlagekosten etwa das Doppelte einer automatischen Oelfeuerung ausmachen. Diesen Preisverhältnissen sind wir in der Heizungsbranche schon einmal begegnet, nämlich zur Zeit des Aufschwunges der automatischen Oelbrenner; damals kostete die ölbeheizte Kesselanlage sogar mehr als das Doppelte der koksbeheizten; was nicht verhindert hat, dass in der Schweiz mehrere tausend Brenner aufgestellt wurden.

Ohne zu behaupten, dass wir schon auf dem Punkt angelangt seien, der erlaubt, in einem gewöhnlichen Arbeiterfamilienhaus eine Wärmepumpe zum Einbau zu bringen, gibt es doch heute schon sehr viele Anwendungsmöglichkeiten dieser Maschinenart, die sich bereits, privatwirtschaftlich gerechnet, als vorteilhaft erweisen. Zur Zeit befindet sich das ganze Kostenproblem derart im Fluss, dass es geradezu gefährlich ist, irgendwelche bindende Zahlen zu bringen.

Wichtig ist aber, festzustellen, dass die prozentuale Verteuerung der *ganzen* Heizungsanlage gegenüber automatischen Brennstoffanlagen 50 % nicht übersteigt, denn die Kosten der an den Kessel, bzw. die Wärmepumpe angeschlossenen Heizanlage sind im grossen und ganzen etwa gleich.

In bezug auf die Betriebsverhältnisse möchte ich nur noch auf einen Punkt hinweisen, nämlich auf die Möglichkeit der Einschaltung von Sperrzeiten für die Elektrizitätslieferung für den Heizbetrieb. Vor kurzer Zeit wurden Versuche über die Anheizzeiten von Deckenheizungen gemacht, deren Resultate für wärmepumpen-beheizte Anlagen ganz neue Möglichkeiten eröffnen. Die Deckenheizung ist eine

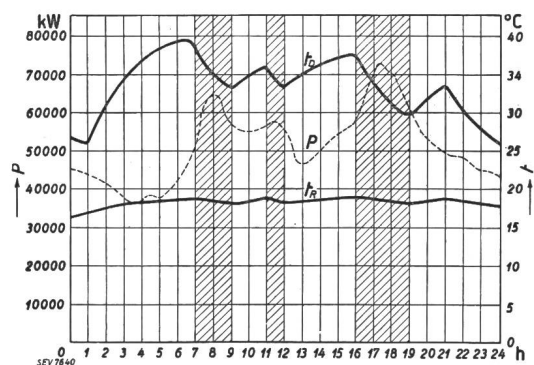


Fig. 4.
Deckenheizung.
Temperaturverlauf bei den schraffierten Sperrzeiten:
t₀ an den Deckenoberflächen und t_R im Raum.
P Wintertagbelastungsdiagramm des EW Zürich.

sehr wärmeträge Heizungsart, weil andauernd grosse Massen von Beton aufgeheizt und abgekühlt werden. Es hat sich nun gezeigt, dass bei Wärmelieferungsunterbruch die Abkühlung der Deckenoberfläche nicht mehr als 4° C und diejenige des Raumes sogar nur 1/3° C pro Stunde ausmacht. Dem-

entsprechend ist in Fig. 4 das Tagesbelastungsdiagramm eines Wintertages der Stadt Zürich verwendet und der Betrieb einer Wärmepumpenheizung dazu supponiert worden, bei der von 7 bis 9 Uhr, von 11 bis 12 Uhr und von 16 bis 19 Uhr die Elektrizitätslieferung gesperrt werden soll. Dagegen ist die Leistung der Wärmepumpe 25 % höher gehalten als der sich aus der kalorimetrischen Rechnung ergebende Wärmeverbrauch. Die Oberflächentemperatur der Decke ändert unter dem Einfluss der Sperrzeit während der Benützungszeit des Raumes maximal um 8°, während die Raumtemperatur in der gleichen Zeit nur zwischen 18° und 19° hin und her pendelt. Es gibt ein grosses Warenhaus in Holland, dessen Deckenheizung an mittleren Wintertagen morgens 10 Uhr abgestellt und den ganzen Tag nicht mehr in Betrieb genommen wird. Es ist somit nicht nur möglich, durch die Wärmepumpe bessere kWh-Preise für Heizenergie zu erreichen, sondern es kann dazu die Energieabgabe auf die Zeiten schwächerer Netzbelastung beschränkt werden. Dieses Moment scheint für die Elektrizitätsversorgung von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit und wird eine wesentliche Unterstützung der Ausbreitung wärmepumpen-beheizter Gebäude bilden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die wassergespiesene Wärmepumpe etwa eine Wärmeausbeute von 2000 kcal/kWh für Radiatorenheizung und 3000 kcal/kWh für Deckenheizung erreicht. Die Strahlungsheizung erlaubt jedoch Sperrzeiten bis zu drei Stunden, vorausgesetzt, dass die Wärmepumpenanlage entsprechend der Betriebszeitverkürzung überdimensioniert wird.

Die Wärmepumpe wird überall dort leichten Eingang finden, wo neben dem Wärmebedürfnis auch ein Kühlbedürfnis besteht, und wird dann vorteilhafte Wärmeausbeuten zeitigen, weil Ventilationsanlagen nur niedrige Zentralheizungswassertemperaturen erfordern. Für Restaurationsbetriebe und Versammlungsräume ist die Wärmepumpe heute nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich vorteilhaft. Es ist jedoch für jedes einzelne Objekt ein Betriebsdiagramm zu erstellen, das allein die Durchführung der Betriebsrechnung ermöglicht. Es ist auch nicht ausser Acht zu lassen, dass das Vorhandensein einer Maschine mit Kühleinrichtung die Bedürfnisse für Kälteerzeugung steigert, wodurch der Absatz von Sommerenergie gefördert wird. Ja, die Fabrikanten von Wärmepumpen werden aus diesem Umstand in andern Ländern ihren ganz besonderen Nutzen ziehen können.

Was noch besonders die Kühlung von bewohnten Räumen anbetrifft, so kann erwähnt werden, dass die Kühlung mit Wasser aus dem Netz der Wasserversorgung z. B. in Zürich etwa fünfmal so teuer ist als die Kühlung durch Kühlmaschinen, ganz abgesehen davon, dass die Wasserwerke nur ungern Wasser für Kühlzwecke liefern, weil der Verbrauch gerade dann am grössten ist, wenn der Vorrat am geringsten ist. Gerade umgekehrt ist die Situation bei Kühlung durch Elektrizität; da wird wirklich

in der Zeit Elektrizität verbraucht, in der ein Ueberfluss vorhanden ist. Auch hier bietet die Strahlungsheizung gegenüber der Radiatorenheizung wesentliche Vorteile, indem mit dem gleichen Rohr- und Heizregistersystem durch Durchleiten rückgekühlten Wassers im Sommer Kühlwirkung erzielt werden kann. Bei Jelmoli, Zürich, ist es bereits gelungen, die Innenraumtemperatur von strahlungsbeheizten Räumen gegenüber den andern Räumen um 3° C abzukühlen. Leider ist dort keine Wärmepumpe, sondern nur ein Wärmeaustauschapparat zur Aufstellung gelangt. Das Bedürfnis nach Raumkühlung hat seit jeher bestanden, nur waren die hiezu erforderlichen Anlagen zu kostspielig. Trennt man von den Anlagekosten einer Wärmepumpe den entsprechenden Anteil für Kühlung ab, so wird dadurch der Anlagekostenanteil für Heizung nicht unmerklich verkleinert. Im übrigen ist es nicht ausgeschlossen, dass es gelingt, bei Strahlungsheizung auf den Wärmeaustauschapparat zwischen Zentralheizungswasser und Wärmeüberträger, den Verflüssiger, zu verzichten, wodurch die Warmwasserheizung wieder in eine Dampfheizung, allerdings in eine Freon-Dampfheizung, zurückverwandelt würde. Es scheint dabei, dass diese Umstellung die Heizungsanlagekosten nicht in dem Masse erhöht, dass die Kosten des Verflüssigers wieder wettgemacht würden, so dass nicht nur Anlagekosten gespart werden könnten, sondern dass auch die Ausschaltung der Temperaturdifferenz zwischen Verdampfung und Zentralheizungsvorlauf die Ausbeute namhaft verbessern würde.

Auf dem Gebiet der Wärmepumpe ist also noch sehr viel Arbeit zu leisten, hauptsächlich wenn man bedenkt, dass einer effektiven Wärmeausbeute von 2000 kcal/kWh eine theoretische Ausbeute von 6000 kcal/kWh zugrunde liegt; eines steht aber bereits fest: Die Wärmepumpe für Raumheizung hat ihren längst erwarteten Einzug in die Praxis gehalten.

Diskussion.

Der Vorsitzende verdankt das sehr eingehend orientierende Referat bestens. Er erinnert an das physikalische Gegenstück zu diesem technisch-wirtschaftlichen Referat, nämlich an den Vortrag, den Herr Prof. Dr. Eichelberg kürzlich in der Physikalischen Gesellschaft Zürich über die Wärmepumpe hielt. Herr Prof. Eichelberg stellte folgendes fest: Die Wärmepumpe existierte vor der Dampfmaschine; ihre Anwendung zur Raumheizung ist kein technisches, sondern ein wirtschaftliches Problem. Was Herr Egli über die Gestehungskosten sagte, ist restlos zu unterstützen: Erste Anlagen sind immer teuer; später geht der Preis zurück. Bei den Betriebskosten muss sicher auch zwischen Gross- und Klein-Anlagen unterschieden werden.

Herr Prof. Dr. B. Bauer, Eidg. Techn. Hochschule, Zürich: Das Fernheizkraftwerk der ETH bildet 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 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 besonderen 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 am geringen Gesamtwirkungsgrad der benötigten Luftkompressoren und Luftturbinen. Die von uns verfolgte neue Konstruktion, welche im Fernheizkraftwerk der ETH zur Zeit ausprobiert wird, vermeidet die zweifache Energieumsetzung, d. h. die Umwandlung mechanischer Energie in Kompressionsarbeit und darauffolgender Umwandlung der Expansionsenergie wiederum in mechanische Arbeit. Es erfolgt mit dieser neuen Maschine nach besonderem Verfahren eine direkte Druckübertragung zwischen dem Spannungsvorgang und dem Kompressionsvorgang, wodurch ein relativ hoher Wirkungsgrad erzielt werden kann. Die auf dem Versuchsstand des FHK stehende Wärmepumpe wurde für eine Leistung von nur 25 000 kcal/h gebaut, weil die Erzielung eines guten Wirkungsgrades gerade für so kleine Leistungen schwierig ist. Zur Orientierung über die bis heute erreichten Resultate gebe ich im folgenden die Messwerte für einen unterhalb der

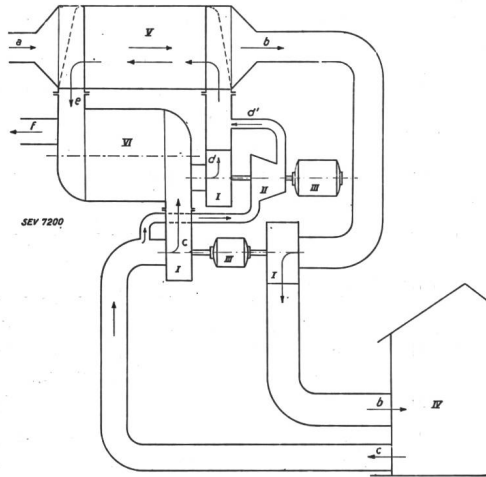


Fig. 1.

Luft-Wärmepumpe.

I Ventilatoren. II Zusatzgebläse. III Elektromotoren. IV zu beheizender Raum. V Wärmeaustauscher. VI kombinierter Kompressions- und Expansionsapparat.

Versuchsergebnisse:	°C
a kalte Frischluft	4,4
b warme Frischluft für Raumheizung	34,6
c Abluft der beheizten Räume	17,8
d warme, komprimierte Abluft	42,0
e komprimierte Luft von Zusatzgebläse	81,5
f gekühlte, komprimierte Abluft	15,7
f kalte expandierte Abluft, ausgestossen in Atmosphäre	- 9,3

Vollast liegenden Betriebspunkt bekannt¹⁾. Fig. 1 zeigt schematisch den Weg und die Umwandlung des Arbeitsmittels. Die Leistungsziffer der Maschine betrug bei dem genannten Lastpunkt 2,3, d. h. es wurde mit der aufgewendeten elektrischen Arbeit eine nutzbare Wärmemenge von 2,3 mal dem Wärmeäquivalent einer kWh erzeugt. Wie die Zahlen zeigen, gibt die Maschine zugleich Warmluft und Kaltluft ab. Es folgt hieraus die leichte Umkehrbarkeit der Anlage für Kühlzwecke.

Diese neue Luftwärmepumpe ist sehr einfach im Aufbau, da sie weder Kolben, Ventile noch Abdichtungen aufweist. Ihr Platzbedarf ist im Vergleich zur Kaldampfmaschine 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.

Herr Dir. W. Trüb, EW Zürich: Das EWZ übernahm die Elektrizitätslieferung an die Wärmepumpenanlage im Rathaus in Zürich. In der kommenden Heizsaison soll die Anlage genau beobachtet werden; je nach den Betriebsergebnissen wird der vertragliche kWh-Preis revidiert. Das EWZ ist übrigens gegenüber der Wärmepumpe sehr positiv eingestellt.

¹⁾ Siehe die Zahlenwerte in der Legende zu Fig. 1.

Im Hallenschwimmbad, das im Bau ist, werden 5 Wärmepumpen aufgestellt, die den Schanzengraben als Wärmespenden benützen. Ausserdem wird dort die Verlustwärme der im nahen Unterwerk Selnau stehenden vier 10 000-kVA-Transformatoren zur Wassererwärmung benützt. Dazu kommt noch ein Elektrokessel von 2000 kW. Dies alles ergibt eine sehr schöne Kombination, die gestattet, jährlich etwa 800 t Kohlen einzusparen. Das EWZ beteiligt sich an den Kosten mit über Fr. 120 000.—

Eine zweite sehr interessante Anlage wird das Kongressgebäude. Auch hier werden Küche, Heisswasserbereitung und Heizung elektrifiziert. Die Heisswasseranlage wird auf die verschiedenen Betriebe (Kongressaal, Bankettsaal, Restauration usw.) aufgeteilt. Ein Teil der Heizung und Kühlung erfolgt durch eine Luft-Wärmepumpe. Die Grossheizung übernehmen 5 Koksessel, an deren Stelle bei Wasserüberfluss ein Elektrokessel von 2200 kW tritt. Da die Brennstoffkessel rasch wechselnden Bedürfnissen nicht folgen können, wird der Elektrokessel zur Regulierung eingesetzt. Die Mehrkosten für die Wärmepumpe und die Kombination Brennstoff-Elektrizität im Betrage von etwa Fr. 40 000.— trägt ebenfalls das EWZ.

Es sei auch an die elektrische Heizung des Stadttheaters erinnert, die nun seit zwei Heizwintern im Betrieb ist.

So wird das EW Zürich in einigen Jahren interessante Betriebszahlen und Erfahrungen auf dem Gebiet der elektrischen Heizung mit und ohne Wärmepumpe zur Verfügung stellen können.

Herr R. Peter, Escher-Wyss A.-G., Zürich: Neben der Anwendung der Wärmepumpe für Raumheizung mögen im Zusammenhang auch die übrigen Ausnützungen dieses Systems für Heizzwecke interessieren, und zwar vor allem, was die wirtschaftlichen Gesichtspunkte anbelangt. Die Klassifizierung wäre etwa die folgende:

1. Anwendung der Wärmepumpe für die Eindampfung von Lösungen, z. B. Solen, Laugen, Farblösungen usw., also für Anlagen in chemischen und verwandten Betrieben.
2. Anwendung der Wärmepumpe für Konditionierung und Trocknung, insbesondere Einrichtungen zur Behandlung von Stoffen, die nur niedrige Temperaturen ertragen, wie z. B. Früchte, Fleischwaren usw.
3. Anwendung der Wärmepumpe für die Beheizung von grössern Bädern, Freiluft- oder Hallenbädern, und zwar vor allem der Badebassins.
4. Anwendung der Wärmepumpe für die Raumheizung.

Die Praxis im Bau derartiger Anlagen ergibt bei dem heutigen Stand der Technik, dass 1 kWh ca. 7500 bis 2000 kcal gleichgesetzt werden kann. In den Ziffern sind für den Betrieb mit Brennstoff die in Betracht kommenden günstigsten Systeme, z. B. bei der Eindampfung die Vielfacheffekte, berücksichtigt. Die genannten Wärmemengen entsprechen,

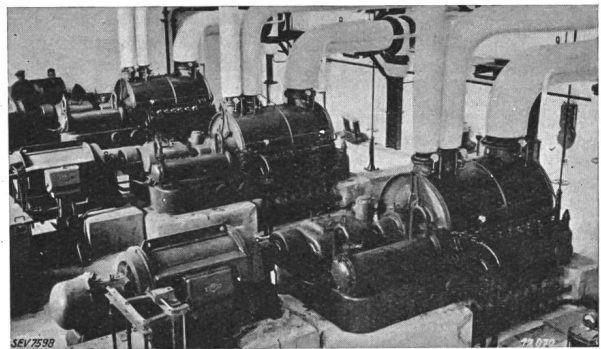


Fig. 1.

Wärmepumpen in Bauart als Turboverdichter für je ca 10 000 kg Dampfförderung, aufgestellt in einer von Escher Wyss gelieferten Eindampfungsanlage.

unter Einrechnung des Heizungswirkungsgrades, bei Kohle von 7000 kcal/kg ca. 1 1/3 bis 1/2 kg Kohle. Für eine Orientierung über den Paritätspreis der kWh sind diese Zahlenwerte nützlich. Bei Wärmepumpenbetrieb muss demgemäss die kWh, abgesehen von etwaigem vermehrtem Kapitaldienst, gleich, besser aber billiger als 1 1/3 bis 1/2 kg Kohle, loco Verbraucherort, sein. Die Werte 1 1/3 bis 1/2 gelten etwa für die

Eindampfung, diejenigen 1 bis $\frac{1}{2}$ für Konditionierung und Badheizung, endlich die Werte $\frac{2}{3}$ bis $\frac{1}{3}$ für die Raumheizung.

Die Aufteilung zeigt sehr klar, warum die Anwendung der Wärmepumpe für Raumheizung zuletzt realisiert werden konnte. Die Wirtschaftlichkeit ist hier am schwersten zu erreichen. Am vorteilhaftesten stellt sich die Anwendung der Wärmepumpe für die Eindampfung. Die Zahl der ausgeführten Anlagen ist denn auch auf diesem Gebiete schon beträchtlich. Escher-Wyss baute für diesen Zweck mechanische, d. h. motorangetriebene Wärmepumpen für ca. 500 t/h Verdampfungsleistung, die einem elektrischen Leistungsaufwand von ca. 25 000 kW entsprechen. Es dürften dies über 90 % der überhaupt für diese Anwendung gebauten Wärmepumpen sein. Unter diesen Anlagen befinden sich sehr leistungsfähige Installationen, so z. B. eine mit ca. 70 t Wasserverdampfung pro Stunde bei einer gleichmässigen Leistungsaufnahme von ca. 3300 kW über 8600 Betriebsstunden

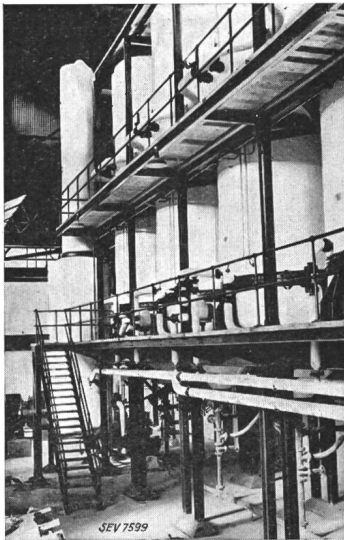


Fig. 2.

Verdampferapparate, die mit den Wärmepumpen Fig. 1 betrieben werden.

den im Jahr. Derartige Anlagen können also für die Elektrizitätswerke sehr interessant sein. Die Forderungen, welche an die Qualität dieser Wärmepumpen gestellt werden, sind teilweise sehr hoch, da die zu konzentrierenden Lösungen einen mehr oder weniger chemisch-aggressiven Charakter aufweisen können. Die Entwicklung ist so weit vorgeschritten, dass den Forderungen bestens entsprochen werden kann. Die Benützung der Wärmepumpe für die Raumheizung ist dagegen technisch einfacher.

Für die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ist die Frage des Kapitaldienstes — Verzinsung und Amortisation — mit

von grosser Bedeutung. Allgemein ist zu sagen, dass die Wärmepumpe dort, wo grössere Anlagen in Frage kommen und dort, wo mit einer gewissen Freizügigkeit geplant werden kann, besonders gute Vorbedingungen findet. Die Anwendung der Wärmepumpe für die Eindampfung stellt sich auch hier am günstigsten. Die Investitionskosten können sich sogar vorteilhafter stellen als bei Anlagen, deren Betrieb auf der Verwertung von Brennstoffen basiert. Bei der oben angeführten Anlage mit 70 t Verdampfung pro Stunde liess sich die Aufstellung von Dampfkesseln von ca. 30 bis 40 t Dampferzeugung pro Stunde, grössere Kondensationseinrichtungen, eine stark erweiterte Wasserversorgungsanlage usw. einsparen. Für kleinere Anlagen kann sich eine Mehrbelastung durch erhöhten Kapitaldienst gegenüber Anlagen auf Brennstoffbasis von bis ca. 0,5 Rp. pro für den Wärmepumpenbetrieb aufgewendete kWh ergeben. Aehnlich liegen die Verhältnisse bei Konditionierungsanlagen, während bei Raumheizung die Mehrbelastung auf 1 Rp. und mehr steigen kann.

Die Anwendung der Wärmepumpe ist, wie abschliessend festgestellt werden kann, und zwar im besondern für Eindampfungszwecke, in manchen Fällen ökonomisch sehr interessant. Die erweiterte Anwendung, und zwar auch auf Raumheizung, wird Sache neuer technischer Fortschritte im Bau derartiger Anlagen sein, und zwar der Wärmepumpe wie der Heizvorrichtungen, bzw. Heizsysteme. Wichtig ist natürlich dabei die möglichste Verbilligung der Einrichtungen.

Der Vorsitzende verdankt alle Diskussionsbeiträge bestens.

Schlusswort des Referenten²⁾: Erfreulich viele haben sich für die Idee der Wärmepumpe zum Wort gemeldet; an je zahlreicheren Orten an dem Problem gearbeitet wird, um so grösser ist die Aussicht auf kürzeste Einführungszeit und schnellste Ueberwindung der Erstlingsmängel des neuen Heizverfahrens.

Die erste Kaltwinterperiode liegt nun schon bereits einige Zeit zurück und es kann mit Befriedigung festgestellt werden, dass sich die in die Wärmepumpenanlage des Zürcherischen Rathauses gesetzten Hoffnungen in vollem Umfange erfüllt haben. Von Ueberraschungen ist der Betrieb bis jetzt vollständig verschont geblieben, und verbesserungsbedürftige Einzelheiten konnten immer ohne Schwierigkeiten oder merkbare Unterbrechung des Heizbetriebes richtiggestellt werden. Zur Zeit wird daran fleissig Zahlenmaterial gesammelt, dessen Veröffentlichung nach Abschluss der Untersuchung interessante Aufschlüsse geben wird.

Aber heute schon kann die unvergleichliche Betriebsvereinfachung einer Wärmepumpenheizung gegenüber einer feuerteuren Anlage hervorgehoben werden; es ist für sie weder eine Bedienung noch eine Ueberwachung nötig und — der Wirkungsgrad hält sich selbständig immer auf seinem Maximum. Aber vor allem hat die Theorie wieder einmal ihre Zuverlässigkeit gegen alle alteingesessenen Vorurteile unter Beweis gestellt.

²⁾ Nachträglich schriftlich eingereicht.

Essais de Machines électriques et enseignement de l'Electrotechnique.

Conférence donnée lors de la Journée de conférences de l'ASE du 9 juillet 1938 à Fribourg,
par Elie Le Coultre, Doyen du Technicum de Genève.

621.317.2

Les étudiants des écoles techniques doivent avoir les moyens de vérifier expérimentalement les lois et les méthodes de mesure qui leur sont enseignées; les grandeurs et les coefficients qu'ils auront déterminés eux-mêmes seront fixés dans leur mémoire bien mieux par leurs observations personnelles que par des démonstrations à la planche noire ou des recherches dans des aides-mémoire. Il faut pour cela des laboratoires aménagés spécialement dans un but didactique, sans renoncer pour autant aux dispositifs industriels avec lesquels les futurs techniciens doivent se familiariser.

On arrive, même avec des ressources modestes, à réaliser, dans le domaine des machines électriques, des installations intéressantes. Il importe qu'elles soient adaptées au but poursuivi. C'est ce qu'on a cherché à atteindre au laboratoire du Technicum de Genève, décrit dans ce rapport.

Es ist wichtig, dass der Student die im allgemeinen abstrakten, schwer fassbaren Grundgesetze der Elektrotechnik durch eigene Erfahrung kennenlernt, damit sie ihm in Fleisch und Blut übergehen. Nur dann kann er sie in jedem praktischen Falle richtig anwenden. Dazu sind an den Schulen zweckmässige Laboratorien nötig. Ein gutes Laboratorium braucht nicht teuer zu sein; oft ist eines, das mit wenig Kosten, aber zweckmässig eingerichtet ist, weit fruchtbarer für den Unterricht, als ein reich ausgestattetes. Von ausschlaggebender Bedeutung ist der Geist, der dahinter steht. Im Laboratorium des Technikums von Genf, das im folgenden beschrieben wird, wurde versucht, diese Gedanken zu verwirklichen.