Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115/116 (1940)
Heft: 6

Artikel: Die Wärmepump-Heizung des renovierten zürcherischen Rathauses
Autor: Egli, Max
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-51224

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: 22.07.2025

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

INHALT: Die Wärmepump-Heizung des renovierten zürcherischen Rathauses. — Die neue Kräzernbrücke bei St. Gallen. — Das grosse «nationale Aufbauwerk» der Schweiz. — Mitteilungen: Zum hundertjährigen Bestehen der italienischen Bahnen. Feldmässiges Abstecken von Kreisbogen. Stallüftung. Lastwagenbetrieb mit Benzin, Rohöl und Elektrizität. Bautechnische Kampfmittel. Stosserosion. Die Schiffahrt auf der Rhone. Die Sattelegg-Strasse Willerzell-Vordertal. Weltgewinnung an Kohle. — Nekrologe: Robert J. Steiger. — Literatur.

Band 116 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 6

Die Wärmepump-Heizung des renovierten zürcherischen Rathauses

Von Dipl. Ing. MAX EGLI, Zürich

Der Umbau des zürcherischen Rathauses[1]) und die damit verbundene Einrichtung einer Zentralheizungsanlage stellten eine Reihe von Problemen, die nur durch engste Zusammenarbeit von Architekt und Ingenieur einer befriedigenden Lösung entgegengeführt werden konnten. Das ehrwürdige Staatsgebäude war von jeher ein kunsthistorisches Denkmal und so stand die Erhaltung der vielen darin vorhandenen baulichen Zierstücke an erster Stelle. Die verschiedenen Innenräume besitzen teils kunstvolle Stuck- oder Holzdecken, teils schmuckvoll eingelegte Wandgetäfer, die die Aufgabe stellten, die Heizungs- und Ventilationseinrichtungen ohne irgendwelche Zerstörung oder Verunstaltung dieser Kunstwerke unterzubringen. Liessen sich die Rohrleitungen der Zentralheizung noch grösstenteils ohne besondere Schwierigkeiten zwischen Stütz- und Parkettböden der einzelnen Stockwerke legen, so erforderte die Verlegung der Luftkanäle der Ventilationsanlage in diese Hohlräume schon wesentlich mehr Geschick und war oftmals nicht ohne einschneidende Eingriffe in Gebälk und Mauerwerk auszuführen.

Die grösste Schwierigkeit bestand jedoch in der Unterbringung einer Heizzentrale in einem Gebäude, das weder unterkellert noch mit Nebenräumen irgendwelcher anderer Art versehen war; sie konnte deshalb nur durch den Umbau eines früheren Bureaulokals in einen Maschinenraum behoben werden. Die Schaffung eines Lagerraumes für Brennmaterial jedoch musste aus gleichen Gründen von vorneherein aufgegeben werden. Dadurch schieden alle Heizungsarten für Verfeuerung fester Brennstoffe aus und es blieb als Heizenergie nur noch die Wahl zwischen Heizöl, Leuchtgas und Elektrizität. Gegen die Anwendung einer Oelfeuerung sprachen die Erfahrungen des letzten und die Aussichten in einem neuen Kriege, während gegen die Erstellung einer gasgefeuerten Anlage Bedenken wegen der Flüchtigkeit dieses Brennstoffes bestanden. Nur gegen den Bau einer elektrischen Heizung waren keine grundsätzlichen Einwände vorhanden, doch waren für seine Verwirklichung eine Reihe wirtschaftlicher Schwierigkeiten zu beheben.

Die Hauptnachfrage nach Heizenergie fällt nämlich zusammen mit den Belastungspitzen des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich und zwar sowohl im Verlauf des Tages- als auch des Jahreskonsums, und es würden vor allem die Speicherwerke mit ihren hohen Stromerzeugungskosten zusätzlich belastet, während in Perioden eines erwünschten Belastungsausgleichs fast kein Bedarf an Heizstrom besteht. Aus diesen Gründen ist die von den Elektrizitätswerken im allgemeinen befolgte Ablehnung der ausschliesslichen Stromlieferung für Raumheizzwecke sehr wohl begreiflich, umso mehr, als der Aequivalenzpreis für die abgegebene Energieeinheit von 860 Kal/h gleich 1 kWh einer mit Oel oder Kohlen gefeuerten Heizanlage in normalen Zeiten bei etwa 1,5 Rp. liegt, wogegen der durchschnittliche Jahresverkaufspreis der kWh für die gesamte schweizerische Stromerzeugung 3,5 Rp. ausmacht. Soll aber die elektrische Raumheizung den Ertrag des Stromabsatzes nicht verschlechtern, so darf eben der Strompreis nur im Verhältnis der Absatzzunahme zum bereits bestehenden Absatz unter dem mittleren Verkaufspreis liegen. Für die Verwirklichung dieser Bedingung bietet die elektrische Widerstandsheizung keinerlei Aussichten, indem der Wirkungsgrad derartiger Einrichtungen heute schon so hoch steht, dass selbst bei Behebung sämtlicher Verluste der in Frage stehende kWh-Preis nie erreicht werden kann.

Um den angegebenen Strompreis zu erreichen, musste entweder die Stromlieferung auf die Zeiten billiger Stromerzeugung beschränkt und zusätzliche Energiereserven in Speichern bereitgestellt werden, die während den Perioden hoher Netzbelastung verbraucht werden können, oder es waren unentgeltliche Wärmequellen ausfindig zu machen, deren Energie durch elektrisch betriebene Einrichtungen für Raumheizzwecke verwertbar sind, wobei der Strompreis gegenüber dem Aequivalenzpreis brennstoffgefeuerter Heizungen im Verhältnis der kostenlosen zur zahlenden Energie heraufgesetzt werden kann.

[1]) Dargestellt in Bd. 114, S. 6* (1. Juli 1939) Red.

Im Rathaus Zürich ist durch die Aufstellung eines Heisswasser-Speichers und durch die Errichtung einer Wärmepumpanlage sowohl die eine wie die andere Lösung verwirklicht worden.

Die zur Aufstellung gelangte Wärmepumpe ist ihrer Wirkungsweise nach eine Kompressionskältemaschine, die im Gegensatz zu Kühlanlagen die Wärme aus dem Freien in das Gebäude schafft, indem das Wärme aufnehmende Aggregat ausserhalb des Gebäudes und das Wärme liefernde im Gebäude selbst zur Aufstellung gelangt. Auch bei der Wärmepumpe ist wie bei der Kühlmaschine für die Wärmeabgabe bei höherer Temperatur als derjenigen der Aufnahme die Leistung einer bestimmten Arbeit notwendig, über deren verhältnismässige Grösse die thermodynamische Grundgleichung über den Carnot'schen Kreisprozess, aufgestellt für die Wärmepumpe,

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A\,L} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}\,;\; A\,L = Q_2\,\frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

Auskunft gibt, worin ε die sogenannte Leistungsziffer, $A\,L$ die aufgewendete Arbeit für die Ueberwindung des Temperaturanstieges, Q_2 die von der Maschine abgegebene Wärme, T_1 die Temperatur des Wärmeträgers am Eintritt und T_2 diejenige am Austritt der Maschine bedeuten. Soll also z. B. die Wärme eines Gewässers durch eine Wärmepumpe in einer Warmwasserheizung verwertet werden, so kann T_1 nicht unter dem Gefrierpunkt liegen, also nicht weniger als 273°_{abs} und T_2 höchstens die Siedetemperatur, also $273 + 100^{\circ}_{abs}$ und $T_2 - T_1$ für den verlustlosen Kreisprozess somit nicht mehr als 100° C betragen, wobei das Verhältnis der abgegebenen Wärme zur geleisteten Arbeit im ungünstigsten Falle $\frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3{,}73$ ausmachen würde, was mit der Abgabe von 3210 Kal/kWh gleichbedeutend wäre. Weiter folgt aus der angeführten Beziehung, dass die zu leistende Arbeit $A\,L$ gegenüber der gelieferten Wärmemenge Q_2 umso geringer ist, je näher die Ein- und Austrittstemperaturen des Wärmeträgers beieinander liegen. Würde also die maximale Heizwassertemperatur von 100° auf 50° C herabgesetzt, so würde $T_2 - T_1$ nur 50° C betragen, wodurch die Leistungsziffer ε auf 6,45 und die entsprechende Wärmeausbeute auf 5560 Kal/kWh steigen würde. Das heisst, anders ausgedrückt, die für 1000 Kal Heizwärme durch den Antriebmotor aufzuwendende Arbeit beträgt bei einer Vorlauftemperatur von 50° C 0,180 kWh, während sie bei einer Vorlauftemperatur von 100° C 0,304 kWh betragen würde.

Aus diesen Zahlen geht eindeutig die Wichtigkeit der Niedrighaltung der Vorlauftemperatur für Wärmepumpenbetriebe hervor, wobei es vollständig gleichgültig ist, was für ein Wärmeträger für die Durchführung des Prozesses verwendet wird. Da ferner, wie bereits angedeutet, das Wärmeäquivalent der kWh in einer brennstoffgefeuerten Zentralheizungsanlage ungefähr auf 1,5 Rp. zu stehen kommt, könnte bei einer derartigen Wärmeausbeute für die verbrauchte kWh ohne Erhöhung der jährlichen Heizkosten 8,3 Rp. bezahlt werden. Strompreise dieser Grössenordnung geniessen aber bereits die uneingeschränkte Aufmerksamkeit der Elektrizitätswerke. Leider sind aber die heute erstellten Maschinen noch weit von der Vollkommenheit entfernt, doch hat schon immer eine Hauptaufgabe der Maschinentechnik darin bestanden, Verluste systematisch zu verkleinern. Anderseits zeigen aber die angeführten Zahlen gleichfalls, dass sich die Zentralheizung an die Bedürfnisse des Wärmepumpenbetriebes durch Herabsetzen der Heizwassertemperatur anpassen muss. Nur bei Verbesserung der Verhältnisse nach beiden Richtungen besteht für die elektrische Raumheizung Aussicht auf allgemeine Anwendung.

Die Wirkungsweise einer Wärmepumpe ist in letzter Zeit mehrfach von kompetenter Seite ausführlich geschildert[2]) worden, sodass hier nur ihre Anwendung für die Bedürfnisse des zücherischen Rathauses kurz erläutert werden soll. Da die Erstellung einer umfangreichen Lüftungsanlage für den Ratsaal

[2]) Vgl. u. a. «Schweizer Archiv» 1938, Nr. 11, sowie «SBZ» Bd. 114, S. 11* (1939). Uebrigens in «SBZ» schon 1919, Bd. 73, S. 33* und Bd. 76, S. 107*.

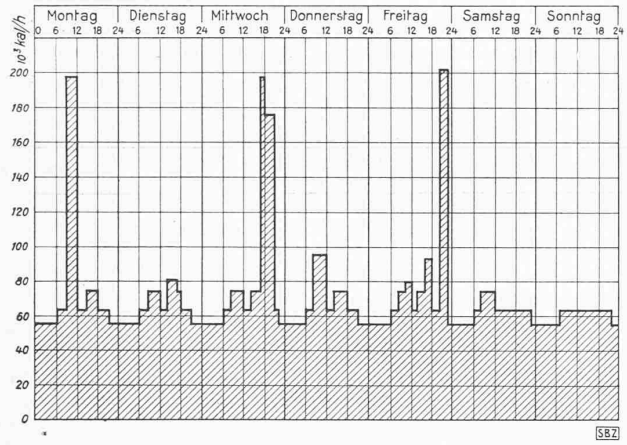


Abb. 2. Wochendiagramm der Heizbelastung bei — 20° Aussentemperatur

als notwendig erachtet wurde, konnten auch die übrigen Sitzungsäle des Gebäudes an diese Einrichtung angeschlossen werden und es lag deshalb nahe, sie als Warmluftheizung auszubilden, während die übrigen Räumlichkeiten wie Bureaux, Hauswartwohnung und untergeordnete Nebenlokalitäten mit einer Radiatorenheizung ausgerüstet werden sollten. Daraus ergab sich eine Anordnung entsprechend Abb. 1.

Der Wärmeträger beschreibt einen geschlossenen Kreislauf durch Verdampfer, Kompressor, Kondensator und Reduzierventil und nimmt dabei im Verdampfer die Wärme Q_1 aus dem mit einer Zentrifugalpumpe durchgepressten Flusswasser auf, während im Kondensator nicht nur Q_1, sondern auch die Kompressorarbeit AL, total also $Q_1 + AL = Q_2$ dem Zentralheizungswasser als Wärme mitgeteilt wird. Dieses strömt in der üblichen Weise durch die Radiatoren. Mit Hilfe des Reduzierventiles werden die Temperaturen des Wärmeträgers so beeinflusst, dass die Wärmeübertragung im genannten Sinne erfolgt. Alle diese Apparate sind im Maschinenraum untergebracht.

Es genügt, vier Dreiweghahnen umzustellen, um das Aggregat als *Kühlmaschine* arbeiten zu lassen, wobei das Flusswasser den Kondensator und das Zentralheizungswasser den Verdampfer durchströmt. Der Lufterhitzer wirkt dann als Luftkühler und die der Frischluft entzogene Wärme wird ans Flusswasser abgegeben.

Die Art der Benützung des Rathauses bringt es mit sich, dass die Belastung starken Schwankungen unterworfen ist, die in Abb. 2 für eine Aussentemperatur von — 20° C dargestellt sind. Es fallen darin hauptsächlich die Spitzen des Montag vormittag, der Benützung des Kantonsratsaales und der dazu gehörenden Nebenräume durch den Kantonsrat entsprechend, die des Mittwoch abend, hervorgerufen durch die Benützung des Kantonsratsaales durch den grossen Gemeinderat, und die des Freitag nachmittag auf, an dem für irgend einen Anlass sämtliche Räumlichkeiten des Rathauses als belegt angenommen sind. In der Nacht sind die Hauswartwohnung und der angeschlossene Polizeiposten mit Wärme zu versorgen. Daneben treten die normalen Tagesbelastungen, verursacht durch die im Rathaus untergebrachten kantonalen Verwaltungszweige, auf. Es lag somit auf der Hand, für die Deckung der drei Hauptspitzen mit einer Gesamtbetriebsdauer von ungefähr 10 bis 12 Stunden pro Woche eine Heizeinrichtung zu wählen, deren Erstellungskosten sich, wenn notwendig selbst zum Nachteil der Betriebskosten, niedrig hielten und deren elektrischer Anschlusswert

Die Wärmepumpanlage im Zürcher Rathaus

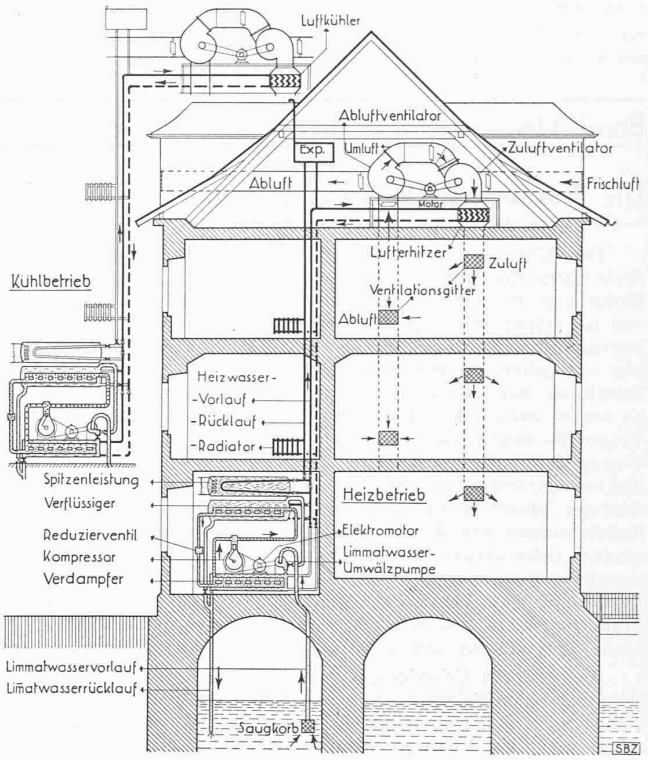


Abb. 1. Schema der Anlage für Heiz- und Kühlbetrieb. — 1 : 250

möglichst klein blieb um nicht unnötige Kosten für die Energiezuleitungen zu verursachen. Diese zwei Bedingungen sind durch die Anwendung eines Heisswasserspeichers erfüllt worden, in dem die über kurze Zeit benötigten, relativ grossen Energiemengen während der längeren Betriebspausen angesammelt und aufgespeichert werden können.

Diese Festlegung des allgemeinen Aufbaues der Heiz- und Lüftungsanlage ermöglichte nun die Bestimmung der Heizkörper und Lufterhitzer unter dem Gesichtspunkt der Erreichung vorteilhaftester Betriebsverhältnisse. Der Herabsetzung der Vorlauftemperatur für den Lufterhitzer stand theoretisch nichts im Wege, während die max. Grösse der Heizkörper durch die Abmessung der Fensternischen vorausbestimmt war. Da unter den bekannten Heizkörpern die Blechradiatoren pro Volumeneinheit die grösste Oberfläche aufweisen, ohne auch für grössere Leistungen den Eindruck der Schwerfälligkeit zu erwecken, wurde

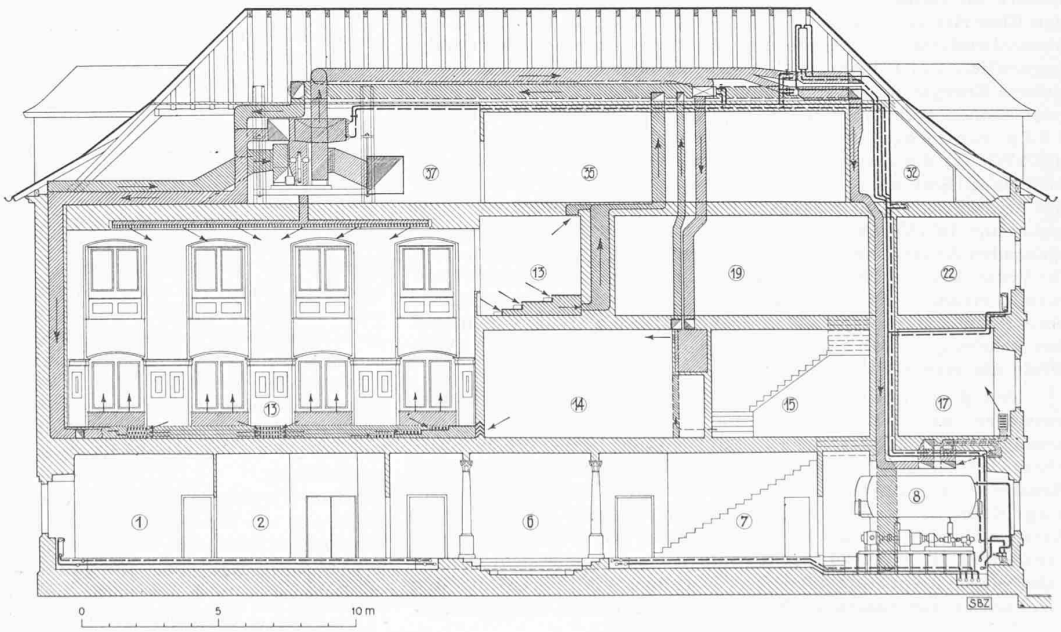
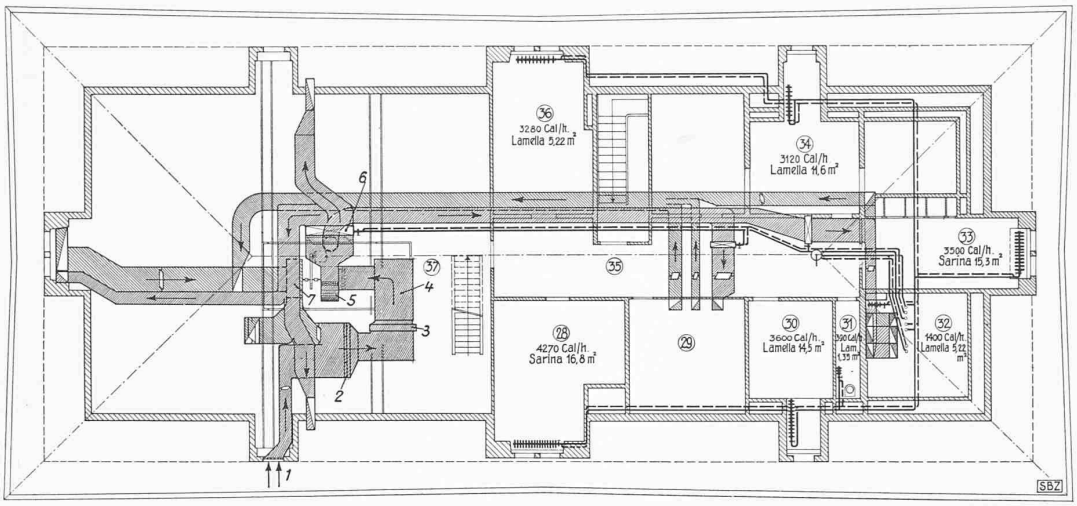
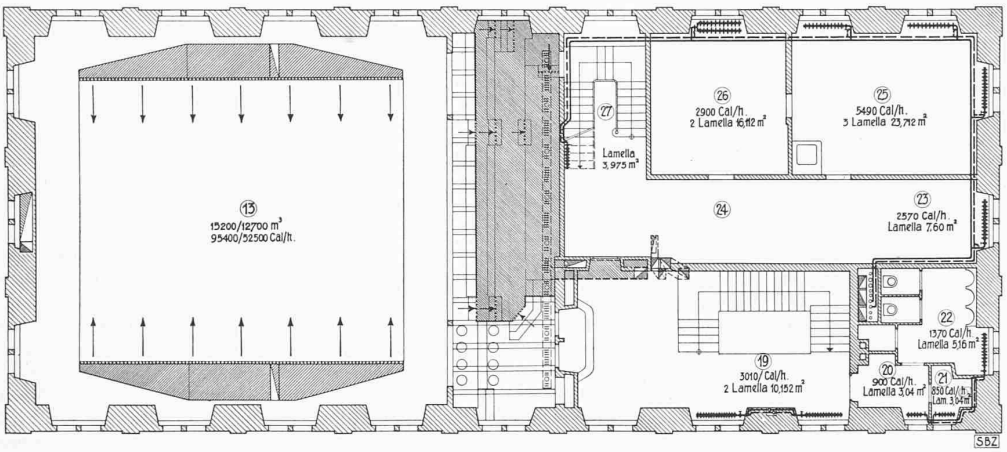
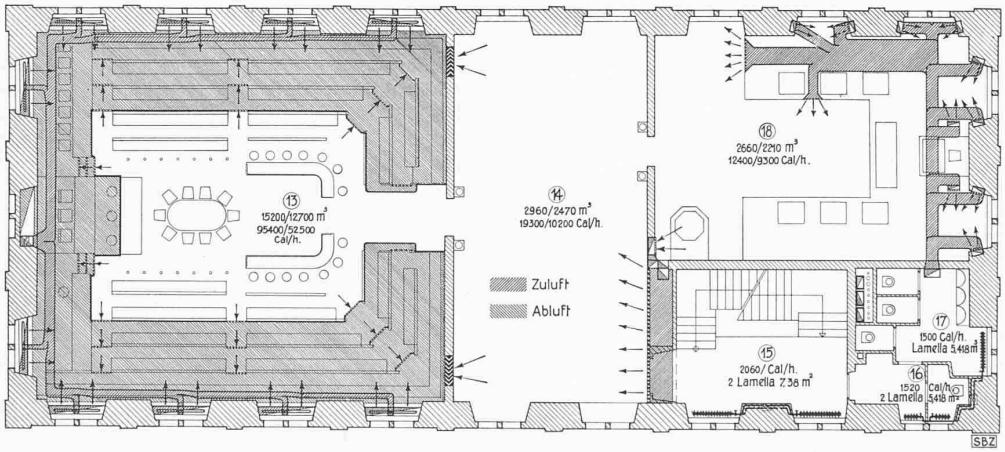
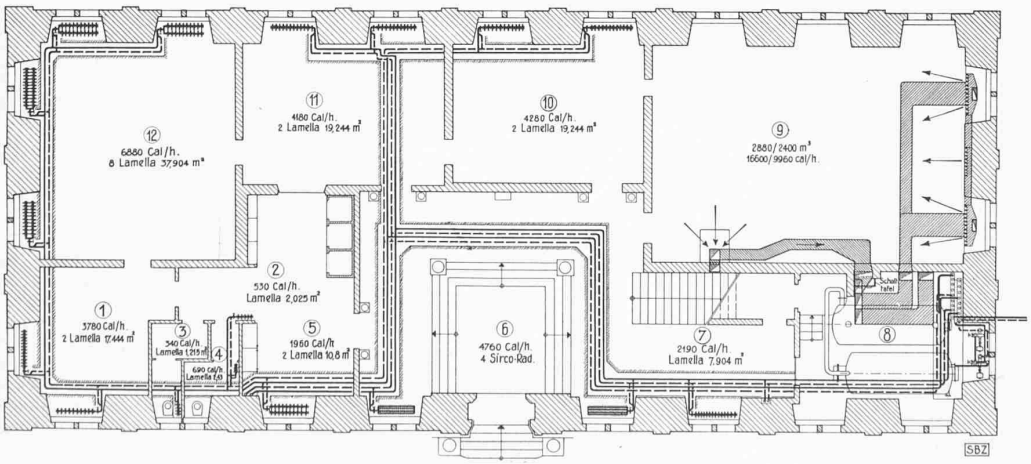


Abb. 7. Leitungs- und Kanalführung im Zürcher Rathaus. — Abb. 1 und 3 bis 7 im Masstab 1 : 250









aus dieser Gruppe der Typ Lamella als der zweckmässigste gewählt, und dadurch die Beschränkung der maximalen Heizwassertemperatur auf 60 °C ermöglicht.

Mit der Festlegung der maximalen Vorlauftemperatur des Zentralheizungs-Wassers waren alle übrigen Ausmasse der Zentralheizungs - Anlage bestimmt. Die Ausführung selbst unterscheidet sich ausser den grösseren Rohrdimensionen und Heizflächen durch nichts von einer üblichen Anlage. In Abb. 3 bis 7 ist diese dargestellt. Sie weist untere Verteilung auf und ist infolge der Zuteilung der einzelnen Bureauräumlichkeiten an die verschiedenen Dienstzweige stockwerkweise abstell- und entleerbar. Ueberdies ist die Gruppenzusammenfassung streng nach der Benützungsdauer der einzelnen Räumlichkeiten gerichtet, und weist mit Ausnahme der Nebenräume automatische Programmsteuerung auf. Im Erdgeschoss befindet sich die Heizzentrale mit der Wärmepumpe und dem Heisswasserspeicher. Als einziger Raum dieses Stockwerkes weist der Ehrensaal 9 Warmluftheizung auf und ist somit im Sommer kühlbar. Dabei wird die Zuluft über zwei Fensterbogen so tief unter der Decke eingeblasen, dass Zugerscheinungen durch Wirbelbildung an ihren Stuckfiguren mit Sicherheit vermieden werden, während die Abluft unter dem aus dekorativen Gründen aufgestellten Kachelofen abgesaugt wird. Die Einhaltung konstanter Innenraumtemperatur ist sowohl für Heiz- wie

Abb. 3 bis 6. Grundrisse mit Leitungs- u. Kanäle-Führung. Die Ziffern im Kreis bezeichnen die Räume, vgl. Längsschnitt. Legende: 1 Frischluft-eintritt, 2 Filter, 3 Vorwärmer, 4 Luftbefeuchter, 5 Zuluft-Ventilator, 6 Lufterhitzer, 7 Abluft-Ventilator

für Kühlbetrieb durch ein und denselben Thermostaten gewährleistet. Im Sitzungsraum 12 sind die Fensternischen als Sitzbänke ausgebildet, in denen je zwei parallel geschaltete Heizkörper unsichtbar untergebracht sind. Dagegen sind die Sitzbänke der Eingangshallen mit je einem Sirco-Konvektor ausgerüstet. Im ersten Stock befinden sich der Kantonsratsaal 13, der heute als Ausstandsraum für Fraktionsberatungen dienende ehemalige Regierungsratsaal 17 und das zwischen beiden liegende Vestibül 14. Alle diese Räume weisen Luftheizung auf und sind deshalb auch kühlbar. Dabei wird die Frischluft im Kantonsratsaal durch einen abgesetzten Deckenfries im Gegenstrom horizontal eingeblasen, während die Abluft unter den amphitheatralisch angeordneten Sitzbänken abgesaugt wird. Um an den unmittelbar hinter den Fenstern angeordneten Sitzplätzen die Kältewirkung des Glases zu vermindern, wird von unten warme Luft an die Innenseite der Fenster geblasen. In dem früheren Sitzungsaal des Regierungsrates 18 zwang die architektonische Ausschmückung des Raumes zur Zulufteinführung unter den Fenstern; es haben sich aber trotz dieser Anordnung selbst beim Aufenthalt in diesen Nischen nie Zugerscheinungen bemerkbar gemacht. Alle Luftkanäle sind zwischen Stütz- und Parkettboden gelegt, und die Abluft wird hinter dem ausser Betrieb gesetzten Kachelofen abgesaugt. Im zweiten Stock liegt die Tribüne des Kantonsratsaales, deren Entlüftung unabhängig von derjenigen des Saales erfolgt. Die übrigen Räumlichkeiten dieses Stockwerkes sind mit Radiatorenheizung ausgerüstet. Schliesslich sind im Dachgeschoss noch die mit Radiatorenheizung versehene Hauswartwohnung und die Maschinen der Ventilationsanlage untergebracht. Zur Vermeidung der Schallübertragung an die Decke des Kantonsratsaales ist diese Maschinengruppe an eisernen Böcken aufgehängt, die sich auf die Aussenmauern abstützen. Alle Steigkanäle und Leitungen sind in einem eigenen Schacht von der Heizzentrale aus hochgeführt, während die horizontalen Kanalleitungsverbindungen zur Ventilationsanlage ins Kehlgebälk verlegt sind. Auf diese Weise war es möglich, die gesamte Heizungs- und Lüftungsanlage mit Ausnahme der Heizkörper der Nebenräume für den Besucher unsichtbar zu gestalten.

Zwecks Abschlusses eines Energielieferungsvertrages ohne Ersatzmöglichkeit mit Brennstoffbetrieb für diese Heizanlage war die Vorausberechnung des äquivalenten kWh-Preises notwendig. Dieser kann auf graphischem Wege entsprechend dem in Abb. 8 dargestellten Diagramm mit genügender Genauigkeit ermittelt werden. Kurve a stellt die mittlere Tagestemperatur, Kurve b diejenige des Limmatwassers in Funktion der Tagzahl dar. Ausgehend von 3° C als tiefstem Wert und endigend bei 14° C als höchster Temperatur bei Heizbetrieb wurde dieser mangels zuverlässiger Aufzeichnungen als linear angenommen. Die Innentemperatur c wurde zu 18° C über die ganze Heizperiode konstant gewählt. Aussentemperatur und Heizflächen bestimmen die Kurve der Vorlauftemperaturen d, und diese zusammen mit der Limmatwassertemperatur c den Verlauf der Leistungszahl als Kurve e. Die Kenntnis der zu liefernden Wärmemenge und der spezifischen Antriebleistung ergibt die Kurve f der Antriebleistung. Somit gibt die zwischen a und c liegende Fläche die zu liefernde Wärmemenge und die zwischen f und c liegende Fläche die dafür aufzuwendende Antriebarbeit an. Wird diese Verhältniszahl mit den entsprechenden Wirkungsgraden multipliziert, so ist der für die kWh zu bezahlende Preis für äquivalente Betriebskosten gegenüber einer entsprechenden brennstoffgefeuerten Anlage festgelegt. Im vorliegenden Fall ergab sich gegenüber einer Heizungsanlage mit automatischer Oelfeuerung eine Leistungszahl ε von 1860 kal/kWh und somit für die Preisbestimmung der kWh 2360 kal/kWh.

Die Maschinenanlage der Wärmepumpe (siehe Abb. 9) besteht aus einem Elektromotor, der am einen Wellenende über ein Uebersetzungsgetriebe zwei Zentrifugalpumpen und am andern einen Rotationskompressor antreibt. Eine dieser Zentrifugalpumpen fördert Limmatwasser durch den Verdampfer, während die andere einem Behälter Zentralheizungswasser entnimmt, es durch den Verflüssiger umwälzt und wieder in den

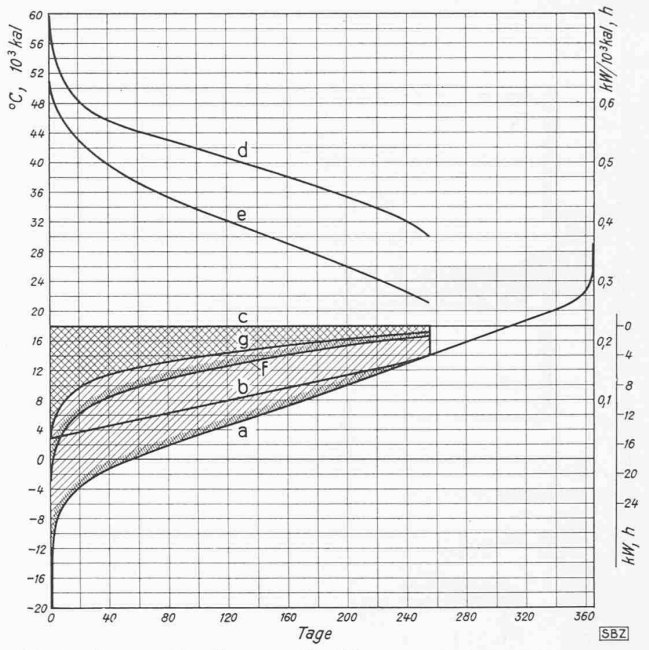


Abb. 8. Strompreisbestimmung für Wärmepumpanlagen
Legende: *a* Häufigkeit der Aussentemperatur, *b* dgl. der Flusswassertemperatur, *c* Innentemperatur, *d* Heizwassertemperatur, *e* spez. Antriebleistung, *f* abs. Antriebleistung, *g* zugeführte Arbeit

Behälter zurückgibt. Der Kreislauf des Wärmeträgers ist früher beschrieben worden. Bei diesem wird das aus dem Kompressor mitgerissene Oel im Verflüssiger ausgeschieden und fliesst über einen Oelabscheider wieder in die am freien Ende der Kompressorwelle angebrachte Druckpumpe zurück. Je ein Sicherheitsmanometer zeigt den Zustand des Wärmeträgers vor und nach dem Kompressor an und schaltet bei Ueberschreiten der Maximalwerte die Anlage aus. Eine besondere Einrichtung sorgt für die dauernde Füllung der Limmatwasserleitung derart, dass bei Druckabfall in der Leitung ein durch ein Vakuummeter gesteuertes Wasserventil einen die Luft absaugenden Injektor in Betrieb setzt.

Der verwendete Wärmeträger ist Dichlordifluormethan CF_2Cl_2, handelsüblich kurz als Freon 12 oder Frigen[3]) bezeichnet, eine ölartige Flüssigkeit mit einem spezifischen Gewicht als Flüssigkeit von 1,4, einem Dampfdruck von 3,14 ata bei

[3]) Vgl. «SBZ» Bd. 115, S. 263 (8. Juni 1940).

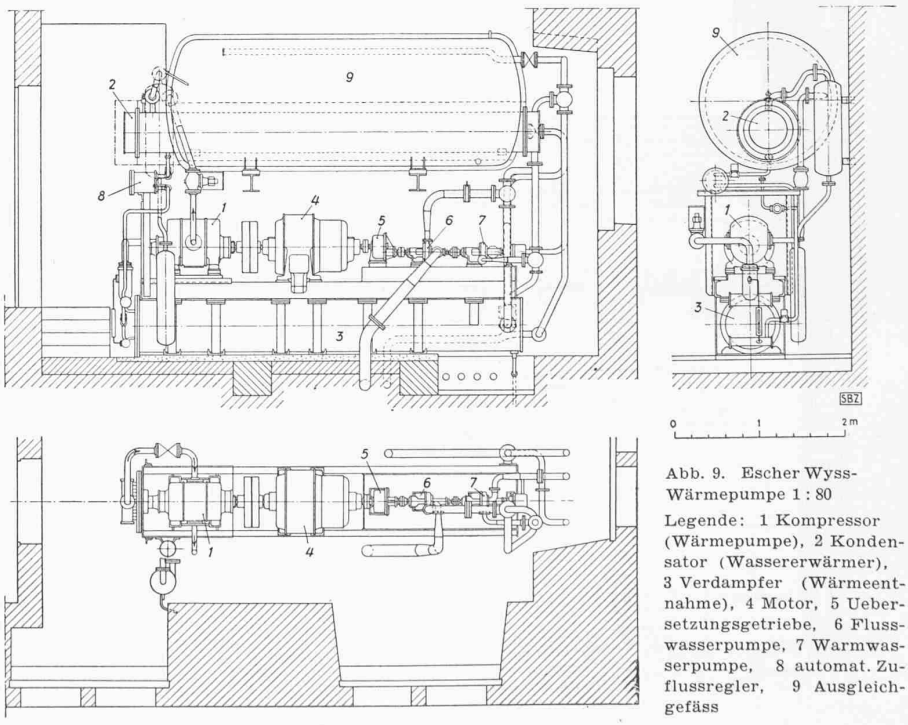


Abb. 9. Escher Wyss-Wärmepumpe 1 : 80
Legende: 1 Kompressor (Wärmepumpe), 2 Kondensator (Wassererwärmer), 3 Verdampfer (Wärmeentnahme), 4 Motor, 5 Uebersetzungsgetriebe, 6 Flusswasserpumpe, 7 Warmwasserpumpe, 8 automat. Zuflussregler, 9 Ausgleichgefäss

Wärmepumpanlage im Zürcher Rathaus, gebaut von Escher Wyss, Zürich

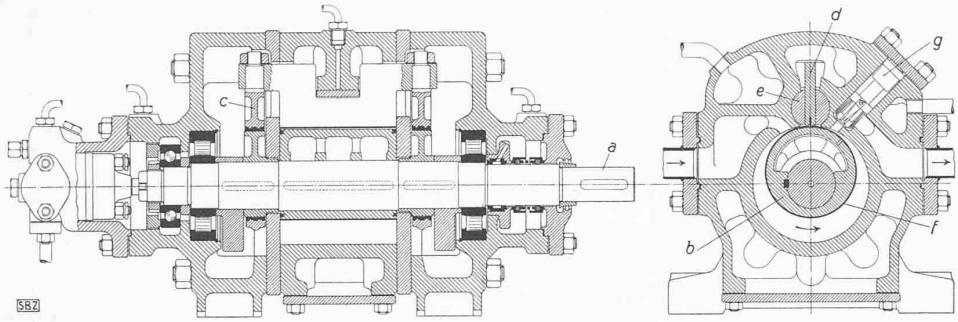


Abb. 12. Rotationskompressor Patent Escher Wyss (Legende im Text) Masstab 1 : 10

0° C und einer Verdampfungswärme von 37 kal/kg bei 0° C. Als Gas hat dieser Stoff gegenüber den bekannten Wärmeträgern wie Kohlensäure, schweflige Säure und Ammoniak den Vorteil vollständiger Geruchlosigkeit und Druckbeständigkeit, er ist überdies ungiftig. Der Antriebmotor ist ein Asynchronmotor mit Kurzschlussanker und Zentrifugalanlasser. Er leistet maximal 56 PS und läuft mit 580 U/min, während die Drehzahl der beiden Zentrifugalpumpen 2400 U/min beträgt, wobei die Flusswasserpumpe 8 l/s und die Heizwasserpumpe 3,6 l/s fördert. Auf der Wärmeträgerseite ist zwischen Verdampfer und Kompressor ein Ventil angebracht, durch das die Dampfnässe in gewissen Grenzen reguliert werden kann und zusammen mit dem auf der Druckseite angebrachten Schieber den Ausbau des Kompressors ohne Entleerung der Anlage erlaubt. Auch bei diesen Rohrleitungen ist grösster Wert auf genügende Querschnitte und kontinuierliche Querschnittveränderungen gelegt worden. Da Freon überdies ein leicht flüchtiger und Metalle leicht durchdringender Wärmeträger ist, dessen Vorhandensein äusserst schwer feststellbar ist, liegt die Hauptschwierigkeit in der Herstellung absolut dichter Verbindungen.

Verdampfer und Verflüssiger zeigen die Abb. 10 und 11. Das Rohrschlangensystem des Verdampfers, bestehend aus zehn gleichen, dreifach gebogenen Siederohren, ist in einem zylindrischen Gefäss, eine elastische Blechkonstruktion zur Aufnahme der Volumenausdehnung des Eises enthaltend, untergebracht und ohne jegliche feste Verbindung auf eine 10 cm Korkplatte abgestützt. Seine Oberfläche erlaubt bei einer Abkühlung des Wassers um 1,5° C und einer Temperaturdifferenz von 5° C eine Wärmemenge von 70 000 kal/h zu übertragen. Der Verflüssiger besteht aus 48 parallelen Rohren, die vom Heizwasser in dreifachem Weg durchflossen werden. In der Mitte dieses Behälters ist ein prismatischer Oelabscheider aufgehängt, in dem durch Umlenkbleche das Oel von dem Freon getrennt wird, um nachher in einer besondern Rohrschlange rückgekühlt zu werden. Eine 4 cm dicke Korkschicht schützt den Verflüssiger gegen Wärmeverluste, während der Verdampfer zur Erhöhung seiner Masse und entsprechender Verminderung der Vibrationen mit einem prismatischen Betonblock umgossen wurde.

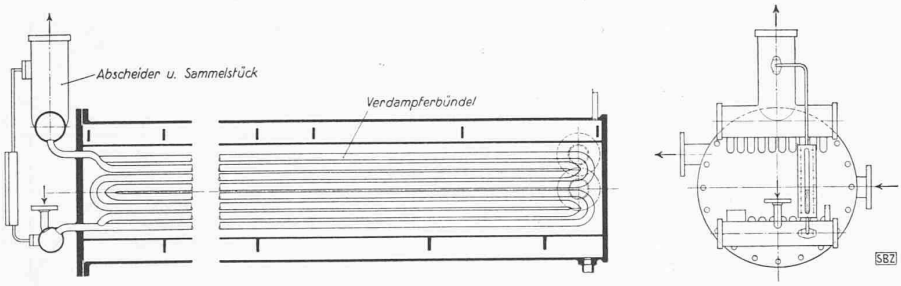


Abb. 10. Verdampfer (Ziffer 3 in Abb. 9) Masstab 1 : 30

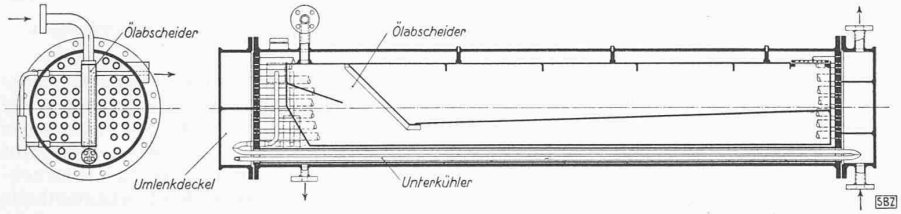


Abb. 11. Verflüssiger (Wärmeentnahme, Ziffer 2 in Abb. 9) Masstab 1 : 50

Der in Abbildung 12 dargestellte Kompressor ist eine Ausführung mit umlaufendem Verdränger. Auf der Welle ist ein Zylinder exzentrisch aufgekeilt, der in einer zur Welle a konzentrischen Bohrung rotiert. Ein von zwei Pläueln c in einer Nuss e bewegter Schieber d bewirkt gasdichte Trennung zwischen Saug- und Druckkammer, in dem er dauernd gegen eine auf den Zylinder b lose aufgeschobene, leicht deformierbare und mit reichlich Schmieröl versorgte Büchse f presst. Ein Druckventil g wirkt gleichzeitig als Ueberströmventil. Am Blindwellenende ist eine Zahnradölpumpe aufgeflanscht. Das Gehäuse des Kompressors ist wassergekühlt und zur Erzielung möglichst weitgehender Geräuschlosigkeit sehr schwer konstruiert, sodass die Lautstärke dieser Maschine 30 Phon nicht übersteigt.

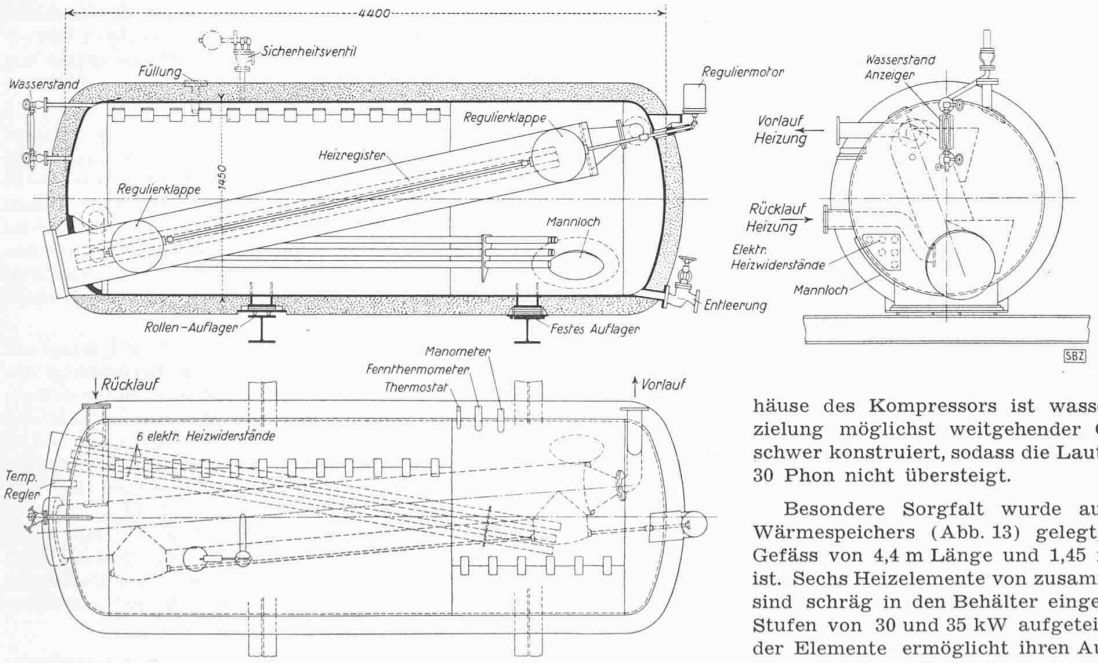


Abb. 13. Heisswasserspeicher (neben Ziffer 9 in Abb. 9) Masstab 1 : 50

Besondere Sorgfalt wurde auf die Ausbildung des Wärmespeichers (Abb. 13) gelegt, der als zylindrisches Gefäss von 4,4 m Länge und 1,45 m Durchmesser gebaut ist. Sechs Heizelemente von zusammen 65 kW Heizleistung sind schräg in den Behälter eingeführt und in die beiden Stufen von 30 und 35 kW aufgeteilt. (Die Schrägstellung der Elemente ermöglicht ihren Ausbau durch die Heizraumtüre ohne Verschieben des Behälters.) Ein aus 36

parallelen Siederohren von 15 mm Durchmesser bestehendes, von Zentralheizungswasser durchflossenes Heizregister ist von einem Zirkulationsrohr umgeben und gleichfalls derart eingesetzt, dass es bei geringer Drehung des Speichers durch die Montagetüre des Heizraumes ausgezogen werden kann. Bei Belastung der Heizelemente steigt das sie umgebende Wasser infolge Abnahme seines spezifischen Gewichtes auf, wogegen aus dem Zirkulationsrohr das am Heizregister abgekühlte Speicherwasser an diese Stelle nachströmt, und es entsteht eine ausreichende, natürliche Zirkulation im Speicher. In diesem kann bei einem Betriebsdruck von 10,7 atü und einer Vorlauftemperatur des Zentralheizungswassers von 60° C eine ausnützbare Wärmemenge von 600 000 kal aufgespeichert werden, die bei der Wärmeabgabe eine Leistung von 150 000 kal/h gestattet. Der Ladevorgang wird durch das den Speicher durchfliessende Zentralheizungswasser nicht wesentlich beeinflusst.

Die Temperaturregulierung der gesamten Wärmepumpanlage erfolgt automatisch von einem Thermostaten aus, dessen Temperaturfühler unmittelbar nach dem Wärmespeicher in den Vorlaufstutzen des Zentralheizungswassers eintaucht. Ist die Temperatur des Zentralheizungswassers niedriger als die Einstellung, so wird zunächst die Wärmepumpe eingeschaltet. Wenn nach Ablauf einer einstellbaren Zeit der Wärmebedarf immer noch grösser ist als die Wärmelieferung, so öffnet ein Motor die Drosselklappen am Zirkulationsrohr des Wärmespeichers, bis dort eine genügende Zirkulation zur Deckung des Wärmemangels entsteht. Bei abnehmendem Wärmeverbrauch spielt sich der umgekehrte Vorgang ab. Die beiden Stufen des Heizwiderstandes mit den Leistungen 30 und 35 kW sind gegenseitig derart verriegelt, dass beim Lauf der Wärmepumpe nur 35 kW, beim Stillstand derselben jedoch 65 kW Heizleistung eingeschaltet sind, wodurch der Anschlusswert stets voll ausgenützt, aber nie überschritten wird. (Schluss folgt)

Die neue Kräzernbrücke bei St. Gallen

Von MAX MEYER-ZUPPINGER, Chefingenieur der Firma Ch. Chopard, Zürich (Fortsetzung von S. 51)

II. Die statische Berechnung

a) Die Bogenform

Die Vorstudien hatten bestätigt, dass die parabelförmige Zwillingsbogenrippe mit hochstehendem Querschnitt die wirtschaftlichere Lösung gegenüber der liegenden Bogenrippe oder gegenüber einem gewöhnlichen, 10 m breiten Gewölbe darstellt; die Kosten verhalten sich wie 1 : 1,38 : 1,56; dabei wurde das ganze Los II, und nicht nur die Bogentragkonstruktion, in den Rahmen des Kostenvergleichs einbezogen.

Abgesehen davon, dass der hochgestellte Zwillingsrippenbogen weniger Beton bedarf, als das ihm entsprechende Gewölbe, ist er bezüglich Drucklinien-Exzentrizitäten viel weniger empfindlich; im vorliegenden Fall war diese Ueberlegung ausschlaggebend mit Rücksicht auf das sehr ungünstige Verhältnis $l/L = 1/6{,}7$ bis $1/7$ (l = Fahrbahn-Stützweiten, L = Bogenstützweite).

Bei den meisten ausgeführten Brücken ist $l/L = 1/13$ bis $1/17$, bei ganz neuen Brücken $1/11$ bis höchstens $1/10$ (Landquartbrücke in Klosters)[2]). Die Kräzernbrücke geht in diesem Verhältnis weiter als jeder bisherige Brückenentwurf, und entsprechend weisen die Eigengewichtsrandspannungen einen stark betonten wellenförmigen Verlauf auf, als Folge der um die Bogenaxe pendelnden Drucklinie (s. Abb. 4a). Ausschlaggebend für den Entschluss $l/L = 1/7$ zu wählen, war neben dem ästhetischen Moment (und trotz des dadurch schwierig werdenden Spannungsausgleiches in den Bogen) die auf 19,0 bis 21,0 m berechnete wirtschaftliche Stützweite l der Fahrbahnkonstruktion.

Es gibt zwei Mittel, um den wellenförmigen Verlauf der Gewölberandspannungen auszuglätten. Durch parabolisch begrenzte obere Druckplatten zwischen den Null-Punkten der Drucklinie (siehe Abb. 4a), die unter den Säulenfüssen so breit werden wie der lichte Rippenbogenabstand, lassen sich die Spannungsspitzen an diesen Orten stark vermindern. Zweitens können durch eine der Drucklinie aus Eigengewicht folgende Gewölbeaxe theoretisch Spannungen erzielt werden, die einen Verlauf wie die σ_s der Abb. 4g und 4f zeigen. Beide Vorschläge wurden teils aus ästhetischen, teils aus praktischen Gründen abgelehnt.

Durch eine Parabel 4. Grades und eine entsprechend gelegte Bogenaxe konnte ein Spannungsverlauf nach Abb. 4f erzielt werden. Ursprünglich waren die Bedingungen des Dreigelenkbogens nahezu erfüllt und diese Bogenaxe wurde vom Experten

[2]) Siehe Tabelle S. 66, Anmerkung.

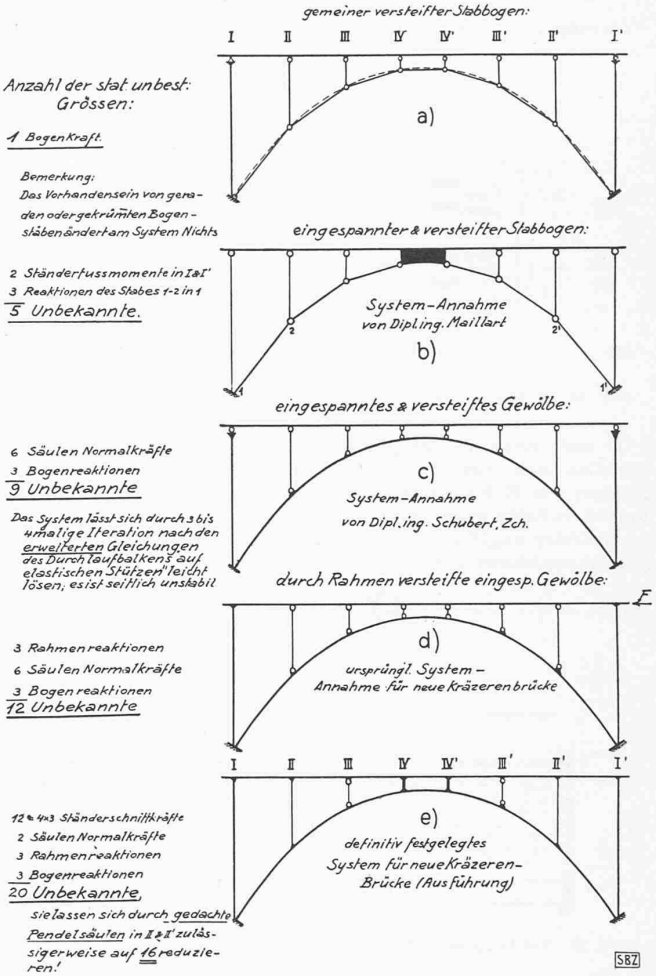


Abb. 9. Annahmen des Zusammenwirkens von Bogen und Fahrbahn

als sehr günstig bewertet. Eine relativ kleine Gewichtsvermehrung in der Scheitelpartie, infolge der dort (als Ergebnis der genauen Berechnung mit Berücksichtigung des Mitwirkens der Fahrbahn) notwendig gewordenen Kanalplattenverstärkung, ergibt endgültig die Bedingungen des Zweigelenkbogens für die Drucklinie aus Eigengewicht nach der üblichen Rechnungsmethode (s. Abb. 4f). Um zu diesem Ergebnis zu gelangen, muss man allerdings die Auflagerkräfte aus der Fahrbahn als solche einer Folge von einfachen Balken berechnen und muss das gesamte aus der Konsole kommende Gewicht allein den Säulen I bzw. I' zuweisen, ohne Berücksichtigung der Zusatzauflagerkräfte aus dem Konsolenmoment. Die Willkür, die der sog. «üblichen Berechnungsweise» eigen ist, ist offensichtlich.

Die wirklichen Drucklinienverhältnisse können nach dieser Methode nicht errechnet werden und so zeigt sich, dass trotz des ursprünglich guten Randspannungsausgleiches, die *wirklichen* Randspannungen ungünstiger verlaufen (Abb. 4g). Durch weitere, umfassende Neuberechnungen könnten sie noch etwas verbessert werden, indem z. B. im Viertel die Parabel 4. Grades der Gewölbeaxe 1 bis 2 cm höher gelegt würde; praktisch und wirtschaftlich liessen sich aber solche Berechnungen nicht verantworten.

Wir unterlassen es, hier von uns abgeleitete und integrierbare Formeln für eine Bogenaxe 4. Grades zur Berechnung der statisch unbekannten Bogenkräfte und Momente zu veröffentlichen, umsomehr, als Prof. Dr. M. Ritter dies in umfassender Weise, mit Einschluss der Knickprobleme, bereits getan hat[3]). Wir weisen nur darauf hin, dass eine mathematische Behandlung dieser Aufgabe für Gewölbe von grossen Spannweiten die richtige ist; man wird deshalb — im Tausch gegen etwas ungünstigere Randspannungsverhältnisse — mit Nutzen eine leicht integrierbare Gewölbeaxenfunktion wählen müssen; dies hat auch den wesentlichen Vorteil, dass für die untere Gewölbeleibung Gleichungen zu deren Berechnung mit Rücksicht auf das Lehrgerüst leicht gefunden werden können.

[3]) Siehe die Festschrift «Die E. T. H. dem S. I. A. zur Jahrhundertfeier», Zürich 1937, Seite 97 ff.