

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 77 (1959)  
**Heft:** 19

**Artikel:** Die Klimatisierung des Kunsthause Zürich  
**Autor:** Häusler, Walter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-84249>

#### **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:** 02.02.2026

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

ausschliesslich darum handelt, Licht und Schatten gegenseitig so auszuwerten, dass die beste plastische Wirkung entsteht. Hier ist äusserste Zurückhaltung, wie voller und intensiver Lichteinsatz gleicherweise notwendig. Sind doch dem Bildhauer oder dem Gestalter in der Art des Werkstoffes oder dessen Behandlung keine Grenzen gesetzt. Reliefs mit oft nur eingravierten Linien sollten mit einem sehr kleinen Einfallswinkel direkt und tiefstrahlend beleuchtet werden, um kleinste Formnuancen hervorzuheben. Rundplastiken hingegen verlangen oft einen Einfallswinkel bis zu 60°, der breiterstrahlend und diffuser wirken darf. Die oft daraus resultierenden Schlagschatten sind mit einer Allgemeinbeleuchtung aufzuhellen oder durch die Reflexion von Wänden und Böden zu mildern. Rundplastiken sind besser zu erfassen, wenn sie nicht zu nahe an einer Wand stehen. Besonders bei dunklem Material kann eine helle Wand als Hintergrund die plastische Formgebung auflösen. Es kommt wie bei den Gemälden zu einer äusserst störenden Relativblendung. Die Ausnutzung der Helligkeitsdifferenz zwischen Plastik und Wand ergibt einen räumlichen Effekt, der die mögliche Wichtigkeit einer Figur unerhört zu steigern vermag. In den meisten Fällen ist jedoch eine Aufhellung der Wand nicht erwünscht. Sie ist nur da notwendig, wo eine silhouettenhafte Wirkung angestrebt ist.

Auch ein «Danebengehen» mit Licht kann zu sehr interessanten Lösungen führen, besonders dann, wenn eine weichere und eher indirekte Anstrahlung vorgezogen wird. Für hochglanzpolierte Metallkonstruktionen beispielsweise kann diese Beleuchtungsart im Hinblick auf die stark reflektierenden Flächen sogar die einzige Möglichkeit werden. Bei allen erwähnten Massnahmen ist von allzu theatralischen Lichteffekten abzusehen, denn nichts kann eine Skulptur derart verderben, wie die Verzerrung durch Licht und Schatten.

Im Neubau des Kunsthause sind 2 m über der Staubdecke 392 Fluoreszenz-Leuchten mit je 2 General-Electric-Lampen cool white de Luxe zu 40 Watt in 8 Reihen an die Deckenkonstruktion montiert (Position a in Schnitt auf Seite 285). Sie sind alle mit 3 Lampen bestückbar für eine eventuell später erwünschte Erhöhung der Beleuchtungsstärke,

und sie sind in 3 Stufen schaltbar. Die Reflektoren in Aluminite-Hochglanz sind anodisch oxidiert und verschliessen den Gerätekästen mit wegnehmbaren Rädern. Überall wurden induktive Leuenberger-Vorschaltgeräte mit Watchdog-Sicherheitsstarter verwendet. Die ganze Anlage ist zentral kompensiert und dank der begehbarer Rasterdecke mühelos von unter her bedienbar.

Die Rasterdecke besteht aus einer Rahmenkonstruktion mit bündig eingelegten Weidmannrastern, alle im gleichen Format 115,4 × 63,9 × 5,3 cm. Sie sind in weiss durchscheinende Polystyrol-Einheiten verschweisst und mit pyramidenförmig geriffelten klaren Plexigläsern abgedeckt. 250 Stück davon sind mit je einer Spotleuchte (b im Schnitt S. 285) in beweglicher und feststellbarer Kugellagerführung versehen und können mit wenigen Handgriffen zum Einsatz kommen. Der Einfallswinkel auf das Ausstellungsgut wird durch Hochheben einer Nachbarplatte kontrolliert; auf die gleiche Weise lässt sich die Sichtverbindung mit dem Ausstellungs-Gestalter ermöglichen.

Alle Spotleuchten sind mit General-Electric-Lampen zu 150 Watt/115 Volt ausgerüstet und in 4 Typen mit unterschiedlicher Lichtverteilung eingesetzt: Projektor Spot, Projektor Flood, Reflektor Spot und Reflektor Flood. Da für die Ausstellungen nicht immer alle Spotleuchten zum Einsatz kommen, werden sie zum Teil samt den Rasterplatten herausgenommen und gelagert. Die ganze Beleuchtungsanlage ist äusserst zweckmässig, leicht bedienbar und rasch einzusetzen. Die mittlere Beleuchtungsstärke beträgt 300 Lux und erreicht durch die Spotleuchten Spitzen bis zu 700 Lux. Alle die im Altbau so störenden Umtriebe, wie das Überklettern von Konstruktionen und Storenführungen und das gefährliche Gehen auf der federnden Eisenkonstruktion zwischen den bruchempfindlichen Gläsern ist glücklicherweise hier nicht mehr notwendig. Man geht sicher über die Staubdecke, alles ist leicht zugänglich und bequem zu reinigen. Dieser Saal im Erweiterungsbau des Zürcher Kunsthause dürfte als gutes Beispiel für den Bau neuzeitlicher Museen oder Galerien dienen, möge ihm ein reges Interesse und viel Erfolg beschieden sein.

A. Bühler, Novelectric AG., Zürich

## Die Klimatisierung des Zürcher Kunsthause

DK 628.8:727.7

Von Walter Häusler, Ingenieur S. I. A., Zürich

### 1. Aufgabenstellung

Das Kernstück des von den Architekten Gebr. Pfister, Zürich, gebauten und im vergangenen Sommer beendeten Erweiterungstraktes des Kunsthause (Bild 1\*) bildet der Ausstellungssaal. Er weist mit einer Länge von 70 m und einer Breite von 18 m ein beträchtliches Ausmass auf. Die gesamte Deckenfläche von 1260 m<sup>2</sup> samt dem darüber befindlichen Dach ist lichtdurchlässig gebaut. Dazu kommen rund 168 m<sup>2</sup> Fensterfläche an den Längswänden. Mit der Lichtflut strahlt an schönen Sonnentagen naturgemäss auch eine gewaltige Menge Sonnenwärme ein, so dass der Saal praktisch einem Treibhaus gleicht. Solche Zustände würden die Durchführbarkeit von Ausstellungen im Sommer sowie an klaren Tagen während den Übergangszeiten stark einschränken. In Erkenntnis dieser Sachlage hat sich die Baukommission entschlossen, der Bauherrschaft die Klimatisierung zu empfehlen. Der Vorschlag wurde vom Stifter, E. G. Bührle, in grosszügiger Weise gutgeheissen.

Die inzwischen ausgeführte und seit Frühsommer 1958 im Betrieb stehende Klimaanlage dient der Klimatisierung des Ausstellungssaales sowie eines im Erdgeschoss befindlichen Vortragssaales von 21 × 18 m, also 378 m<sup>2</sup> Grundfläche (Bild 2)\*\*. Im Ausstellungssaal schafft die Klimatisierung ein für das Ausstellungsgut zuträgliches und für die Besucher angenehmes Raumklima. Im Vortragssaal, der für Theatervorstellungen, Vorträge und andere Anlässe bestimmt ist, also zeitweise starke Menschenansammlungen

aufweist, übernimmt die Klimatisierung die Aufgabe, angemessen konditionierte Luft zuzuführen, die verbrauchte Luft abzuführen und damit die für den längeren Aufenthalt nötige Behaglichkeit zu gewährleisten.

Neben dem Vortragssaal befindet sich ein Restaurant mit im Untergeschoss liegender Küche, deren Ausbau durch Architekt R. Zürcher, Zürich, erfolgt ist und vor kurzem beendet wurde. Beide Räumlichkeiten sind mit leistungsfähigen Lüftungsanlagen ausgerüstet, und zwar nicht nur aus hygienischen Gründen, sondern auch zum Verhüten von Geruchsübertragung in die Ausstellungs- und Vortragssäle.

### 2. Kühllast

Das Hauptproblem bestand in der Ermittlung der zu deckenden Kühllast des grossen Ausstellungssaales. Wie schon gesagt, besteht dessen Decke und Dach auf der gesamten Fläche aus transparenten Schichten, so dass eine enorme Einstrahlung an Sonnenwärme zu erwarten war. Die tatsächlichen Verhältnisse wurden durch eine genaue Analyse der zugestrahlten Energien, der Durchlässigkeit, sowie der Emissions-, Reflexions- und Absorptionsverhältnisse der einzelnen Schichten abgeklärt. Während es in Europa hierüber praktisch keine Unterlagen gibt, haben die Forschungslabore der «American Society of Air Conditioning and Heating Engineers» sowie verschiedener Universitäten der USA umfassende Untersuchungen durchgeführt und deren Ergebnisse veröffentlicht. Der Autor hatte seinerzeit Gelegenheit, solchen Messungen und deren Auswertung beizuhören. Auf Grund der vorhandenen Erkenntnisse sowie der

\*) siehe Tafel 15 oben

\*\*) siehe S. 282 und 283

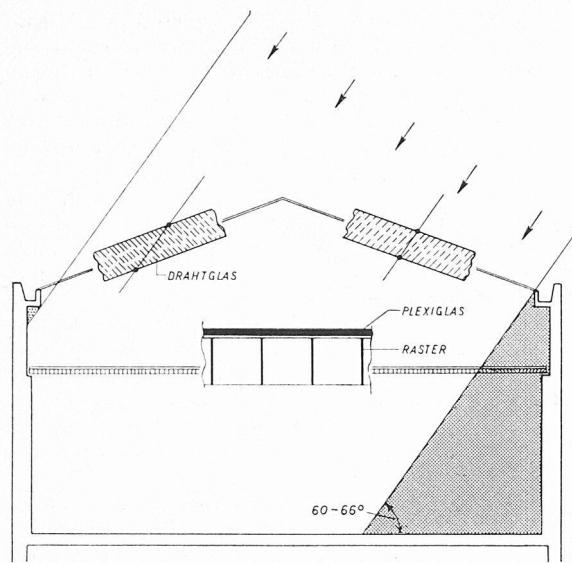


Bild 3a. Schema der lichtdurchlässigen Saalbedeckung und des Daches

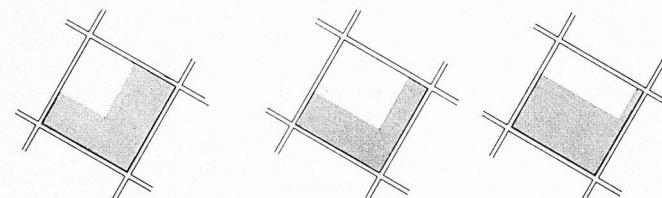


Bild 3b. Schattenwirkung der Parallelraster der Saalbedeckung bei verschiedenen Sonnenstellungen. Der Sonnenstand ist  $A - \varphi + \vartheta$ ; hierin bedeuten  $A = 90^\circ$  (Aequator),  $\varphi$  = geographische Breite, für Zürich  $47^\circ 23'$ ,  $\vartheta$  = Deklination (um  $12^\circ 23' 27''$ )

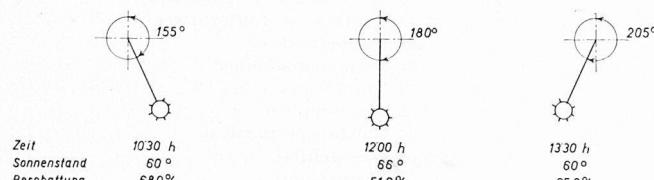


Bild 4. Sonnenstellungen in bezug auf das Gebäude (Sonnen-Azimut)

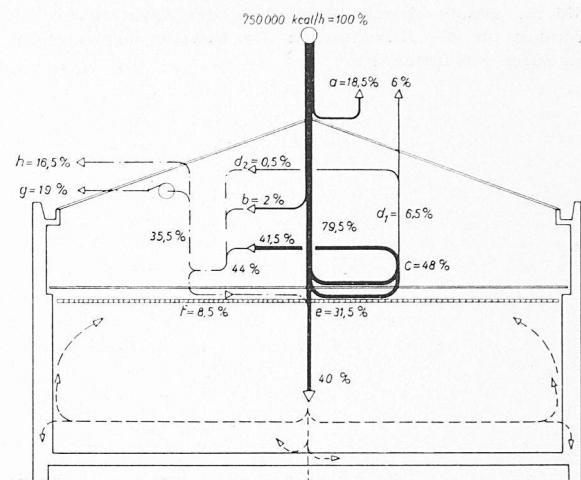
geographischen und topographischen Lage des Objektes konnte die Einstrahlung mit genügender Sicherheit ermittelt werden.

Die transparente Abdeckung des Saales ist wie folgt gebaut (Bilder 3 und 4): Die Decke besteht aus geriffeltem Plexiglas, das diffus lichtdurchlässig ist und auf weissem Kunststoffraster aufliegt, das Dach aus Drahtglas, das ebenfalls diffus lichtdurchlässig ist. Der Raum zwischen Decke und Dach ist künstlich ventilirt; dessen Wände, Dachträger, Rohre usw. sind weiss gestrichen. Sämtliche Aussenwände und die einsetzbaren Zwischenwände sind hellgrau getönt. Auf dem Boden liegt ein grauer Spannteppich.

Nach der Lage des Ausstellungssaales ist die maximale Wärmezustrahlung im Hochsommer bei klarem Himmel im Zeitraum von 10.30 h bis 13.30 h — also während drei Stunden — zu erwarten. Die Sonnenhöhe beträgt dabei  $60/66/60^\circ$  und der Azimut  $155/180/205^\circ$  (Bild 4). Die jeweils in der Mitte geschriebenen Zahlen beziehen sich auf 12.00 h. Die theoretische Gesamtwärmezustrahlung ergibt sich unter Berücksichtigung der Dachneigung zu rund 750 000 kcal/h. Von dieser Wärmemenge gelangen infolge Reflexion und Absorption sowie Abführung der Konvektionswärme im Dachraum durch die künstliche Dachraumlüftung nur noch etwa 40 % in den zu kühlenden Saal. Welche physikalischen Vorgänge sich abspielen und wie sich die einfallenden Wärmestrahlen der Sonne aufteilen, veranschaulicht Bild 5. Aus ihm lässt sich weiter erkennen, dass die in den Saal eingestrahlte Wärmemenge nicht eine sofortige Erhöhung der

Bild 5. Schema der Wärmeeinstrahlungsbilanz

- a Reflexion der Aussenhaut und verminderter Durchlass der den Strahlen abgeneigten Dachseite
- b direkte Einstrahlung durch die Dachraumwände
- c Abstrahlung und Konvektion der Plexi-Rasterdecke nach dem Dachraum; davon werden abgestrahlt:
  - d<sub>1</sub> an die Dachfläche
  - d<sub>2</sub> an die Dachraumwände
  - e Einstrahlung in den Saal



Von der in den Dachraum gelangenden Wärmemenge werden abgeleitet:

- f durch Transmission der Saaldecke in den Saal
- g durch die Dachraumventilation ins Freie
- h durch Transmission des Daches und der Wände ins Freie

Raumtemperatur hervorruft, sondern vorerst die Raumumfassungsflächen erwärmt, d. h. insbesondere den Boden, die Wände sowie die im Raum befindlichen Gegenstände. Erst von diesen aus wird dann die Raumluft durch Berührung und Konvektion erwärmt. Es tritt somit zwischen der grössten Wärmeeinstrahlung und der maximalen Raumluft-Temperatur eine Verzögerung ein, wobei die Temperatur-Kurven der Raumumfassungsflächen und der Raumluft wesentlich flacher verlaufen (Bild 6).

Der Wärmeeinfall in den Saal von 40 % = 300 000 kcal/h (Bild 5) ist somit noch nicht identisch mit der zu deckenden Kühllast und stellt lediglich einen Spitzenwert der Einstrahlung dar. Um die mittlere Kühllast zu erhalten, müssen die Vorgänge bei der Wärmeübertragung und Wärmespeicherung untersucht und zahlenmäßig festgelegt werden. Sie ergibt sich zu rund 70 % des Spitzenwertes, d. h. zu 210 000 kcal/h. Zu diesem Betrag kommt die Einstrahlung durch die Fenster, die Erwärmung vom Mauerwerk her sowie die Wärmeabgabe der Besucher. Die gesamte fühlbare Kühllast erreicht damit rund 280 000 kcal/h. Die von den Architekten getroffenen Vorsorgen zur Erzielung maximaler Belichtungseffekte unter gleichzeitiger Verringerung der Wärmeeinstrahlung in den Saal auf das mögliche Minimum hatten — wie inzwischen auch die Erfahrung bestätigte — vollen Erfolg.

### 3. Die klimatechnischen Einrichtungen

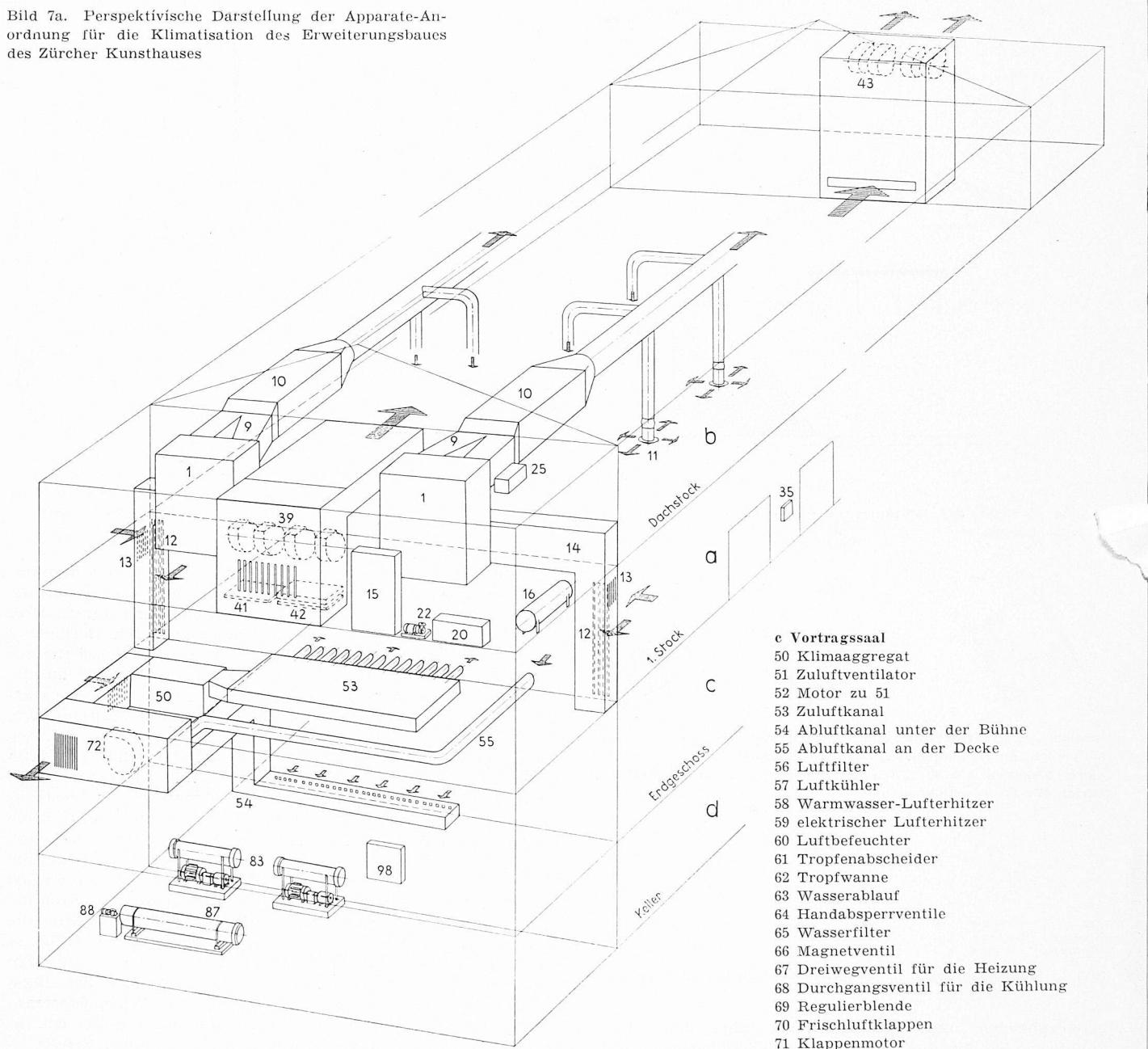
Als System gelangte eine vollautomatisch arbeitende Klimaanlage mit indirekter Kühlung und elektronischer Regulierung von Temperatur und Feuchtigkeit zur Ausführung. Der Entwurf und die Erstellung der gesamten Einrichtungen, umfassend die Kältezentrale, die fabrikfertig vorgefertigten Klimaaggregate und die Schalttafeln erfolgten durch die Firma Walter Häusler & Co., Zürich, nach dem Gesamtschema Bild 7b.

Während die Kälte- und Wärmeerzeugung an zentralen Stellen stattfinden, ist die Anlage luftseitig dezentralisiert. Zwei Klimaaggregate bedienen den Ausstell-

Bild 6. Grundsätzlicher Zusammenhang zwischen Wärmezustrahlung (Kurve 1) und Kühllast (Kurve 2) für einen Raum mit Oberlicht. Unten der entsprechende Verlauf der Bodentemperatur bei leichter (Kurve 3) und bei schwerer Konstruktion (Kurve 4).  $V_1$  und  $V_2$  sind die Phasenverschiebungen der Maxima



Bild 7a. Perspektivische Darstellung der Apparate-Anordnung für die Klimatisierung des Erweiterungsbau des Zürcher Kunsthause



a Ausstellungssaal

- 1 Klimaaggregat
- 2 Zuluftventilator
- 3 Motor zu 2
- 4 Dampfbefeuchtung
- 5 Warmwasser-Lufterhitzer
- 6 Luftkühler
- 7 Luftfilter
- 8 Spülvorrichtung
- 9 Zuluftkanal
- 10 Schalldämpfer
- 11 Luftauslass
- 12 Rückluftgitter
- 13 Frischluftgitter
- 14 Frischluft-Rückluftkanal
- 15 elektrischer Schaltkasten
- 16 Elektroverdampfer
- 17 Niveauregler
- 18 Pressostate
- 19 Ueberdruckventil
- 20 Frischwasserbassin
- 21 Schwimmerventil
- 22 Speisepumpe
- 23 Rückschlagklappe
- 24 Ueberlauf
- 25 Expansionsgefäß

- 26 Dreiwegventil für Warmwasser
- 27 Dreiwegventil für Kaltwasser
- 28 Magnetventil für Befeuchtung
- 29 Magnetventil für Spülung
- 30 Handabsperrventil
- 31 Regulierblende
- 32 Frischluftklappen
- 33 Rückluftklappen
- 34 Klappenmotor
- 35 Bedienungstableau
- 36 Thermostat für Heizung und Kühlung
- 37 Hygrometer
- 38 Wasserablauf

b Dachraumventilation

- 39 Zuluftventilator
- 40 Motor zu 39
- 41 Luftfilter
- 42 Warmwasser-Lufterhitzer
- 43 Abluftventilator
- 44 Motor zu 43
- 45 Thermostat für Sommerbetrieb
- 46 Thermostat für Winterbetrieb
- 47 Thermostat für Heizung
- 48 Dreiwegventil für Warmwasser

c Vortragssaal

- 50 Klimaaggregat
- 51 Zuluftventilator
- 52 Motor zu 51
- 53 Zuluftkanal
- 54 Abluftkanal unter der Bühne
- 55 Abluftkanal an der Decke
- 56 Luftfilter
- 57 Luftkühler
- 58 Warmwasser-Lufterhitzer
- 59 elektrischer Lufterhitzer
- 60 Luftbefeuchtung
- 61 Tropfenabscheider
- 62 Tropfwanne
- 63 Wasserablauf
- 64 Handabsperrventile
- 65 Wasserfilter
- 66 Magnetventil
- 67 Dreiwegventil für die Heizung
- 68 Durchgangsventil für die Kühlung
- 69 Regulierblende
- 70 Frischluftklappen
- 71 Klappenmotor
- 72 Abluftventilator
- 73 Motor zu 72
- 74 Abluftklappen
- 75 Umluftklappen
- 76 Klappenmotor
- 77 Hygrometer für die Befeuchtung
- 78 Thermostat für Heizung und Kühlung
- 79 Thermostat für Kühlung
- 80 Schalttableau
- 81 Potentiometer
- 82 Handschalter

d Kältezentrale

- 83 Trane-Kühlmaschinen
- 84 Kompressor
- 85 Motor zu 84
- 86 Kondensator
- 87 Wasserkühler
- 88 Wasser-Zirkulationspumpe
- 89 Freonflüssigkeits-Leitung
- 90 Freon-Wärmeaustauscher
- 91 Freon-Filter-Trockner
- 92 pilotgesteuertes Expansionsventil
- 93 Magnetventil
- 94 Handabsperrventil
- 95 Thermostat im Kaltwasser
- 96 Relais
- 97 Motor für Zylinderregulierung
- 98 elektrischer Schaltkasten

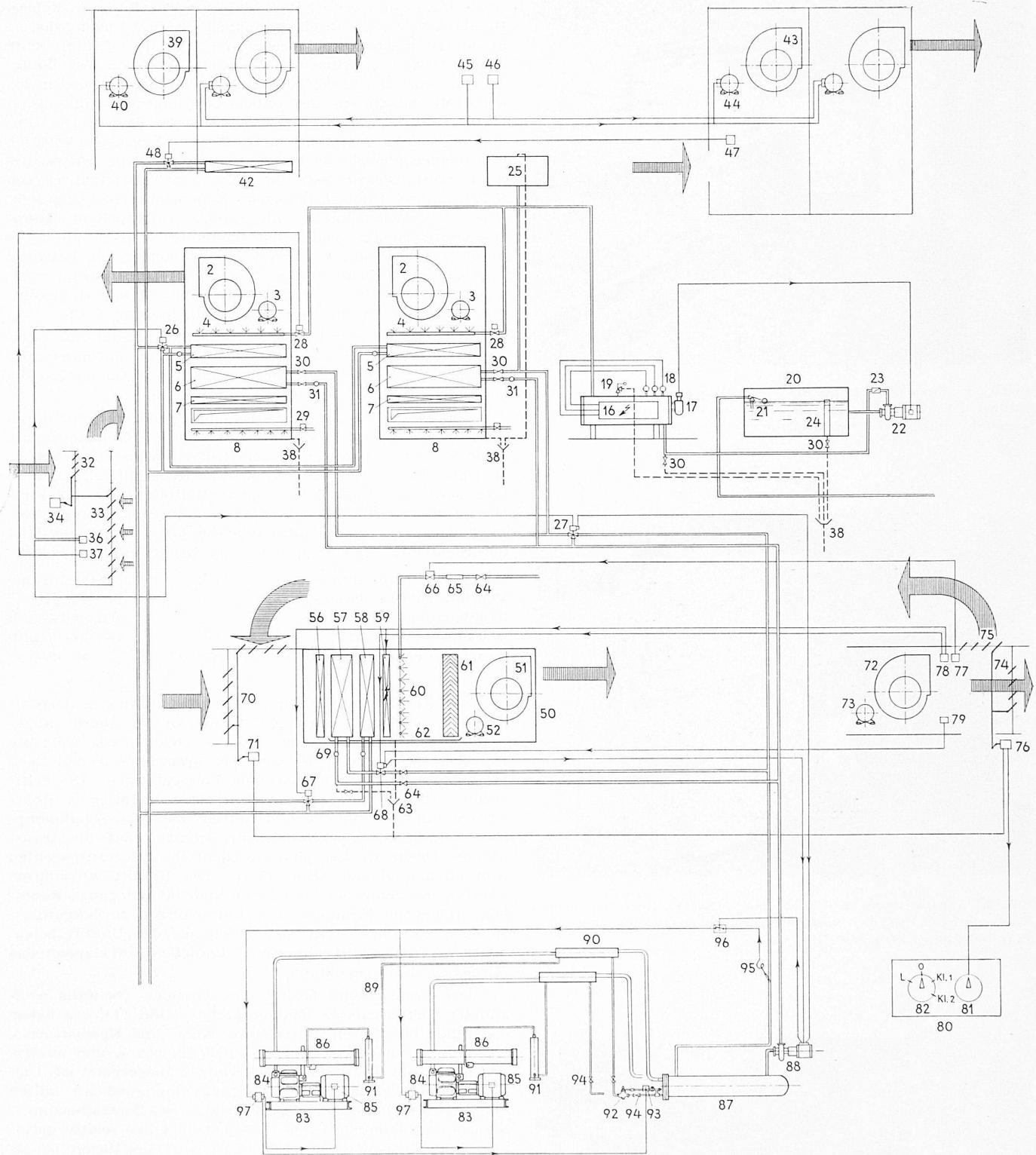


Bild 7b. Funktionsschema der klimatechnischen Einrichtungen

lungssaal und ein drittes den Vortragssaal. Die Kälte- und Heizzentralen sind nebeneinander im Untergeschoß, das Klimaaggregat für den Vortragssaal in einem Decken-Hohlräum neben der Bühne und die Aggregate für den Ausstellungssaal im Dachraum angeordnet. Der Bemessung der Klimaanlage lagen folgende raumklimatischen Bedingungen zugrunde:

Temperatur im Ausstellungssaal im Winter 16° C  
 Grundlastheizung durch direkte Bodenheizfläche auf 8° C<sup>1)</sup>  
 Temperatur im Vortragssaal im Winter 18° C

<sup>1)</sup> Dieser Wert betrug ursprünglich 10°, musste aber wegen des später beschlossenen Bodenbelages mit Spannteppichen vermindert werden.

Grundlastheizung durch direkte Bodenheizfläche auf 5° C  
 Temperatur im Ausstellungssaal im Sommer<sup>2)</sup> 22 bis 28° C  
 Temperatur im Vortragssaal im Sommer<sup>2)</sup> 22 bis 26° C  
 Höchste Feuchtigkeit in beiden Sälen im Winter 40 %  
 Höchste Feuchtigkeit in beiden Sälen im Sommer 50 %  
 Frischluftbeimischung im Ausstellungssaal mindestens 20 %  
 Frischluftbeimischung im Vortragssaal variabel bis 100 %

Zur Luftkühlung dienen zwei Kältemaschinen-Aggregate, bestehend aus je einem Schnellläufer-Kompressor mit

<sup>2)</sup> Die Raumtemperatur wird zur Vermeidung von schroffen Temperaturunterschieden beim Betreten der Räume von aussen her progressiv an die Außentemperatur gemäss Bild 17 angepasst.

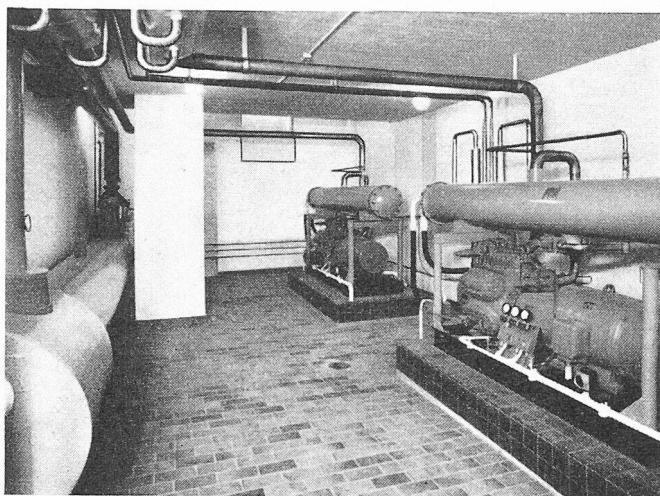


Bild 8. Kältezentrale. Rechts die beiden Maschinengruppen mit den darüber gebauten Kondensatoren; links der Wasserkühler. Die Kaltwasser-Umwälzpumpen sind durch den Pfeiler verdeckt

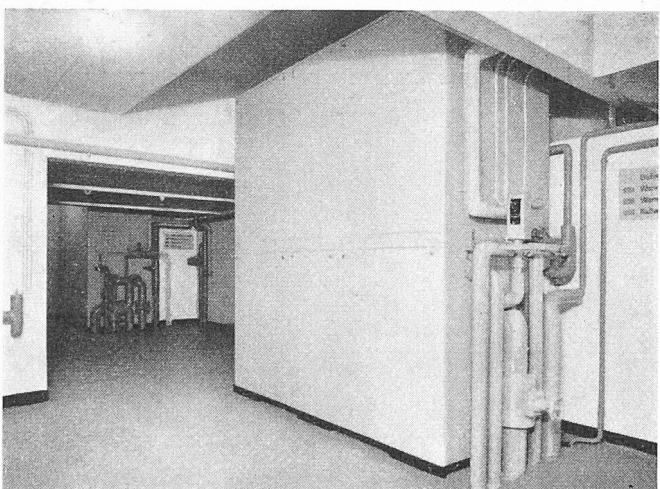


Bild 9. Apparateraum im Dachgeschoss. Rechts eines der beiden Klimaaggregate für den Ausstellungssaal; vom zweiten sieht man ganz links einen kleinen Teil

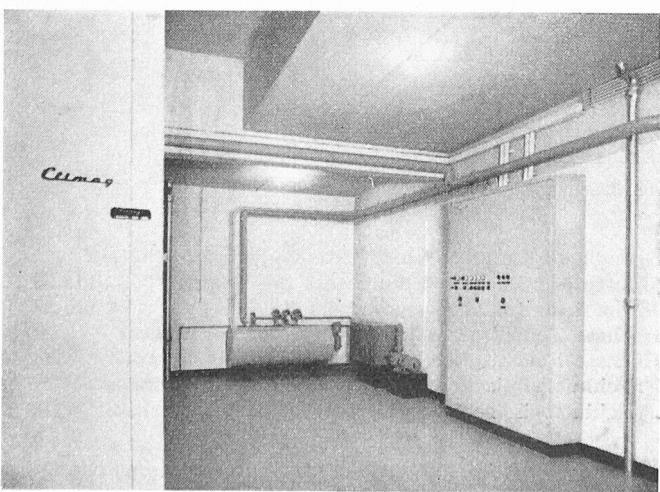


Bild 10. Apparateraum im Dachgeschoss. Rechts Schalttafel mit elektronischen Geräten, links (angeschnitten) eines der beiden Klimaaggregate, hinten der elektrische Dampfkessel mit Speisepumpe

sechs radial angeordneten Zylindern, der mit einem Zentrifugallassermotor direkt gekuppelt und mit einem wassergekühlten Kondensator ausgerüstet ist. Die Leistung kann durch Abschalten einzelner Zylinder (Abheben der Saugventile) auf 80, 70, 60, 50, 40, 30 % verringert werden. Da beide Maschinen mit der selben Leistungsregelung ausgerüstet sind, ergeben sich insgesamt zwölf Stufen. Die Umstellung erfolgt automatisch. Die beiden Aggregate arbeiten auf einen gemeinsamen Verdampfer, in welchem Wasser gekühlt wird. Diesem wird die Kältemittelflüssigkeit (Freon F 22) mittels Pilot-gesteuertem Expansionsventil zugeteilt. Eine Zirkulationspumpe mit direkt gekuppeltem Kurzschlussankermotor wälzt das gekühlte Wasser um. Die gesamte Kälteleistung beträgt 330 000 kcal/h, die Leistung der Kältemaschinenmotoren  $2 \times 55$  PS, die Drehzahl (polumschaltbar) 1440 U/min, die umgewälzte Menge an gekühltem Wasser  $70 \text{ m}^3/\text{h}$ , die Pumpenmotorleistung 5 PS.

Weil die Hauptkühllast im Ausstellungssaal nur tagsüber vorkommt, der Vortragssaal dagegen normalerweise abends benutzt wird, fällt dessen Kältebedarf für die Bemessung der Kältezentrale außer Betracht.

Die Klimatisierung des Ausstellungssaales erfolgt durch zwei stehende, vollständig vorfabrizierte Klimaaggregate (Bild 9) mit eingebautem Luftfilter, Wasser-Luftkühler, Warmwasser-Lufterhitzer, Niederdruck-Dampf-Luftbefeuchtern sowie Zwillings-Zentrifugalventilatoren. Ein Elektro-Dampfkessel (Bild 10) mit Frischwasser-Speisepumpe versorgt dabei die beiden Luftbefeuchter mit dem nötigen Niederdruckdampf. Die Hauptdaten der Klimaaggregate sind:

Luftfördermenge total	61 000 $\text{m}^3/\text{h}$
Ventilatormotorleistung total	14 PS
Kühlleistung total	300 000 kcal/h
Wärmeleistung total	185 000 kcal/h
Anschlusswert des Elektroverdampfers	48 kW

Zur Einführung der klimatisierten Luft in den Ausstellungssaal (Bilder 11 und 12) dienen an der Decke angebrachte und auf die ganze Fläche gleichmäßig verteilte Aerofuse-Luftauslässe. Es sind dies kreisrunde, radial flach bis leicht hemisphär ausblasende Vorrichtungen. Die Luftzufuhr erfolgt durch ein im Dachraum montiertes Rohrsystem mit grossen, vorfabrizierten Zickzack-Schalldämpfern. Damit die Anschlüsse keine Schatten auf die transparente Decke werfen, sind sie ebenfalls aus transparenten Rohrteilen gebaut (Bild 13 \*). Die Umluft wird durch zwei an der Südwand befindliche und auf die ganze Raumhöhe reichende Kammern mit Luftschlitzten zurückgeführt. In diese Kammern tritt gleichzeitig die der Umluft beizumischende Frischluft ein, wobei Lamellen-Luftklappen das Mischverhältnis regulieren.

Der Vortragssaal besitzt ein liegendes, ebenfalls vollständig vorfabriziertes Klimaaggregat (Bild 14), das neben den schon erwähnten Luftfiltern, Kühl- und Heizbatterien, jedoch mit einer Wassernebel-Luftbefeuchtung und zusätzlich mit einem elektrischen Lufterhitzer ausgerüstet ist. Dieser erlaubt, während den Übergangszeiten und an kalten Sommertagen ohne die Inbetriebsetzung des Zentralheizungskessels auszukommen, was in Anbetracht des relativ geringen Wärmeerfordernisses wesentlich wirtschaftlicher ist als der Kesselbetrieb.

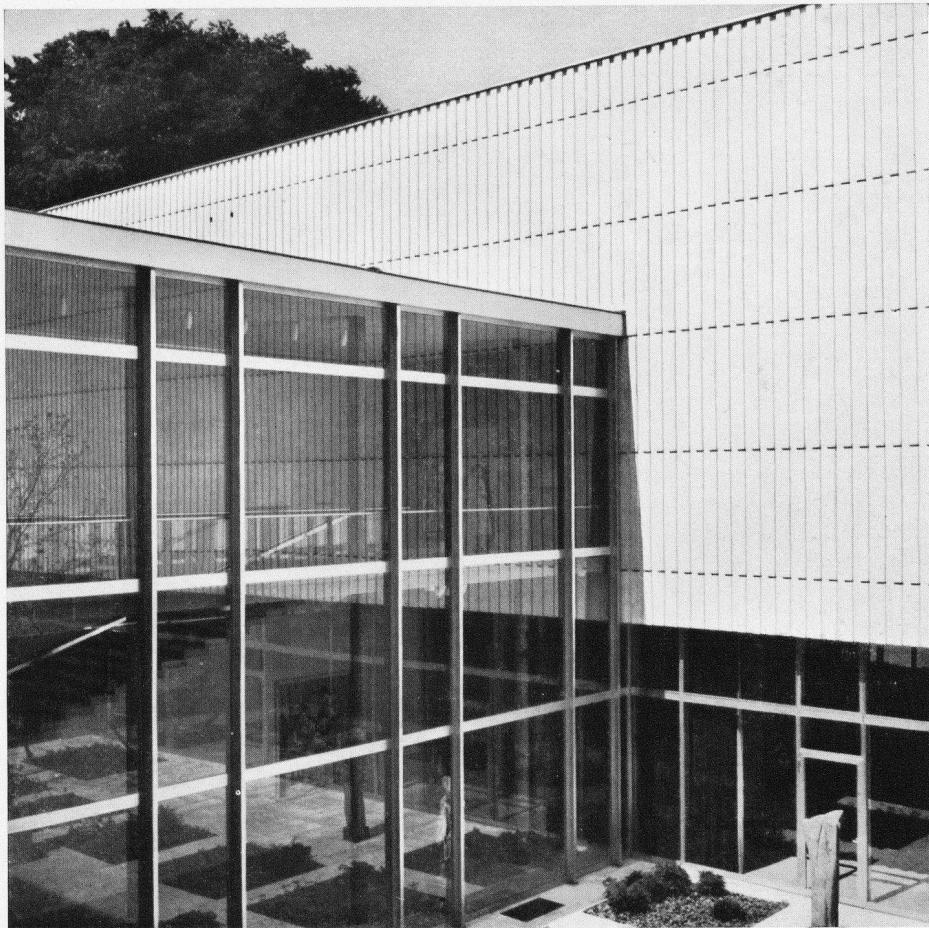
Da es sich beim Vortragssaal um einen Raum für verschiedene Anlässe handelt, bei denen neben dichter Besetzung mit der Abgabe von Speisen sowie der Bildung starken Tabakrauches gerechnet werden muss, war es nötig, die Frischluftzufuhr entsprechend hoch zu bemessen. Dies führte dazu, in das Klimaaggregat außer dem Ventilator für die klimatisierte Luft einen besonderen Rückluft-Ventilator und eine Mischkammer für die Mischung von Frischluft und Rückluft vorzusehen. Die Hauptdaten des Klimagerätes sind:

Luftförderleistung	15 000 $\text{m}^3/\text{h}$
Ventilatormotorleistung total	6,7 PS
Höchste Drehzahl (polumschaltbar)	1440 U/min
Kühlleistung total	75 000 kcal/h

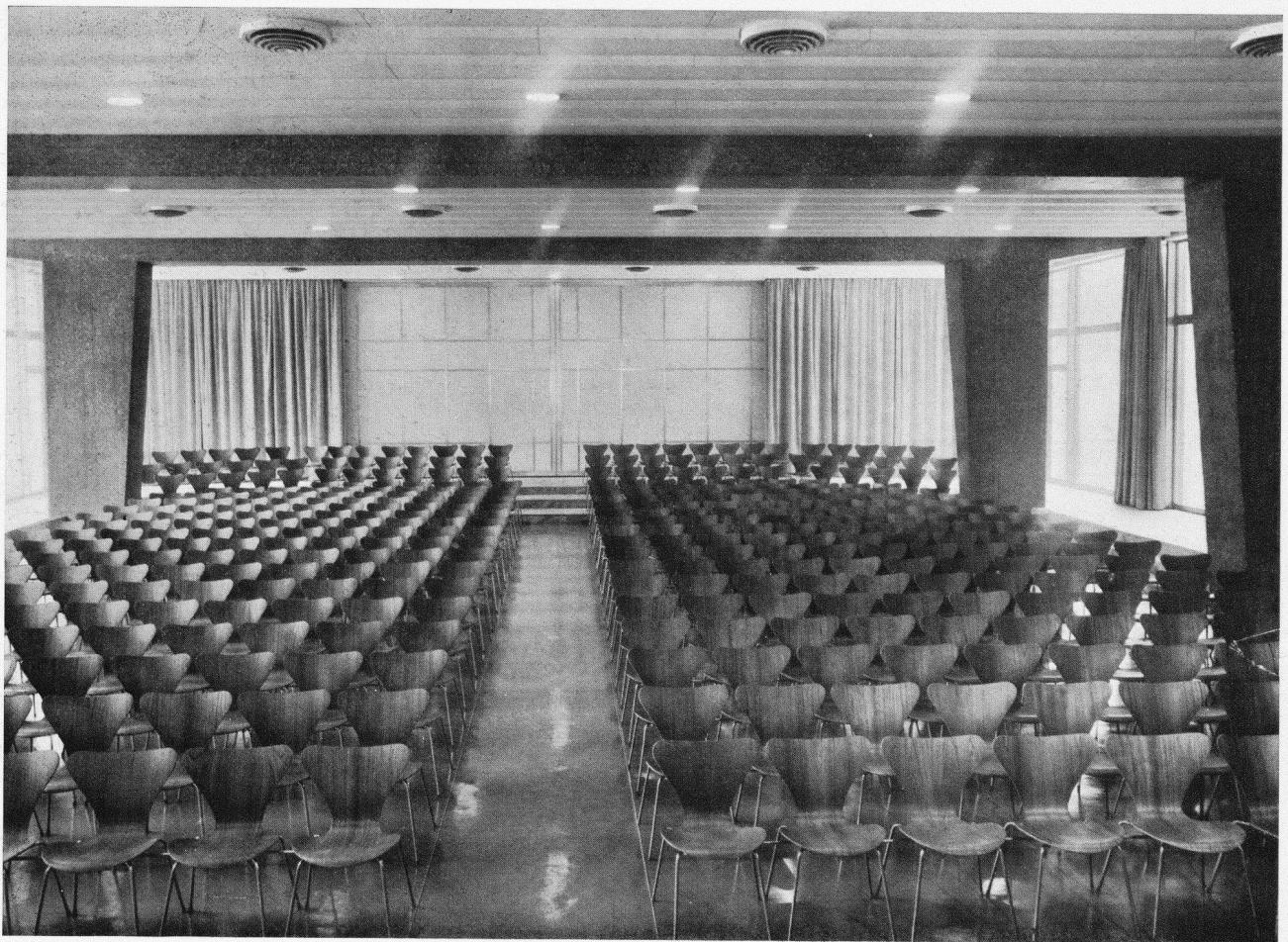
\* siehe Tafel 18, oben.



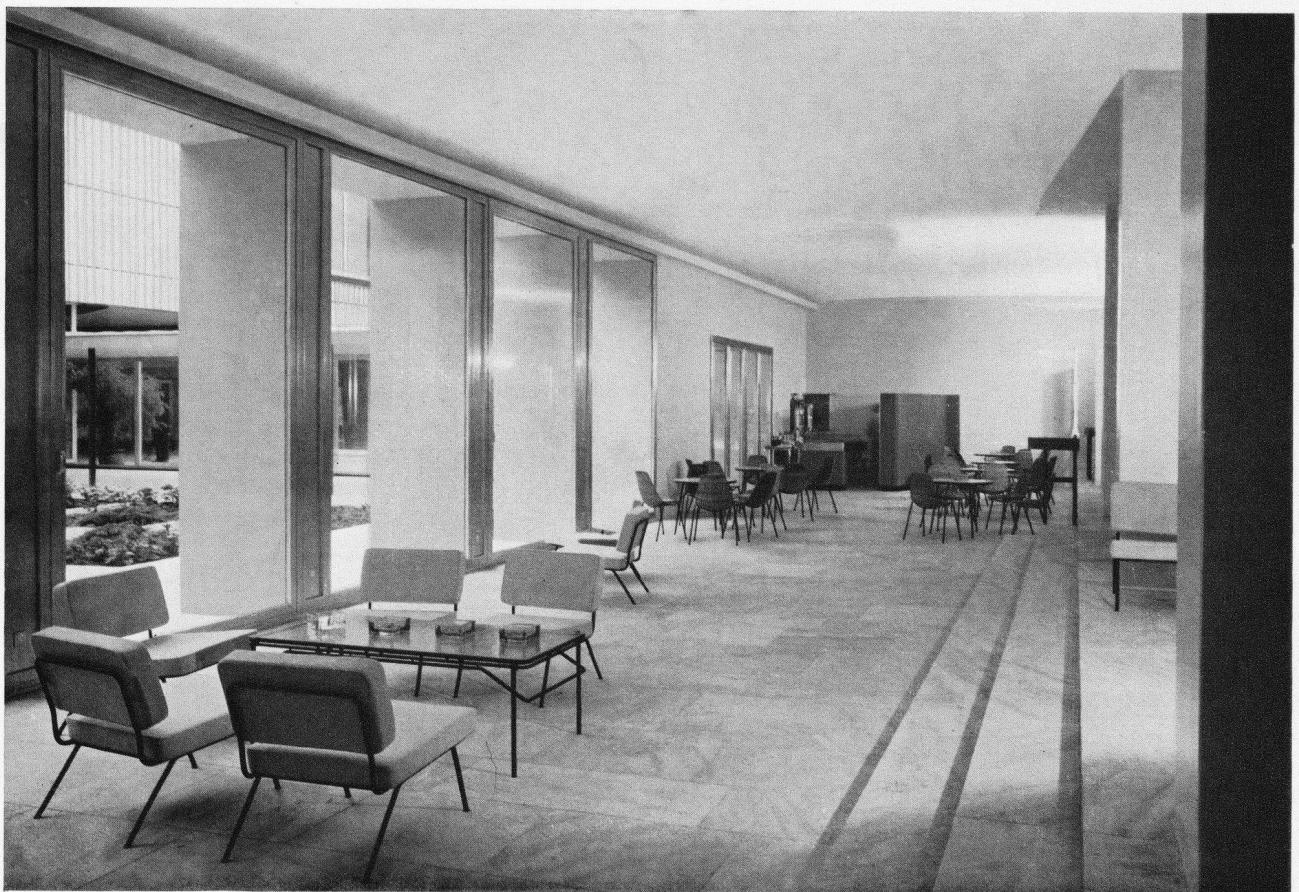
Der Erweiterungsbau des Kunsthause  
in Zürich. Oben Gesamtansicht aus  
Nordosten, unten Detail Plastikhof

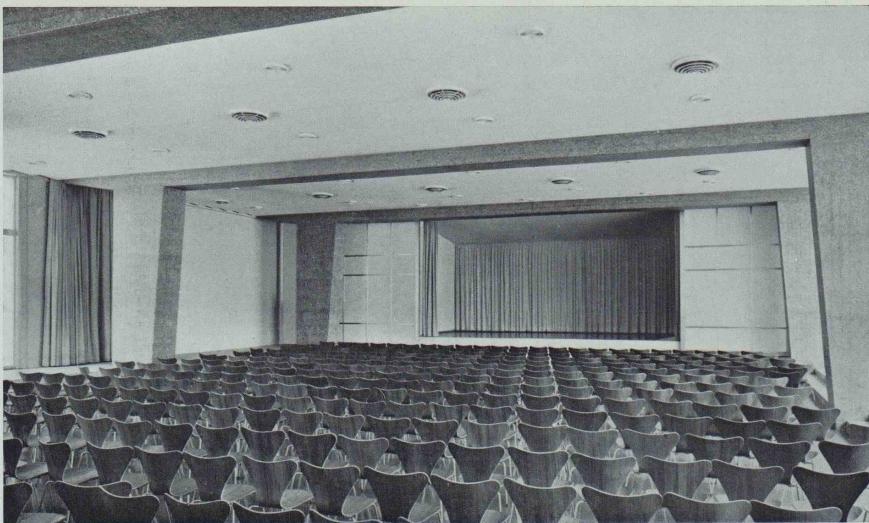


Architekten Gebr. Pfister, Zürich



Vortragssaal, Eingangsseite; unten Foyer im Altbau





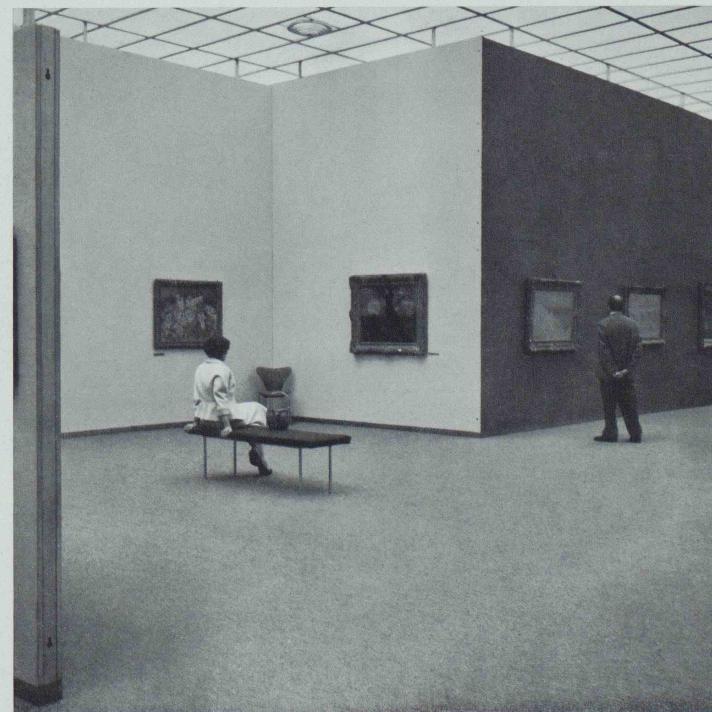
Vortragssaal, Podiumseite; unten Detail aus dem neuen Ausstellungssaal



Dachraum mit Beleuchtungs- und Belüftungs-Installation; unten Ausstellungssaal



Tafel 17



Tafel 18



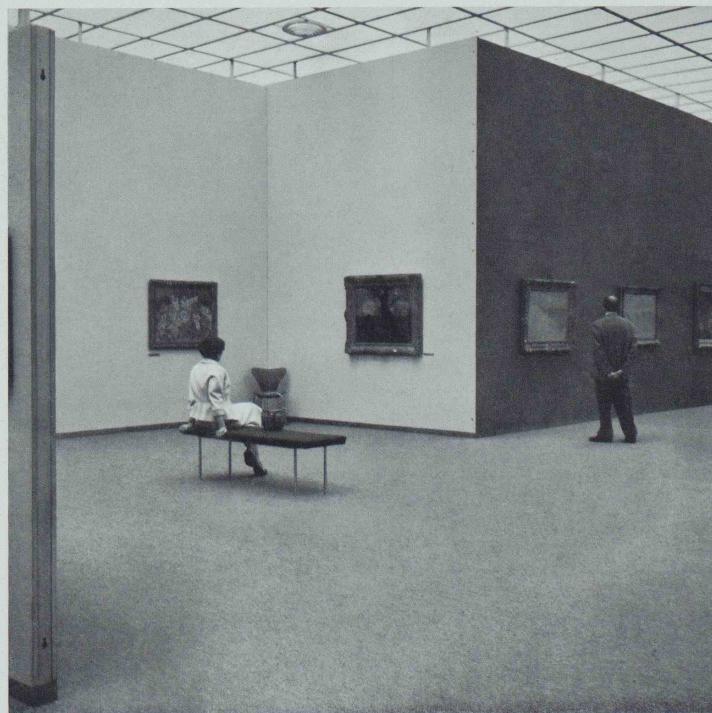
Vortragssaal, Podiumseite; unten Detail aus dem neuen Ausstellungssaal



Dachraum mit Beleuchtungs- und Belüftungs-Installation; unten Ausstellungssaal



Tafel 17



Tafel 18

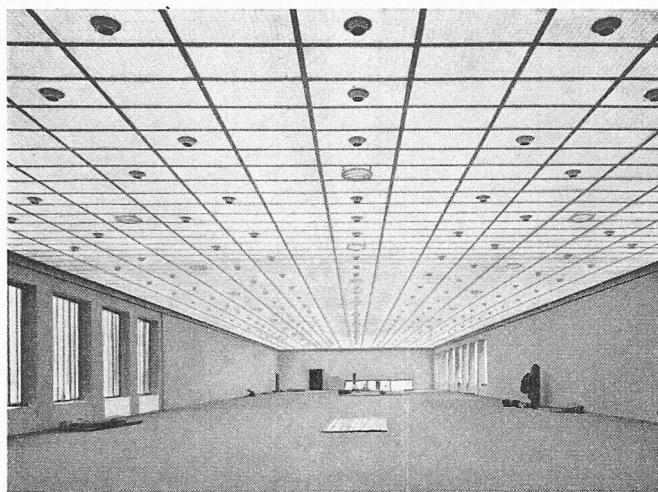


Bild 11. Der Ausstellungssaal ohne Zwischenwände. An der Rasterdecke die Aerofuse-Luftauslässe

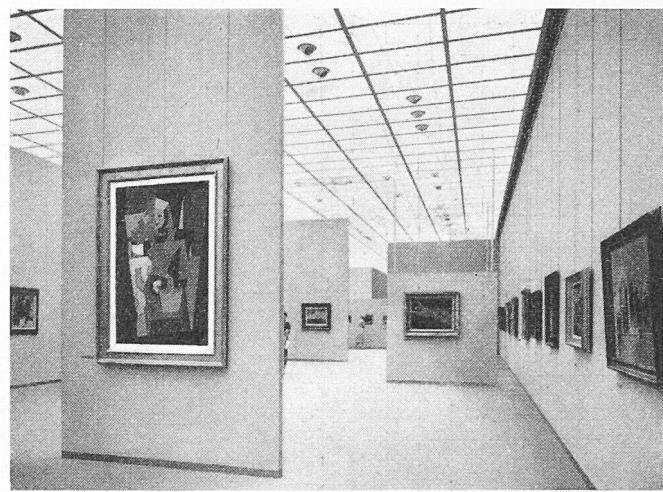


Bild 12. Der Ausstellungssaal mit eingesetzten Zwischenwänden

Wärmeleistung total	100 000 kcal/h
Anschlusswert des Elektro-Lufterhitzers	18 kW

Die klimatisierte Luft wird auch im Vortragssaal durch Aerofuse-Luftauslässe eingeführt (Bild 15 \*\*)). Wegen den starken Betonunterzügen (der Kunstsaal ruht auf freien Beton-Pfeilern) mussten die Luftkanäle so gestaltet werden, dass sie die Unterzüge ohne Schwächung durchdringen. Zu diesem Zweck verteilt man die gesamte zuzuführende Gesamtluftmenge auf mehrere Einzelrohre, die die Unterzüge durch darin einbetonierte Stahlringe kreuzen (Bild 16). Eine grosse Druckkammer, die gleichzeitig als Schalldämpfer ausgebildet ist, übernimmt die Verteilung der Luft auf die einzelnen Rohre. Mit der zur Verdeckung der Unterzüge und aus raumakustischen Gründen notwendig gewesenen Unterdecke konnte die Luftverteilung gänzlich unsichtbar gemacht werden.

Zur Entfernung des Tabakrauches war es erforderlich, im Vortragssaal die Rückluft bzw. Abluft sowohl unten als auch oben abzuführen. Hiezu werden  $\frac{2}{3}$  der Gesamtluftmenge an der Decke – aus ästhetischen Erwägungen mit den gleichen Aerofuses – und  $\frac{1}{3}$  durch kleine quadratische Öffnungen etwa 50 cm über Boden in der Bühnen-Vorderwand abgesogen.

Der Betrieb der gesamten Klimaanlage geht vollautomatisch vor sich. Mit der selbsttätigen Regelung werden Apparate mit einer elektrischen Leistung von insgesamt 200 kW beherrscht. Zur Inbetriebsetzung der Anlagen muss lediglich ein kleiner Schaltknopf betätigt werden. Es gibt keinen Sommer-Winterschalter. Je nach Bedarf werden Kühlung oder Erwärmung, Be- oder Entfeuchtung automatisch in Funktion gesetzt. Desgleichen wird im Vortragssaal

\*\*) siehe Tafel 17, oben.

selbsttätig dafür gesorgt, dass immer dann, wenn die Konditionierung der Luft nicht kostspielig ist, das zulässige Maximum an Frischluft besteht.

Die Raumtemperatur wird durch elektrische und elektronische Geräte konstant gehalten und im Sommer durch eine selbsttätig arbeitende Kompensation der steigenden Außen temperatur entsprechend erhöht (Bild 17). Das während des Kühlbetriebs zum Freon-Wasserkühler zurückströmende Kühlwasser, das je nach Kühlbedarf wärmer oder kälter ist, setzt durch besondere Fühlorgane eine oder nacheinander mehrere der sechs Stufen der ersten Kältemaschine in Betrieb. Wenn die Kälteleistung nicht ausreicht, so tritt automatisch die zweite Maschine mit ihren sechs Stufen in Funktion. Jede der drei Anlagen, d. h. die Kältezentrale, die Klimaanlagen für den Ausstellungssaal und jene für den Vortragssaal besitzen ihre eigenen Schalttafeln, in denen die Schaltapparate, Sicherungen, Kontrolllampen usw. sowie die elektronischen Geräte untergebracht sind. Die Gruppen sind elektrisch mit der Kältezentrale verbunden, damit die Kältemaschinen sofort selbsttätig anlaufen, sobald in einem der Säle Kühlbedarf vorliegt.

Wie im Kapitel «Kühllast» kurz gestreift wurde, besitzt der Dachraum über dem Ausstellungssaal eine eigene Ventilationsanlage. Sie dient dazu, die von den Baukörpern absorbierte Strahlungswärme zumindest teilweise aufzunehmen und ins Freie abzuführen. Auf diese Weise lässt sich die Dachraumtemperatur und damit die Ableitung in die Saaldecke und in den Saal selbst verringern. Die Anlage besteht aus zwei Zuluftaggregaten (Bild 18) mit Zwillings-Zentrifugalventilatoren und zwei Abluftaggregaten mit gleicher Ausrüstung. Die Zuluftaggregate besitzen zur Reinhaltung der Plexiglasdecke Luftfilter. Ihre Fördermenge beträgt je 25 000 m<sup>3</sup>/h, die gesamte Motorleistung 5,5 PS.

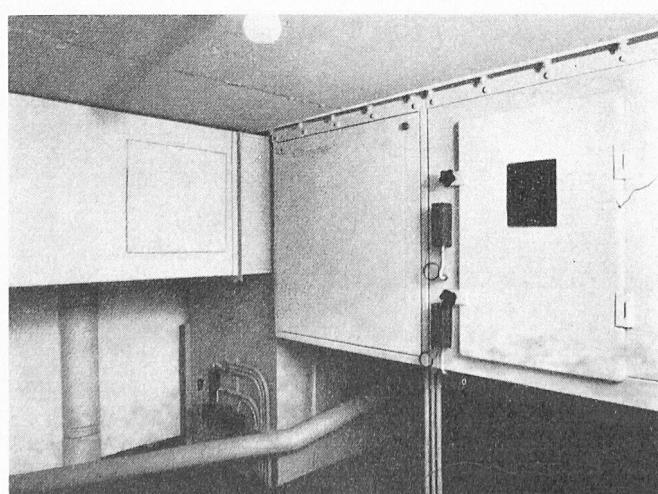


Bild 14 (links). Klimaaggregat für den Vortragssaal (Teilan-sicht)

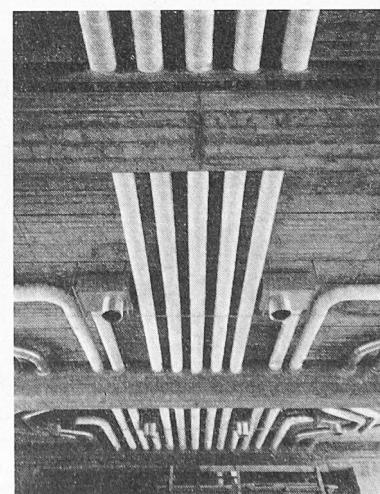


Bild 16 (rechts): Verteilrohrsystem für die Zuführung konditionierter Luft für den Vortragssaal (Aufnahme beim Bau)

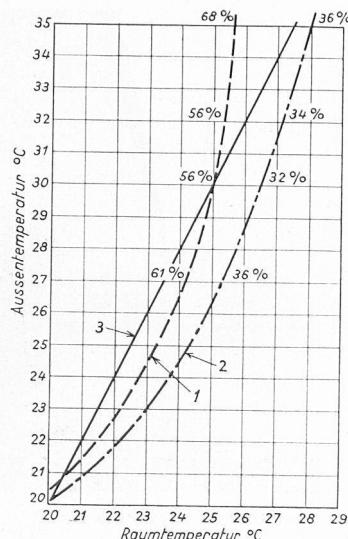


Bild 17. Gewünschter Zusammenhang zwischen Außentemperatur und Raumtemperatur

- 1 bei hoher Luftfeuchtigkeit (55  $\div$  65 %)
- 2 bei geringer Luftfeuchtigkeit (30  $\div$  35 %)
- 3 für die automatische Regelung massgebender Zusammenhang

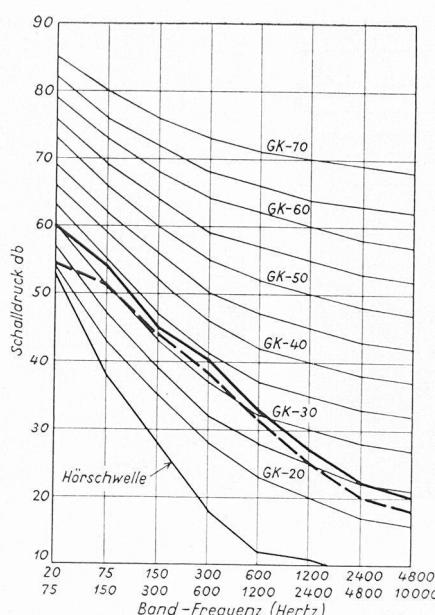


Bild 20. Geräuschkriterium im Ausstellungssaal

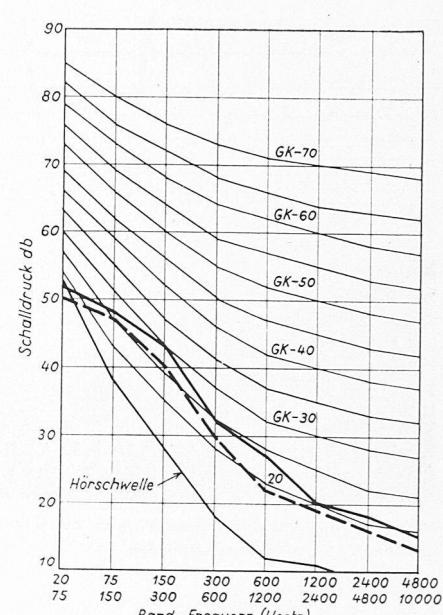


Bild 21. Geräuschkriterium im Vortragssaal

Die gestrichelten Linien gelten bei abgestellten Klima- und Ventilationsanlagen (allgemeiner Störpegel durch Straßenlärm), die ausgezogenen Linien bei Betrieb der Klima- und Ventilationsanlagen

Beide Zu- und Abluftgruppen sind für Sommerbetrieb bestimmt. Im Winter wird nur je eine davon in Betrieb gesetzt. Hiezu ist das eine Zuluftaggregat mit einem Warmwasser-Lüfterhitzer versehen. Durch die Zufuhr erwärmer, trockener Frischluft soll die Gefahr von Schwitzwasserbildung am Glasdach vermieden werden. Direkte Heizflächen in Form von Heizrohren unterstützen dabei die Dachraum erwärmung durch die Ventilationsanlage. Die Inbetriebsetzung der Dachraum-Ventilationsanlage wird von Hand entsprechend dem jeweiligen Bedarf an der Schalttafel des Ausstellungssaales durchgeführt.

#### 4. Betriebsergebnisse

Über die Wirkungsweise und die Leistung der Klimaanlage liegen heute die Ergebnisse von sechs Betriebsmonaten vor. Während dieser Periode wurde die Anlage laufend unter Kontrolle gehalten, und es wurden teils andauernd, teils stichprobenweise Messungen vorgenommen. Diese erstreckten sich auf die Temperaturen, Feuchtigkeiten und die Luftbewegung in den klimatisierten Räumen, die

Luft- und Kältemengen, Motorleistungen, Freondrücke, Frischwasserverbrauch, Arbeitsweise der Reguliergeräte sowie Schallanalysen.

Die Messungen zeigten, dass die zugrundgelegten Leistungen überall erreicht wurden und dem Bedarf entsprechen. Ganz allgemein erwies sich die Anlage als eher reichlich. Ebenso funktionierte die automatische Steuerung zur vollen Zufriedenheit. Am heißesten Sommertag des Jahres 1958, d. h. am 1. August 1958, mit einer maximalen Außentemperatur von 31,6 °C und klarem Himmel betrug die Temperatur im Ausstellungssaal 24 °C (vgl. die Wiedergabe eines Registrierstreifens Bild 19). Unangenehme Luftbewegungen wurden während dieser starken Raumkühlung nicht beobachtet.

Aus den Geräuschanalysen ging ferner hervor, dass der Verlauf der Schallstärken in den einzelnen Frequenzen im Bereich der Raumbestimmung entsprechenden Kriterien liegt. Dies war in Anbetracht der starken und zum Teil schnell laufenden Maschinen, die zudem aus baulichen Gründen direkt an die klimatisierten Räume (seitlich oder unter denselben) angeordnet werden mussten, nur durch den Einbau frequenzabgestimmter Schalldämpfer möglich. Die in den Bildern 20 und 21 gewählte Darstellungsart zeigt die

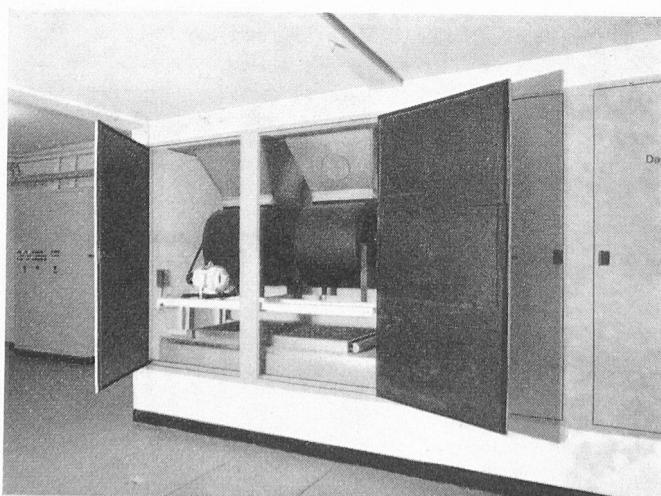


Bild 18. Zuluftaggregat im Apparateraum des Dachstocks für die Dachraumventilation. Beim Aggregat 1 sind die Türen geöffnet, beim Aggregat 2 (rechts) sind sie geschlossen

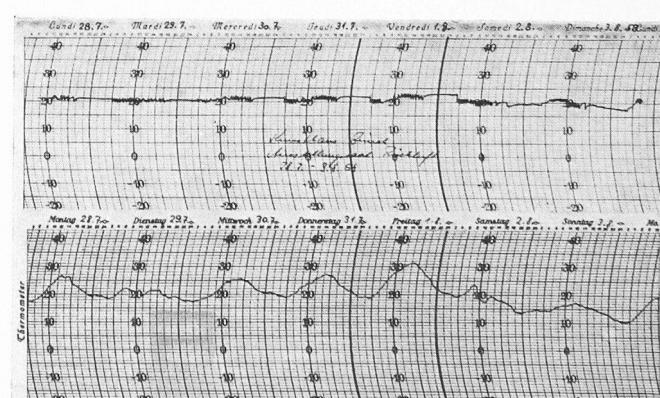


Bild 19. Registrierstreifen der Raumtemperatur (oben) und der Außentemperatur (unten) für die Zeit vom 28. Juli bis 3. August 1958. (Der 1. August war mit 31,6 °C höchster Mittagstemperatur der wärmsten Tag des Jahres 1958)

Tabelle 1. Geräuschkriterien für Komfort-Klimaanlagen

Raumbestimmung	Geräuschkriterien	
	GK-Kurve	Filter A
Radio-Studios, Konzertsäle	20	25—30
Konferenzräume (große), Schauspiel-Theater (500 Pl. ohne Verstärker), Versammlungsräume	25	30—35
Schluräume (ohne Verstärker), Fernseh-Studios, Musikräume	25	35
Schlafzimmer (privat)	30	35—45
Konferenzräume (klein), Kinos	30	40
Hotelzimmer, Appartements	30	35—40
Kirchen, Spitäler, Präsidialbüros	30	40
Gerichtssäle, Bibliotheken	30	40—45
Privatbüros (kleine)	35	45
Allgemeine Büros	40	50
Technische Büros, Restaurants	45	55
Verkaufsläden, Stadien, Sporthallen (geschlossene)	50	60
Schreibmaschinen-Büros	55	65
Industrielle Räume	60	70

#### Physiologische Bewertung der Geräuschkriterien-Kurven

- GK 20—30 = sehr ruhig
- GK 25—35 = ruhig
- GK 30—40 = leichtes Geräusch
- GK 35—45 = mässiges Geräusch
- GK 45—60 = lärmig

neueste und bis anhin beste Methode zur Kennzeichnung von Geräuschen. Anstelle von Phon-Einzelwerten wird hier die je nach Raumbestimmung zulässige Lautheit (Tabelle 1) durch eine Kurvenschar festgelegt. Die einzelnen Geräusch-Kriteriums-Kurven (GK) kennzeichnen die für die verschiedenen Anwendungsgebiete einzuhaltenen Spektren. Aus der Lage der auf Grund von Oktavanalysen eingetragenen Kurven lässt sich das vorhandene Geräuschniveau — und zwar mit subjektiven Maßstäben gemessen — eindeutig erkennen.

Die Klimaanlage im Zürcher Kunstmuseum zählt zu den grössten Anlagen solcher Art in Zürich. Sie erfüllt eine schwierige Aufgabe, ohne irgendwelche fremde Eingriffe in ihrer Aufgabe zu erfordern noch zu erlauben. Geschultes Bedienungspersonal ist nicht erforderlich; die Wartung ist trotz ihrer Ausdehnung einfach und benötigt wenig Zeit. Die Meisterung aller mit der Anlageeinrichtung gestellten Probleme war jedoch nur möglich dank dem grossen Verständnis der Baukommission und der von den Architekten Gebr. Pfister, Zürich, unermüdlich gewährten engen Zusammenarbeit in der Lösung der technischen und baulichen Aufgaben.

Adresse des Verfassers: Ing. W. Häusler, Stampfenbachstr. 56, Zürich 6.

## Thermische Turbomaschinen

DK 621.4:621.51

Der starke Einfluss einer anerkannten Autorität macht sich oft erstaunlich lange bemerkbar. Seit der letzten Auflage des grundlegenden Werkes von Stodola sind die zusammenfassenden Darstellungen des Gebietes der Turbomaschinen, und insbesondere der Dampfturbine, in ihren grossen Zügen den Richtlinien des Meisters treu geblieben. Die seither erfolgten raschen Fortschritte auf dem Gebiete der Strömungsmechanik, deren Ergebnisse sich in Form zahlreicher Veröffentlichungen in technischen Zeitschriften finden, wurden dabei als verstreute Aufsätze nicht systematisch verwertet.

Es ist nun das grosse Verdienst von Prof. Traupel, mit dieser Tradition gebrochen und eine umfassende Theorie der Turbomaschinen gegeben zu haben, die sich auf die neuesten Erkenntnisse der Thermodynamik und der Dynamik der Gase stützt \*). Folgerichtig geht er zuerst ausführlich auf die

\*) Thermische Turbomaschinen. I. Band. Von Walter Traupel. 407 S. mit 403 Abb. und sechs Tafeln, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1958, Springer-Verlag. Preis geb. DM 58.50.

Grundlagen ein und zeigt, wie man, darauf aufbauend, logisch zu den Regeln für den Entwurf und die Konstruktion einer bestimmten Maschine gelangt.

Dieser erste Band ist im wesentlichen theoretisch, entält jedoch zahlreiche Konstruktionsbeispiele, Rechnungsergebnisse und die Mittel, die es dem Konstrukteur ermöglichen, rasch die notwendigen Zahlenwerte zu erhalten. Dem Verfasser ist es gelungen, jedem Kapitel die Form einer Monographie derart zu geben, dass es nicht erforderlich ist, den ganzen Band durchzublättern, um eine gesuchte Angabe aufzufinden. Man muss ihm auch zu der systematischen Anwendung der Giorgi-Masseinheiten und von dimensionslosen Grössen gratulieren, die eine einheitliche Schreibweise der Grundgleichungen erlaubt, wie man sie selten in ähnlichen Werken findet.

Es können hier nicht alle Kapitel aufgezählt werden. Vielmehr genügt es, hervorzuheben, dass die wesentlichen Aspekte der Turbomaschinen und ihrer Elemente mit Sorgfalt und bemerkenswerter Meisterschaft behandelt sind. Nach einer kurzen Zusammenfassung der Grundlagen der Thermodynamik und einem Abriss der Strömungslehre wird die Theorie der Turbinen- und Verdichterstufe sowie des Schaufelgitters eingehend, unter Berücksichtigung der räumlichen Strömung durch die Turbomaschinen behandelt. Die Zusammenfassung der Berechnungsunterlagen für alle drei Maschinentypen in einem Kapitel wird vom praktisch tätigen Ingenieur sehr geschätzt werden. Die sehr vollständige Bibliographie lässt den enormen Umfang des gründlich durchgeführten Literaturstudiums erkennen.

Sicher wird dieses Werk für lange Zeit dem Konstrukteur thermischer Turbomaschinen eine unentbehrliche Hilfe sein.

Dr. P. de Haller, Winterthur

## Neuere Entwicklung der Untersuchung und Berechnung von Flachfundationen

Von Dr.-Ing. Heinz Muhs, Berlin

DK 624.151.5.001.2

Schluss von S. 272

Die Gegenüberstellung der vereinfachten Last-Setzungslinien der Versuche im Grundwasser und der entsprechenden Parallelversuche im erdfeuchten lockeren bis mitteldichten

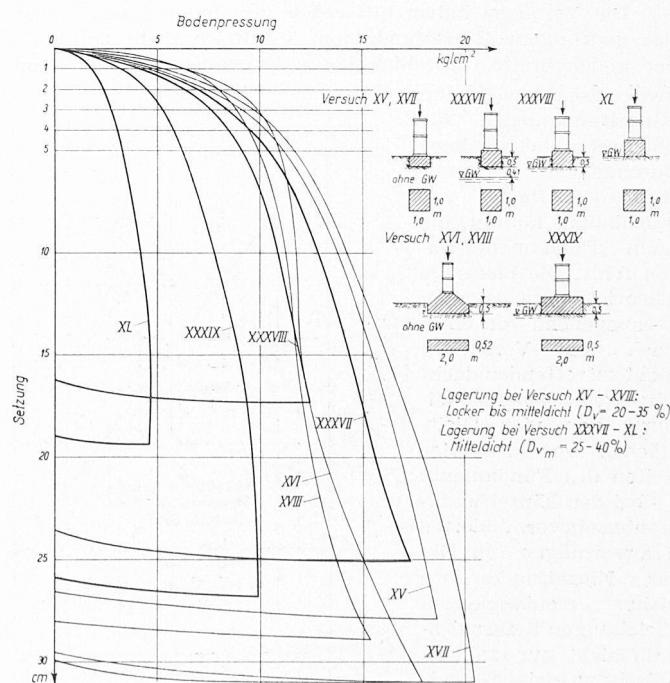


Bild 20. Abhängigkeit der Tragfähigkeit vom Grundwasserstand im lockeren bis mitteldichten Sand