

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 78 (1960)  
**Heft:** 50

**Artikel:** Der Einbau einer Schnellkühlanlage im Schlachthof Zürich  
**Autor:** Allenspach, V. / Ostertag, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-65004>

### **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:** 23.02.2026

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

## Der Einbau einer Schnellkühlanlage im Schlachthof Zürich

DK 621.565:725.28

### 1. Teil: Problemstellung

Von Dr. V. Allenspach, Schlachthofdirektor, Zürich

#### 1. Das betriebliche Erfordernis

Für die erste Kühlung der frischgeschlachteten Tierkörper bestanden am Schlachthof Zürich je eine Vorkühlhalle für Grossvieh mit 387 m<sup>2</sup> und eine solche für Kleinvieh mit 500 m<sup>2</sup> Bodenfläche. Das Fassungsvermögen der Letztgenannten war auf 700 Schweine und Kälber berechnet, doch lassen sich bei äusserster Ausnützung der Hochbahnanlage und aller festen Aufhängevorrichtungen 850 Stück unterbringen. Bei dieser maximalen Belastung und bei durchschnittlichen Aussentemperaturen konnte die erforderliche Kälteleistung nur äusserst knapp, bei besonders ungünstigen Witterungsverhältnissen aber nicht in vollem Umfange aufgebracht werden. Die Vorkühlung liess dann an den Hauptschlachttagen zu wünschen übrig, und es mussten die Tierkörper teilweise ungenügend durchgekühlt an die Metzger abgegeben oder zur Lagerung in die Kühlzellen verbracht werden.

Die in den letztvergangenen Jahren verzeichnete Zunahme der Schlachtungen wird voraussichtlich auch künftig anhalten. Zum mindesten ist an den Hauptschlachttagen mit gleich hohen, wenn nicht steigenden Umsatzziffern zu rechnen. Daher mussten die Einrichtungen zur Kühlung schlachtwarmer Schweine möglichst rasch vermehrt werden, um die Vorkühlhalle zu entlasten und die korrekte Kühlung des Schlachtgutes sicherzustellen. Es konnte damit nicht bis zur Erstellung des neuen Kühlhauses zugewartet werden, die im Rahmen des Schlachthof-Vollausbauprojektes frühestens in 5 bis 6 Jahren zur Ausführung kommen wird. Um diesen und möglicherweise einen längeren Zeitraum zu überbrücken, wurde der Einbau einer Schnellkühlanlage in Aussicht genommen. Man verliess damit das seit Inbetriebnahme des Schlachthofs angewendete Kühlverfahren, das bis nach dem 2. Weltkrieg in grossen Schlachtanlagen Europas und anderwärts allgemein üblich war, d. h. oberflächliche Abkühlung des schlachtwarmen Fleisches auf Aussentemperatur in Abstandhallen, Vorkühlen in künstlich klimatisierten Vorkühlhallen bei Temperaturen von + 6 bis + 8 °C und 75 bis 85 % relativer Feuchtigkeit mit nachfolgender Lagerung in Kühlräumen bei + 2 bis + 4 °C und 75 % Luftfeuchtigkeit.

Für die Schnellkühlung spricht vor allem die rasche Durchkühlung der Tierkörper, die in den mächtigsten Muskelpartien bei Schweinen innert 12 bis 15 Stunden, bei Grossvieh innert 17 bis 21 Stunden etwa + 4 °C erreicht. Die Gewichtsverluste durch Trocknung der Fleischoberfläche betragen nur 50 bis 65 % derjenigen bei langsamer Kühlung. Daneben werden noch andere, zum Teil weniger überzeugende Vorzüge namhaft gemacht, die hier übergangen werden können. Im Zürcher Schlachthof war ausschlaggebend, dass sich Fleisch von Schweinen und Kälbern beinahe in der halben Zeit bis in die Kernpartien durchkühlen lässt. Es können somit Tiere, die noch kurz vor Arbeitsschluss am Nachmittag in die Schnellkühlanlage verbracht werden, bei Oeffnung des Kühlhauses am folgenden Morgen in einwandfrei durchgekühltem Zustande an die Metzger abgegeben oder in die Kühlzellenhalle zur Lagerung überführt werden.

#### 2. Bauliche Gegebenheiten

Für den Einbau der Schnellkühlanlage eignete sich am besten der ehemalige «Apparateraum», der die Verdampfer

und Verflüssiger (Kondenser) der abgebrochenen CO<sub>2</sub>-Kühlanlage beherbergte. Dieser zweigeschossige Raum grenzt an den westlichen Teil der Vorkühlhalle für Kleinvieh und ist von dieser durch eine starke Stützmauer getrennt; auf der gegenüberliegenden Seite befindet sich das Kesselhaus, Bilder 1 und 3. Er wurde durch einen isolierten, auf gleichem Niveau mit jenem der Vorkühlhalle liegenden Betonboden in zwei Stockwerke geteilt. Im untern Geschoss sind die Bureaux des technischen Beamten und des Werkstattmeisters samt Plansammlung und Archiv untergebracht, ausserdem die Bäder und Toiletten für das im Westflügel des Kühlhauses arbeitende Personal des Kessel- und Maschinenhauses und der Werkstatt. Unter diesem Teil konnte eine 3/4-geschossige Kammer erstellt werden, die zur Materiallagerung verwendet wird. Die andere Hälfte dient als 1 1/2-geschossiger Raum zur Aufnahme verschiedener kältetechnischer Einrichtungen. Das obere Geschoss mit Flachdach über freitragender Eisenkonstruktion hat die Schnellkühlkammern und die Verdampfer und Ventilatoren der Kühlapparate aufzunehmen, Bild 3, Aufriss.

Bei diesem Anlass war nun zu entscheiden, ob die 4 m hohe Doppelschienen-Hochbahn der benachbarten Kleinvieh-Vorkühlhalle in die Schnellkühlkammern fortzuführen sei, oder ob diese Kammern mit einer Nieder-Rohrgleitbahn mit 2,2 m Höhe über Boden versehen werden sollen. Die Hochbahn wäre betrieblich einfacher gewesen, indem die Beschickung der Kühlkammern ohne Ueberhängen des Kühlgutes von der Hoch- auf die Niederbahn möglich gewesen wäre. Doch ergab sich wegen des grossen Gleisabstandes nur Platz für höchstens 200 Schweine, bzw. für etwa 17 t schlachtwarmes Fleisch. Bei unbefriedigender Platzausnützung wäre eine fühlbare Entlastung der Vorkühlhalle ausgeblieben. Eine Unterteilung des Raumes in zwei getrennt kühlbare Kammern musste eine weitere Einschränkung des Fassungsvermögens mit sich bringen. Zudem hätten das Kiesklebedach über dem Apparateraum mit grossen Kosten gehoben und 200 Hochbahn-Wanderspreizen angeschafft werden müssen.

Demgegenüber vermag die Anlage bei Verwendung der Nieder-Rohrgleitbahn in zwei Kammern 400 ausgeschlachtete Schweine mit etwa 35,5 t Warmgewicht aufzunehmen. Dieses grosse Fassungsvermögen war unter den gegebenen Verhältnissen trotz gewisser betrieblicher Nachteile für die Wahl ausschlaggebend. Die Lösung brachte, zusammen mit der zeitweisen Benützung der Grossvieh-Vorkühlhalle für die Unterbringung der Kälber, die angestrebte Entlastung der Kleinvieh-Vorkühlhalle in räumlicher wie in kühltechnischer Hinsicht. Dieser in die Augen springende Vorteil hatte sich mit der Inbetriebnahme gezeigt. Er wird aber erst im vollen Umfange ersichtlich, wenn beim künftigen Ausbau des Schlachthofs das Kühlhaus schrittweise abgebrochen und die Schnellkühlanlage als Ersatz für die beiden Vorkühlhallen im durchgehenden Schichtendienst mit täglich zweimaliger Beschickung betrieben werden muss. Nebenbei seien, gegenüber der Hochbahn, die niedrigeren Baukosten und die Möglichkeit der nur teilweisen Benützung der Anlage als weitere Vorteile erwähnt.

Die Wahl der Niederbahn bedingte im oberen Geschoss den Einbau einer Betondecke in 255 cm Höhe, an welcher die

Rohrgleitbahn System Riniker-Rupperswil aufgehängt ist. Darüber ist als selbständiges Bauelement der Luftkühlerraum angeordnet, der im Bereiche der Luftkühler-Elemente als isolierte Betonschale ausgebildet ist. Auf der entgegengesetzten Seite weist dieser Raum eine durchgehende Trennwand auf, in welcher die Ventilatoren eingebaut sind, Bild 4. Für den Luftein- und -austritt sind in der Decke 50 cm breite Öffnungen in der ganzen Breite der Decke ausgespart. Die Luftkühler wurden an der verstärkten Deckenkonstruktion an Rollen aufgehängt. Sie können bei Reparaturen an den Deckenschienen in den Vorraum transportiert werden. Damit sind die Undichtheiten vermieden worden, die sich in den Tropfschalen immer wieder ergeben, wenn die schweren Verdampfer auf den Boden der Tropfschale gestellt werden.

Die für die Schnellkühlanlage zusätzlich benötigten Ammoniak-Kompressoren sind im benachbarten Kompressorenraum aufgestellt worden. Sie können mit den vorhandenen Teilen der Kühlanlage in beliebiger Weise kombiniert werden. Vom Kompressorenraum führt eine Treppe zu den Räumen unter den Schnellkühlkammern. Neben dieser wurde die Schaltkabine eingebaut, die vom Kompressorenraum her zugänglich und bedienbar ist und von welcher aus die Steuerung und Ueberwachung der neuen Anlage erfolgt.

### 3. Beschickung und Entleerung der Schnellkühlanlage

Das Kühlgut, in der Hauptsache Fleisch geschlachteter Schweine, kommt von der Schlachthalle unter Durchquerung der Verbindungshalle auf das erste, nördliche Abstellgleis der Kleinviehvorkühlhalle, Bild 1. Parallel dazu verläuft das auf Wandträgern montierte «Umhängegleis» der Nieder-Rohrgleitbahn. Hier werden die Tierkörper mit zwei hydraulisch betätigten Umhängeaggregaten, Konstruktion Riniker-Rupperswil, halbmechanisch von der Hochbahn-Wanderspreize auf die Spreize der Niederbahn übergehängt und nach den Schnellkühlkammern geschoben. Dort können die einzelnen Gleisstränge durch Umlegen der verschiedenen Weichen bedient werden.

Für den Abtransport des durchgekühlten Fleisches stehen zwei Wege offen. Der erste führt als Fortsetzung entlang der Südwand der Kleinviehvorkühlhalle zum Eingang der Kühlzellenhalle. Dort ist das Fleisch auf die Doppelschienen-Niederbahnen umzuhängen, die in die einzelnen Zellen der Metzgereifirmen zuführen. Der zweite Weg geht von der Südostecke der grösseren Schnellkühlkammer unter Durchquerung einer Kälteschleuse auf das Abhängegleis, das sich längs der Südfassade des Kühlhaus-Kellergeschosses

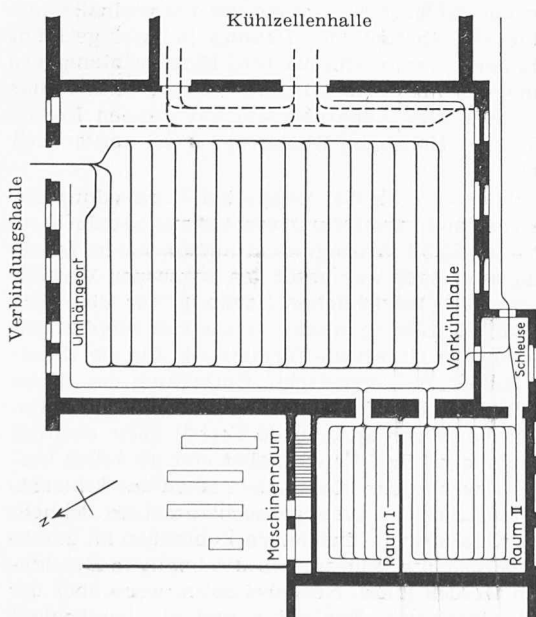


Bild 1. Vorkühlhalle und Schnellgefrierräume

- Doppelschienen-Hochbahn
- - - Doppelschienen-Niederbahn
- Nieder-Rohrgleitbahn

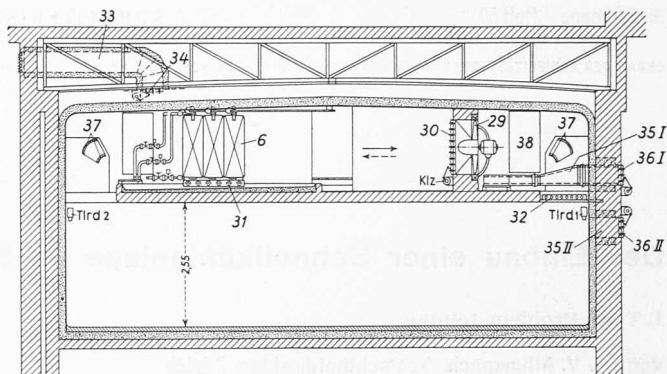


Bild 4. Längsschnitt durch einen Schnellkühlraum mit zugehörigem Luftkühlerraum, Legende der Ziffern siehe Bild 11, Seite 813

hinzieht. Von diesem Gleis aus können die Kühl- und Arbeitsräume im Kellergeschoss beschickt oder aber die Fahrzeuge der Metzgerschaft beladen werden. Auf diese Weise wird ein Rücküberhängen des schnellgekühlten Fleisches von der Nieder- auf die Hochbahn vermieden, und es tritt zudem eine fühlbare Entlastung des Abholverkehrs in der Verbindungshalle ein.

Die vorstehend skizzierte Anlage erfüllt nach den bisherigen Erfahrungen die gestellten Erwartungen in vollem Umfange. Wie aus dem 2. Teil dieses Aufsatzes hervorgeht, wurde sie für kältetechnisch sehr differenzierte, weitgehend abstufbare Leistungen projektiert, wie dies für eine rein praktische Verwendung nicht unbedingt notwendig gewesen wäre. Man wollte mit dieser Anlage neben dem Tagesbetrieb eigene Erfahrungen in der Schnellkühlung schlachtwarmer Tierkörper unter den verschiedensten Bedingungen sammeln, um diese beim Bau des neuen Kühlhauses in der dritten Vollausbautappe auswerten zu können. Dies erweist sich als notwendig, weil die Entwicklung der Schnellkühlung zur Zeit noch keineswegs als abgeschlossen angesehen werden kann.

## 2. Teil: Die technischen Anlagen

Von A. Ostertag, dipl. Ing., Zürich

### 1. Anforderungen

Der Schnellkühlvorgang kann entweder in einem Tunnel verwirklicht werden, in dem sich das Fleisch in kontinuierlichem Betrieb im Gegenstrom zur Luft bewegt und nach Durchlaufen der Schnellkühlstrecke den Tunnel verlässt, oder in einem Raum mit starker Luftumwälzung, den man mit

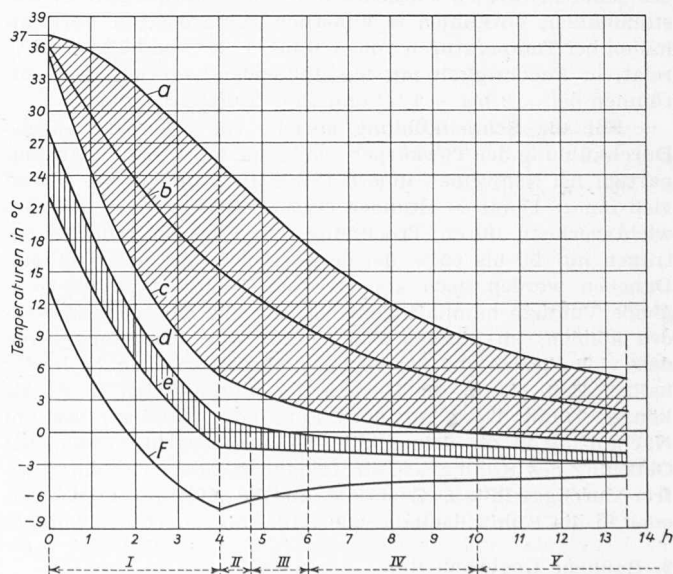
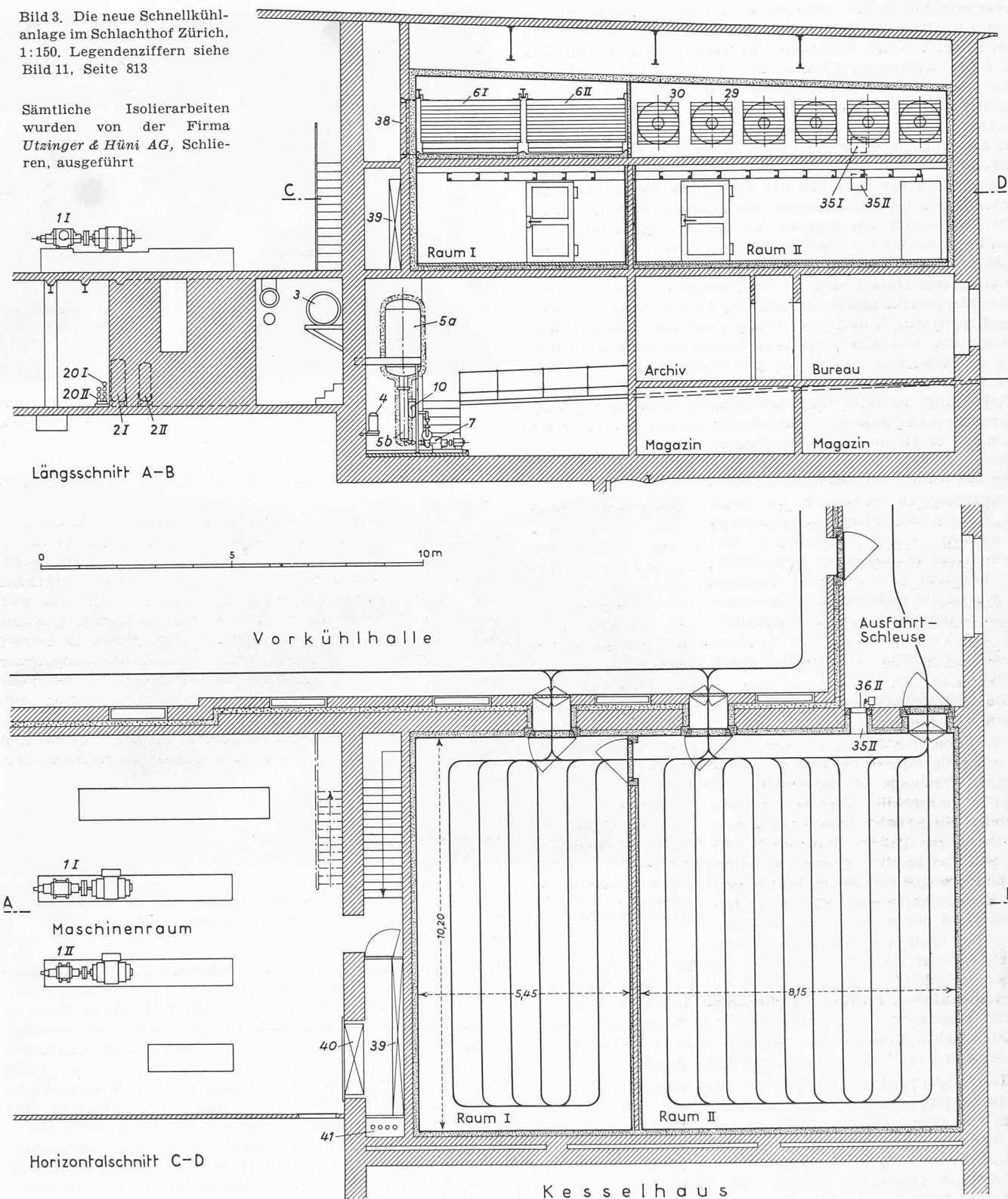


Bild 2. Typischer Verlauf der massgebenden Temperaturen während des Schnellkühlvorganges

Bild 3. Die neue Schnellkühl-anlage im Schlachthof Zürich, 1:150. Legendennummern siehe Bild 11, Seite 813

Sämtliche Isolierarbeiten wurden von der Firma *Uttinger & Hüni AG*, Schlieren, ausgeführt



schlachtwarmem Fleisch füllt und in dem die Kühlung chargenweise durchgeführt wird, bis das Fleisch im Kern die gewünschte Temperatur erreicht hat. Im Schlachthof Zürich wird das zweite Verfahren angewendet. Es ist an das Erfüllen bestimmter Bedingungen gebunden, die sich zum Teil widersprechen, so dass Kompromisse zu treffen sind. Diese Bedingungen sind:

- Niedrige Temperatur der Kühlraumluft, damit die Abkühlung rasch vor sich geht.
- Hohe relative Feuchtigkeit, um den Gewichtsverlust gering zu halten.
- grosse Luftgeschwindigkeit, um guten Wärmeübergang an der Fleischoberfläche zu erzielen.

- Das Fleisch darf an keiner Stelle gefrieren.
- Überall gleiche Abkühlungsbedingungen.
- Tragbare Anlage- und Betriebskosten.

Die Forderung d) schränkt a) ein. Als günstige Lufttemperatur hat sich  $-3^{\circ}\text{C}$  ergeben, gemessen beim Eintritt der Luft in den Kühlraum. Die Forderungen b), c) und e) führen zu grossen umzuwälzenden Luftmengen, damit sich die Luft innerhalb des Raumes nur wenig erwärmt und sich an den Luftkühlerflächen wenig Feuchtigkeit ausscheidet. Zugleich sind mit Rücksicht auf Bedingung b) die Kühleroberflächen gross zu wählen, so dass deren Temperatur nur wenig unter der Lufttemperatur bei Kühleraustritt liegt. Bedingung f) grenzt aber die Umluftmenge und die Kühler-



grösse wie namentlich auch die Kälteleistung der Kompressoren ein. Diese wurde so gewählt, dass die Lufttemperatur beim Eintritt in den Kühlraum, die während des Beschickens mit schlachtwarmem Fleisch bis über  $+20^{\circ}\text{C}$  ansteigen kann, bei voller Beschickung beider Räume in etwa vier Stunden auf  $-3^{\circ}\text{C}$  gesunken ist.

Der Verlauf der massgebenden Temperaturen geht aus Bild 2 hervor. In der ersten Phase, in der die verfügbare Maschinenleistung voll eingesetzt ist, sinken, wie ersichtlich, die Temperaturen der Luft und der Fleischoberfläche rasch ab, während jene im Fleischinnern nur langsam nachfolgen. Es stellt sich somit ein grosses Temperaturgefälle zwischen Kern und Oberfläche des Fleisches ein, und es wäre offensichtlich unzweckmässig, dieses Gefälle über ein wirtschaftlich tragbares Mass hinaus zu vergrössern. Dank der grossen Luftkühleroberflächen stellen sich am Anfang hohe Verdampfungstemperaturen und folgerichtig auch eine grosse Kälteleistung ein, was allerdings eine dementsprechende Bemessung des Kondensators und der Antriebsmotoren voraussetzt. In den folgenden Phasen sind Verdampfungstemperatur und Kälteleistung mittels einer geeigneten Leistungsregelung derart zu regeln, dass die massgebende Lufttemperatur ihren optimalen Wert unverändert beibehält.

Eine weitere Forderung bestand darin, die Räume, in denen der Schnellkühlvorgang zu vollziehen ist, auch zum Lagern des Fleisches verwenden zu können, wobei Temperatur und Feuchtigkeit bei mässiger Luftumwälzung konstant zu halten sind. Schliesslich waren die technischen Einrichtungen so zu entwerfen, dass deren Hauptteile bei Verwirklichung der 3. Ausbau-Etappe wieder verwendet werden können.

## 2. Die kältetechnischen Einrichtungen in den Kühlräumen

Die von der Firma Escher Wyss AG., Zürich, projektierte und ausgeführte Kälteanlage ist auf den Bildern 3 bis 10 dargestellt. Die zwei nebeneinander liegenden Kühlräume sind 2,55 m hoch, 10,2 m lang und 5,45 bzw. 8,15 m breit. Sie werden durch Doppeltüren auf den Schmalseiten von der Vorkühlhalle für Kleinvieh beschickt und durch eine dritte Doppeltüre, die nach der Ausfahrtschleuse öffnet, entleert. Das Rohrbahnnetz, an dem die Kleinviehhälften aufgehängt werden, befindet sich auf einer Höhe von 2,2 m über Boden. Im Raum I können rd. 13,5 t, im Raum II rd. 22,0 t Schweine- und Kälberhälften in 12 bis 15 Stunden von der Schlachttemperatur auf eine mittlere Fleischtemperatur von 2 bis  $4^{\circ}\text{C}$  gleichzeitig gekühlt werden.

Der Lagerbetrieb vollzieht sich unter völlig anderen Arbeitsbedingungen: Die Umluft tritt mit etwa  $-0,5^{\circ}\text{C}$  in den Raum ein. Ihre Menge ist stark verringert. Weiter tritt die Feuchtigkeitsregelung in Wirksamkeit. Je nach Bedarf können der grössere oder der kleinere oder beide Räume auf Lagerbetrieb geschaltet werden. Die Einstellung der gewünschten Betriebsart wird am Schalttableau von Hand vorgenommen, die Umstellung vom Schnell-Kühl- auf den Lagerbetrieb kann aber auch automatisch erfolgen.

In der ersten Phase des Schnellkühlvorganges durchströmt die Umluft die Räume in der Längsrichtung mit einer Geschwindigkeit von etwa 1,3 m/s. Die Strömungsrichtung wird periodisch umgekehrt, damit die Abkühlungsbedingungen an allen Stellen des Raumes die selben sind. Eine Schaltuhr steuert diese Umkehrung, die sich bei den verwendeten Axialventilatoren durch einfachen Drehrichtungswechsel vollziehen lässt.

Besondere Sorgfalt ist auf eine strömungstechnisch günstige Luftführung gelegt worden, um mit geringem Leistungsbedarf der Ventilatoren und entsprechend kleiner Wärmeeinfuhr auszukommen. Wie aus dem Längsschnitt

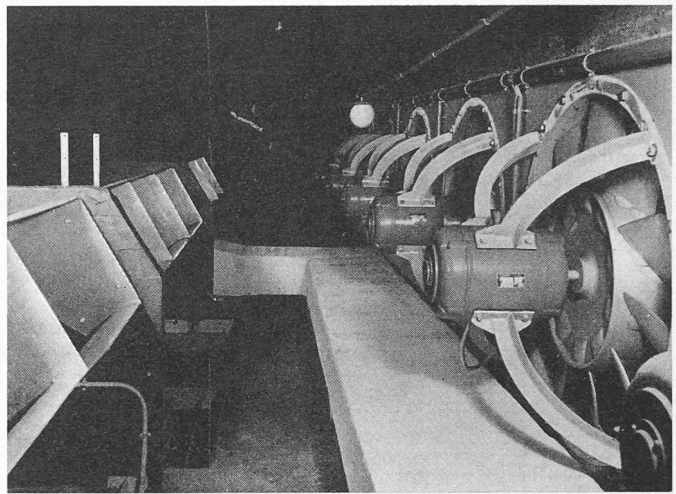


Bild 5. Luftkühlerraum, Teil links: Links Umlenkbleche, darunter Durchtrittsöffnung zum Schnellkühlraum mit elektrischen Heizstäben, in Mitte Abluftkanal von Raum I, rechts Ventilatoren

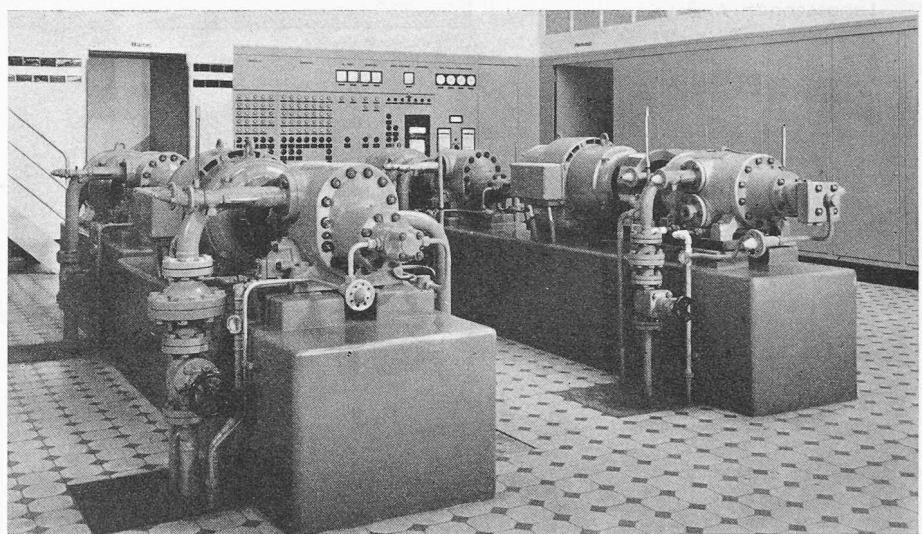


Bild 8. Maschinenraum, vorn die beiden Rotasco-Kompressoren für die Schnellkühlanlage. Die dahinter aufgestellten Kompressoren dienen andern Kühlaufgaben. An der Rückwand die Kommandoschalttafel, dahinter der Raum für die elektrischen Apparate

Bild 4 ersichtlich, sind die Ventilatoren und die Luftkühler unmittelbar über den Räumen in Kammern untergebracht, die die gleiche Breite aufweisen wie die Kühlräume. Dadurch ergeben sich grosse Querschnitte, also kleine Geschwindigkeiten und einfache Luftwege. Die Strömungsverhältnisse bei den Umlenkungen an den Raumenden werden durch Blechlamellen 37 aus Aluman verbessert. Zum kleineren Raum gehören zwei Luftkühlereinheiten und vier Ventilatoren, zum grösseren drei Einheiten und sechs Ventilatoren. Jeder Ventilator wird durch einen polumschaltbaren Motor angetrieben; er fördert bei 950/450 U/min 16 000/7750  $\text{m}^3/\text{h}$  und braucht dazu rd. 3,0 bzw. 0,5 PS. Die grössere Luftmenge wird nur in den ersten Phasen des Schnellkühlvorganges benötigt; in den Endphasen sowie beim Lagerbetrieb arbeiten die Ventilatoren mit halber Drehzahl. Im Lagerbetrieb bewegt sich die Luft stets in der selben Richtung und zwar derart, dass die wärmere Rückluft aus dem Kühlraum zuerst den Luftkühler und nachher die Ventilatoren durchströmt (ausgezogener Pfeil).

Jeder Ventilator ist mit einer elektrisch betätigten neungliedrigen Luftklappe 30 ausgerüstet, die vom Schützen des Ventilatomotors ferngesteuert wird und mit dessen Ein- oder Ausschalten öffnet oder schliesst. Diese Klappen verhindern unerwünschte Luftströmungen bei Stillstand, insbesondere auch während des Abtauens, sowie Luft-Kurzschlüsse, wenn nur einzelne Ventilatoren laufen. Weiter ist jeder Raum mit einem Frischluftkanal 33 ausgerüstet, der vor dem Luftkühler 6 in den Rückluftstrom mündet und mit einer fern-

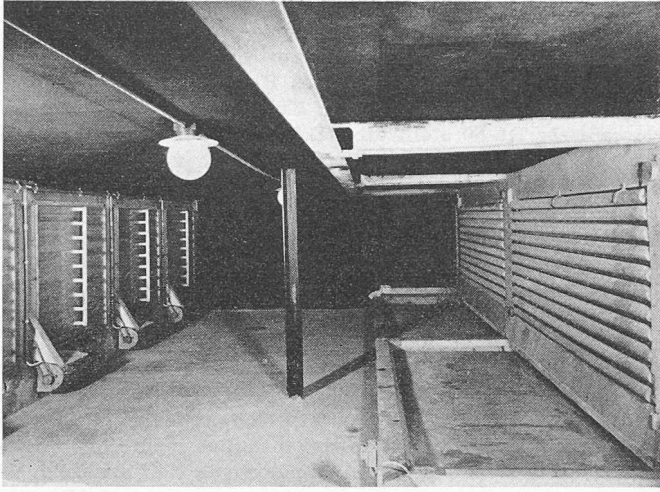


Bild 6. Luftkühlerraum, mittlerer Teil: Links Luftklappen zu den Ventilatoren mit elektrischem Antrieb, rechts Luftkühlerelemente, darunter Tropfschalen

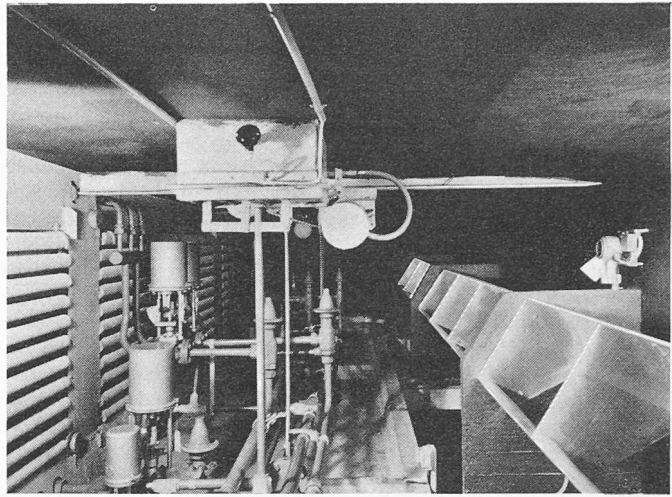


Bild 7. Luftkühlerraum, Teil rechts: Links Luftkühlerelemente mit Motorventilen für Vor- und Rücklauf, darunter Tropfschale, rechts Umlenkleche, darunter Durchtrittsöffnung zum Schnellkühlraum. Rechts aussen Thermostat Tlrd 5

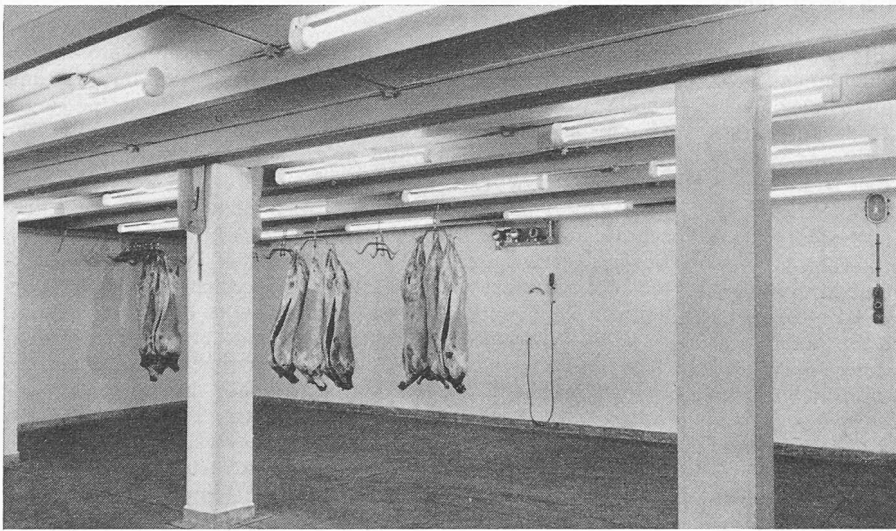


Bild 9. Blick in den Schnellkühlraum II, an der Wand die Apparate Tlrd 6, Tl 3, Tl 4, H 2, darunter eine Messsonde für die Fleischtemperatur im Kern

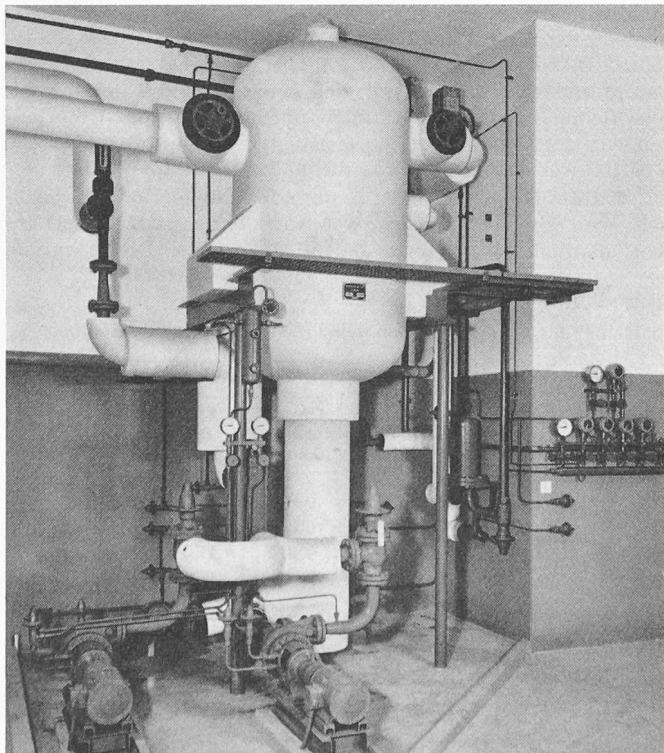


Bild 10. Apparateraum im Kellergeschoss mit Flüssigkeitsabscheider, Schwimmerventil (an der Wand rechts) und Umwälzpumpen für die Ammoniakflüssigkeit (unten)

gesteuerten Klappe 34 versehen ist. Die ebenfalls fernbedienbaren Abluftklappen 36 öffnen gegen die Ausfahrtschleuse, wodurch diese gleichzeitig gekühlt wird. Die Frischluftklappen beider Räume lassen sich individuell über zwei im Schaltschrank eingebaute Handpotentiometer progressiv derart regeln, dass jeder Raum dauernd die gewünschte Frischluftmenge zugeteilt erhält. Beim Schnellkühlbetrieb sind die Frisch- und die Abluftklappen automatisch geschlossen, ebenso beim Abtauen der Luftkühler und bei Ausserbetriebsetzen eines Raumes.

### 3. Der Kreislauf des Kältemittels

Die Kühlwirkung der Luftkühler kommt durch Verdampfen von flüssigem Ammoniak im Innern der Kühlerrohre bei niedrigem Druck und entsprechend niedriger Temperatur zustande.

Der Dampf wird von den Kompressoren auf höheren Druck gebracht, so dass er sich im Kondensator unter Wärmeabgabe an das Kühlwasser verflüssigt. Das Kondensat fliesst unter Entspannung auf den Verdampfungsdruck im Regulierventil wieder den Luftkühlern zu.

Dieser einfache Kreislauf erfuh in der Schlachthofanlage insofern eine Verfeinerung, als das Kältemittel den Luftkühlergruppen nach dem Umwälzverfahren zugeteilt wird. Wie aus dem Schaltbild 11 ersichtlich ist, gelangt der im Kondensator 3 verflüssigte Ammoniak über das Hochdruck-Schwimmerventil 4 zunächst in das unter Saugdruck stehende Abscheidergefäss 5a, das mit einem langen Sack 5b versehen ist. Vom untersten Teil saugt eine der beiden Pumpen 7 I oder 7 II (die andere ist Reserve) Flüssigkeit ab und fördert sie durch die Vorlaufleitung 8 nach den fünf Luftkühlergruppen 6 I bis 6 V. Dort verdampft ein Teil. Das austretende Flüssigkeits-Dampfgemisch strömt durch die grosse Rücklaufleitung 9 nach 5a zurück, wo sich die Flüssigkeit absetzt, während der Dampf von den Kompressoren 1 I und 1 II abgesogen und über die Oelabscheider 2 I und 2 II wieder in den Kondensator 3 gefördert wird. Ein- und Austritt zu den einzelnen Kühlergruppen sind mit ferngesteuerten Motorventilen Vkz 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14, 17, 18 versehen.

Das Umwälzverfahren erleichtert die individuelle Steuerung der einzelnen Luftkühlerelemente sowie die Leistungs-



anpassung an den jeweiligen Bedarf. Da ein Mehrfaches der in den Kühlern verdampfenden Menge in flüssiger Form umgewälzt wird, sind die Kühlerrohre innenseitig reichlich benetzt und daher voll wirksam. Ein hochliegender Abscheider ist nicht erforderlich; seine Aufstellung hätte aus baulichen Gründen Schwierigkeiten bereitet. Beim Abschalten eines Luftkühlers entleert sich dessen Füllung in den tiefliegenden Behälter 5, so dass kein Nachverdampfen im Kühler und damit auch keine Nachkühlwirkung auftritt, die unerwünscht wäre. Das periodische Abtauen der einzelnen Luftkühlerelemente mit warmem Kältemitteldampf lässt sich, wie noch zu zeigen sein wird, auf einfache und betriebssichere Weise automatisch durchführen. Voraussetzung ist allerdings eine zweckentsprechende Anordnung und eine besondere Konstruktion der Zirkulationspumpen 7. Insbesondere müssen diese Pumpen günstige Einlaufverhältnisse und ammoniakdichte Stopfbüchsen aufweisen. Diese arbeiten mit Oelspernung und sind dazu mit einem hochliegenden Oelbehälter 11 verbunden. Vor allem muss volle Gewähr geboten sein, dass die Pumpen auch bei Reguliervorgängen wegen Dampfbildung im Saugteil nicht abschnappen, weshalb sie tief genug unter dem niedrigsten Flüssigkeitsstand im Behälter 5 angeordnet und mit Einrichtungen zum Vorkühlen vor der Inbetriebsetzung versehen sind. Diese sind in Bild 5 nicht eingezeichnet.

Wie aus Bild 3 ersichtlich, befinden sich die beiden Kompressoren im Maschinenraum neben den Kühlräumen, während die zugehörigen Oelabscheider, Oelkühler sowie der Kondensator im darunterliegenden Teil des Kellergeschosses aufgestellt sind. Der Abscheider 5, die Pumpen 7 und weitere Teile des Kältemittelkreislaufs haben unter den Kühlräumen in einem besonderen Kellerraum Platz gefunden, Bild 10.

Die fünf Luftkühler bestehen aus je drei Elementen, von denen jedes fünf parallele Schlangen aus berippten, verzinkten Rohren aufweist. Die Luft durchströmt hintereinander alle 15 Rohrschlangen. Die Tropfschale ist sehr breit ausgeführt, um die Wassertropfen auffangen zu können, die in der ersten Phase des Schnellkühlvorganges durch die starke Luftströmung abgeschleudert werden. Sie wird im Bereich unter den Luftkühlerelementen während des Abtauens elektrisch geheizt, um ein Festfrieren von Tropfwasser zu verhindern.

Der Reifansatz an den Luftkühlern ist periodisch abzutauen. Dies kann durch Umwälzen von Kühlraumluft geschehen, sofern diese warm genug ist. Man stellt dazu die beiden Kompressoren still und taut alle fünf Kühler gleichzeitig ab, indem sämtliche Ventilatoren in Betrieb gesetzt und die Heizstäbe unter den Kühlern eingeschaltet werden.

In der Regel tauen die Luftkühler selbsttätig durch Einleiten von warmem Kältemitteldampf aus der Druckleitung ab, wobei sich dieser Dampf verflüssigt. Dabei wird stets nur ein Luftkühler nach dem andern enteist und die Kühlung des Nachbarraumes in offener Stellung blockiert, damit auf alle Fälle der nötige Kältemitteldampf verfügbar ist. Soll beispielsweise der Luftkühler 6 I des kleinen Raumes I abgetaut werden, so werden die Ventile Vkz 9, 10, 13, 14, 17, 18

geöffnet und blockiert, während die Ventile Vkz 1, 2, 5, 6 schliessen. Die Ventilatoren zu den Kühlern 6 I und 6 II schalten aus, die zugehörigen Luftklappen wie auch die Frischluft und Abluftklappen des Raumes I schliessen, die Tropfschalenheizung unter dem Kühler 6 I schaltet ein. Der Kompressor RL 80 stellt ab, RL 40 geht auf die volle Drehzahl, das Kühlwasserventil Vwrd schliesst, während die Abtauventile Vkz 3 und 4 öffnen. Der Kompressor RL 40 saugt nun den in den Kühlern 6 III bis V sich bildenden Dampf ab und fördert ihn durch die Abtauleitung 14 in den Luftkühler 6 I, während das dort entstehende Kondensat durch die Leitung 15 und das fest eingestellte Handreguliertventil 13 in den Behälter 5a zurückfliesst. Sobald aller Reif abgeschmolzen und der Kühler wieder trocken geworden ist, schliessen seine Abtauventile und es öffnen die des Kühlers 6 II. Alle diese Vorgänge werden durch eine Schaltuhr ausgelöst und verlaufen automatisch. Sie können daher ohne Belastung des Bedienungspersonals täglich mehrmals durchgeführt werden, so dass jeweilen nur wenig Reif abzusmelzen ist und die Abtauzeit pro Kühler nur etwa 15 Minuten beträgt. Im Betrieb hat sich gezeigt, dass der Schnellkühlvorgang, der bis 15 Stunden dauern kann, in der Regel nicht unterbrochen werden muss, weil der Reifansatz nur klein ist.

#### 4. Die Leistungsregelung

Das Einhalten des in Bild 2 dargestellten Temperaturverlaufs erfordert eine genaue Anpassung der Kälteleistung an die stark wechselnden Bedürfnisse. Hierzu dient eine Regelung in sechs Stufen, die durch wechselweises Arbeiten der beiden Kompressoren mit voller oder verringerter Drehzahl verwirklicht wurde. Die Leistungsabstufung geht aus Tabelle 1 hervor. Zum Antrieb werden polumschaltbare Kurzschlussläufer-Duomotoren der Firma Schindler & Cie. AG., Luzern, verwendet. Die Einstellung der jeweiligen erforderlichen Leistungsstufe erfolgt im wesentlichen in Abhängigkeit der Lufttemperatur bei deren Eintritt in den Kühlraum.

Die Wirkungsweise soll zunächst bei gleichzeitigem Schnellkühlbetrieb in beiden Räumen verfolgt werden. Zu Beginn ist die Raumluft warm, weshalb die Rheo-Thermostaten Tlrd 1 oder 2 im Raum I bzw. Tlrd 4 oder 5 im Raum II die volle Leistung beider Kompressoren und die volle Drehzahl aller Ventilatoren einstellen. Ist im Verlauf des Kühlvorganges z. B. im Raum I die Lufttemperatur auf etwa  $-1,5^{\circ}\text{C}$  gesunken, so verstellt einer der beiden Rheo-Thermostaten Tlrd 1 oder 2 einen Walzenschalter, der die nächst kleinere Laststufe einstellt. Dieses Spiel geht weiter, bis entweder der Schnellkühlvorgang beendet ist oder bis, was seltener vorkommt, bei etwa  $-3^{\circ}\text{C}$  die kleinste Stufe erreicht ist. Dabei bleiben die Ventile in den Flüssigkeitsleitungen zu sämtlichen Luftkühlern voll geöffnet. Die Verdampfungstemperatur passt sich, wie aus Bild 2 hervorgeht, der kleiner werdenden Kälteleistung an. Mit dem Umschalten von der vierten auf die fünfte Leistungsstufe gehen die Ventilatoren selbsttätig auf die halbe Drehzahl zurück.

Da die Umluft ihre Strömungsrichtung periodisch wechselt, sind in jedem Raum zwei Rheo-Thermostaten vorhanden, nämlich je einer an jedem Raumende. Diese werden

Tabelle 1. Leistungsabstufung der Kompressoren und Ventilatorleistungen bei gleichzeitigem Schnellkühlbetrieb in beiden Räumen

Leistungsstufe	Betriebszustand	Drehzahl		Kälteleistung bei $-5/+25^{\circ}\text{C}$	Leistungsbedarf <sup>1)</sup>	Kühlwasserbedarf <sup>2)</sup>	Ventilatoren		
		RL 40 U/min	RL 80 U/min				Drehzahl U/min	Fördermenge $\text{m}^3/\text{h}$	Leistungsbedarf kW
I	Schnellkühlung	960	960	153 000	46	13,4	930	160 000	26
II	Anfangsphase	480	960	128 000	39	11,2	930	160 000	26
III	Schnellkühlung	0	960	105 000	32	9,2	930	160 000	26
IV	mittlere Phase	0	725	77 000	24	6,8	930	160 000	26
V	Schnellkühlung	960	0	48 000	15	4,2	450	78 000	4,5
VI	Endphase	480	0	23 000	7	2,0	450	78 000	4,5
VII	Lagerkühlung	480 <sup>2)</sup>	0	12 000	6	1,1	450	78 000	4,5

1) an den Klemmen bei  $-5/+25^{\circ}\text{C}$ .

2) mit Saugdrosselregelung.

3) bei einer Eintrittstemperatur von  $10^{\circ}\text{C}$ .

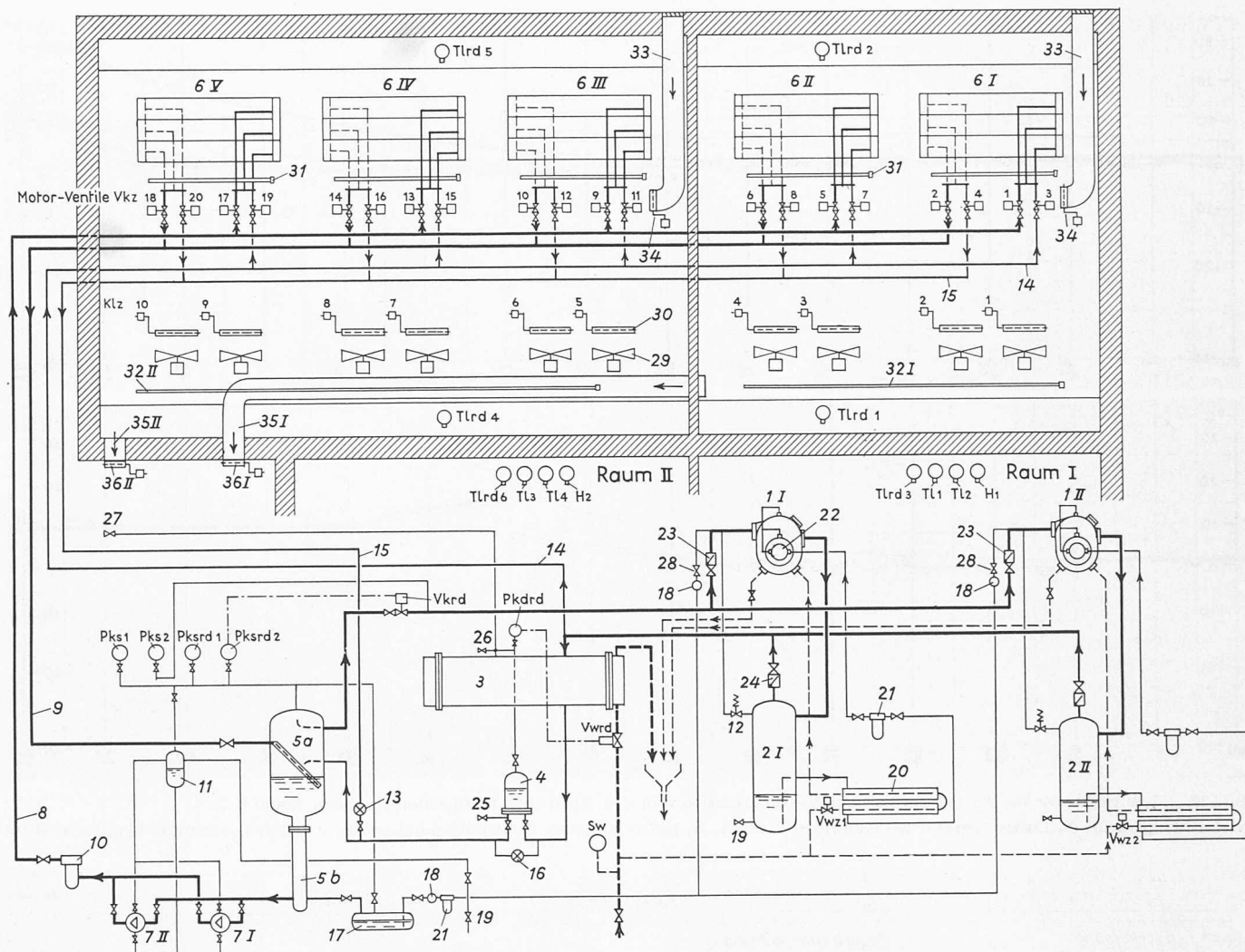


Bild 11. Schaltbild der neuen Schnellkühlanlage im Schlachthof Zürich

1 I	Rotasco-Kompressor RL 80	23	Rückschlagventil in Saugleitung	Vkrd	Progressiv gesteuertes Motorventil für Saugdrossel-Regelung
1 II	Rotasco-Kompressor RL 40	24	Rückschlagventil in Druckleitung	Vwz	Motorventil für Oel- und Kompressor-Kühlung
2 I, 2 II	Oelabscheider	25	Füllventil	Pks 1	Pressostat für Verdampfungsdruck zum Schutz gegen unerwünschte Heizwirkung
3	Kondensator	26	Entlüftung	Pks 2	Pressostat für Saugdruck
4	Hochdruck-Schwimmerreguliertventil	27	Brandventil	Pksrd 1	Rheopressostat zur Leistungsregelung
5a	Flüssigkeitsabscheider	28	Oelrückführventile	Pksrd 2	Rheopressostat zur Steuerung von Vkrd
5b	Flüssigkeitssack	29	Ventilatoren	Pkd 1 u. 2	Pressostat für Förderdruck
6 I bis V	Luftkühler	30	Ferngesteuerte Luftklappen zu 29	Pkdrd	Rheopressostat zur Steuerung von Vwrd
7 I u. 7 II	Umwälzpumpen für NH <sub>3</sub> -Flüssigkeit	31	Abtauheizung der Tropfschalen	Tlrd 1, 2, 4, 5	Rheo-Raumthermostaten für die Leistungsregelung bei Schnellkühlbetrieb
8	Vorlaufleitung	32 I, II	Raumheizung für Feuchtigkeitsregelung	Tlrd 3, 6	Rheo-Raumthermostaten für die Leistungsregelung bei Lagerbetrieb
9	Rücklaufleitung	33	Frischluftkanäle	Tl 1, 3	Thermostaten zum Schutz gegen zu hohe Raumtemperatur
10	Filter für Ammoniakflüssigkeit	34	Ferngesteuerte Klappen zu 33	Tl 2, 4	Thermostaten für Winterheizung
11	Oelhochbehälter für die Stopfbüchsen zu 7 I und 7 II	35 I, II	Abluftkanäle	H 1, 2	Humidostaten für Feuchtigkeitsregelung
12	Sicherheits-Ueberströmventile zu 1 I und 1 II	36 I, II	Ferngesteuerte Klappen zu 35	Sw	Kühlwasser-Kontrollschalter
13	Handreguliertventil zu 15	37	Umlenkleche (Bild 4)	Bl 1, 2	Luftströmungswächter
14	Abtauleitung (Druckgas)	38	Türe zum Luftkühlerraum		
15	Flüssigkeitsleitung zum Abtauen	39	Elektrische Apparate (Bild 3)		
16	Handreguliertventil zu 4	40	Kommandoschalttafel		
17	Oelsammelbehälter	41	Leitungskanal		
18	Oeldurchflusskontrollier	Vkz 1, 5, 9, 13, 17	Motorventile im Vorlauf		
19	Oelablassventil	Vkz 2, 6, 10, 14, 18	Motorventile im Rücklauf		
20	Oelkühler	Vkz 3, 7, 11, 15, 19	Motorventile für Druckgas (Abtauen)		
21	Oelfilter	Vkz 4, 8, 12, 16, 20	Motorventile für Kondensat (Abtauen)		
22	Oelabsperrentventil am Kompressor	Vwrd	Progressiv gesteuertes Motorventil für Kühlwasser		

mit dem Richtungswechsel der Ventilatorgruppen sinngemäss auf die Leistungsregelung umgeschaltet. Die Abkühlungsvorgänge verlaufen je nach der Belegung in den beiden Räumen verschieden schnell. Massgebend für die Leistungsregelung ist jeweils der wärmere Raum.

Der Abkühlungsvorgang ist beendet, wenn das Fleisch im Kern die verlangte Temperatur von etwa + 4° C erreicht

hat. Als dann muss auf Lagerbetrieb umgeschaltet werden, weil sonst für die exponierten Oberflächenpartien Gefriergefahr bestehen würde. Die Umschaltung geschieht entweder von Hand oder mittels einer Schaltuhr, an der die Abkühldauer auf Grund von Erfahrungen eingestellt werden kann. Es ist auch möglich, sie durch ein Thermolement auszulösen, dessen eine Lötstelle in den Kern eines Fleisch-



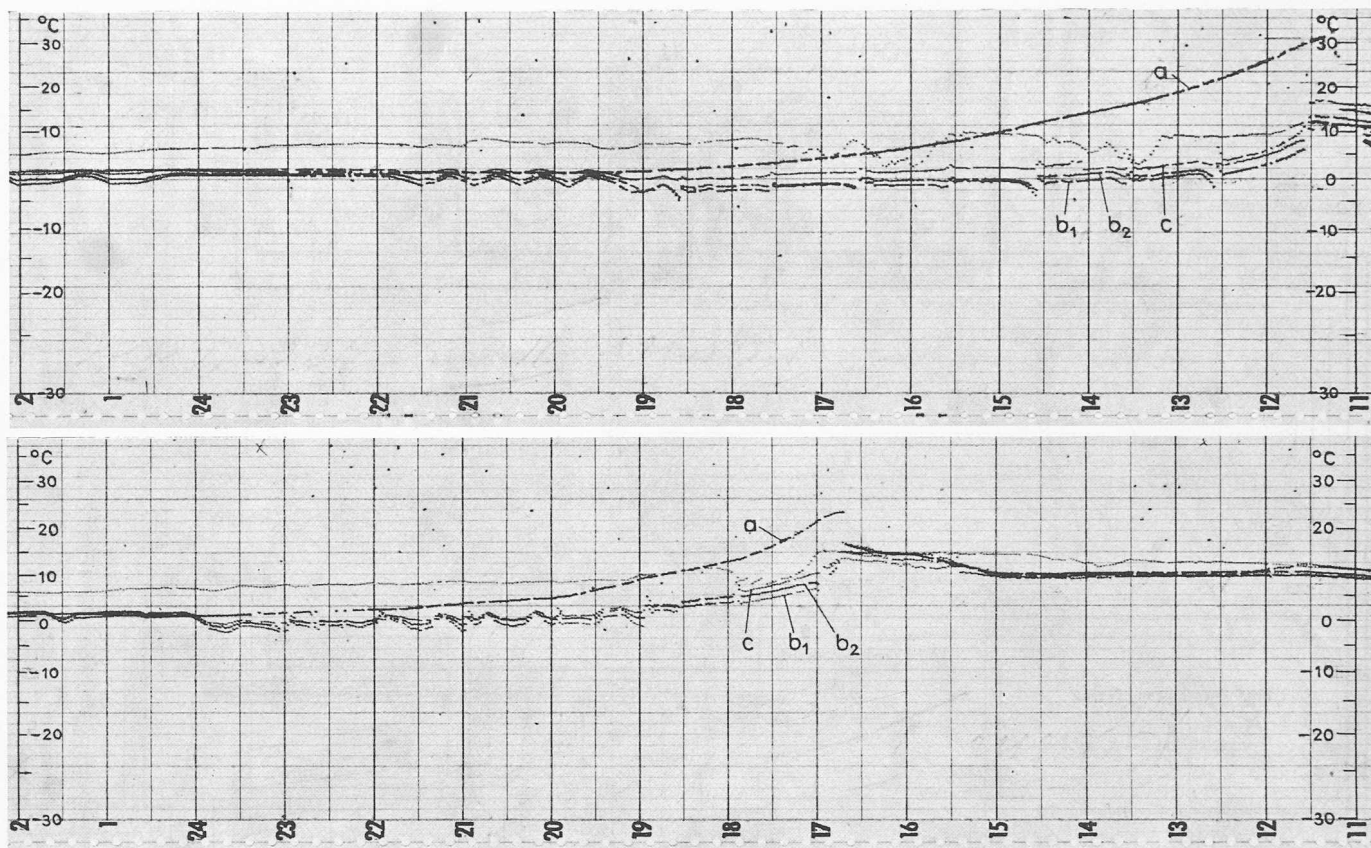


Bild 12. Messtreifen für die Temperaturen beim Versuchsbetrieb vom 4./5. April 1960. Oben Raum II, unten Raum I  
a Kerntemperatur, b<sub>1</sub> Lufttemperatur bei Kühlraum-Eintritt, b<sub>2</sub> Lufttemperatur bei Kühlraum-Austritt, c Lufttemperatur in Kühlraum-Mitte

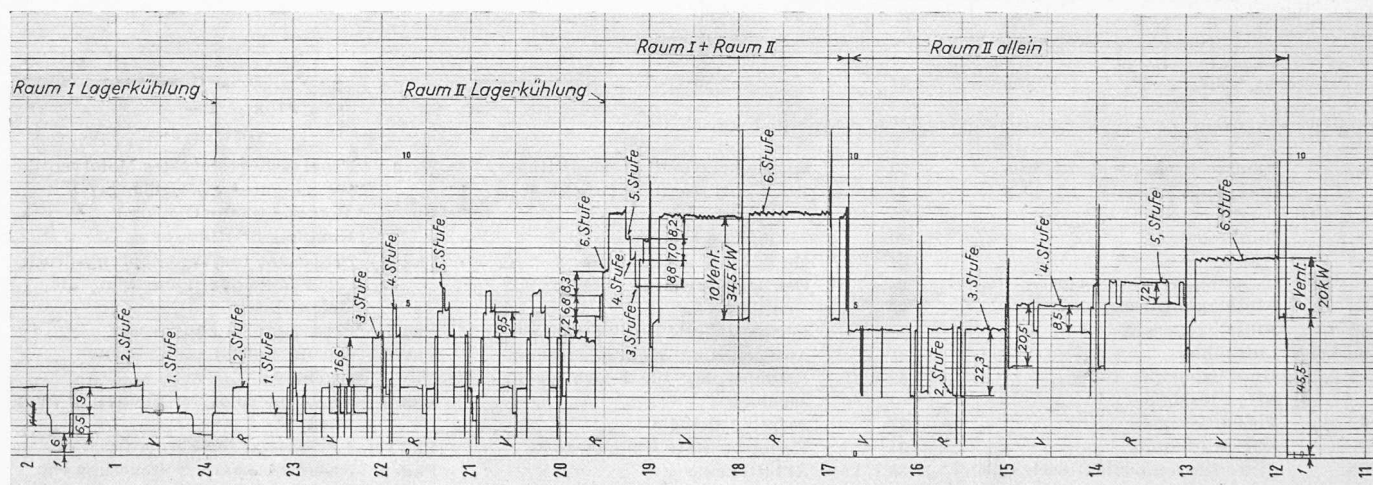


Bild 13. Messtreifen für die aufgenommene elektrische Leistung während des Versuchsbetriebes vom 4./5. April 1960

stückes hineingesteckt wird. Durch das Umschalten wird die Leistungsregelung unter die Kontrolle der Rheo-Thermostaten Tlrd 3 bzw. 6 gestellt, die auf einen Sollwert der Lufttemperatur von etwa  $-0,5^{\circ}\text{C}$  eingestellt sind. Auch jetzt hat wiederum der wärmere Raum das Vorrecht. Damit aber die Temperatur im anderen Raum nicht zu tief sinkt, schliesst bei einer unteren Grenztemperatur ein Endkontakt im Rheo-Thermostaten Tlrd 3 bzw. Tlrd 6 die Motorventile Vkz 1, 2, 5, 6 bzw. Vkz 9, 10, 13, 14, 17, 18 und unterbricht damit die Kühlung, bis die Raumtemperatur ihren Sollwert wieder erreicht hat. Die Ventilatoren bleiben dabei in Betrieb.

Beim Lagerbetrieb tritt neben die Temperaturregelung auch eine Feuchtigkeitsregelung in Funktion. Sie besteht in jedem Raum aus einem Humidostaten H<sub>1</sub> bzw. H<sub>2</sub> und einer elektrischen Heizvorrichtung W<sub>1</sub> bzw. W<sub>4</sub> zum Nachwärmen der gekühlten Luft. Die Heizstäbe sind in die in der Zwischendecke ausgesparte Oeffnung eingebaut, durch welche die Luft in den Raum übertritt. Sie dienen auch zum Hei-

zen des Raumes im Winter und werden dann durch besondere Thermostaten Tl<sub>2</sub> bzw. Tl<sub>4</sub> gesteuert.

Wenn beide Räume auf Lagerbetrieb geschaltet sind, kann der Kältebedarf so gering werden, dass selbst die Leistung des kleinen Kompressors bei der niedrigen Drehzahl noch zu gross wäre und sich eine unerwünscht niedrige Verdampfungstemperatur mit Auf-Zu-Regelung in beiden Räumen einstellen würde. In einem solchen Fall tritt eine Saugdrossel-Leistungsregelung in Tätigkeit, die aus dem Rheo-Pressostaten Pksrd 2 und einem progressiv wirkenden Motorventil Vkrd in der Saugleitung besteht und den Verdampfungsdruck auf einen konstanten Wert entsprechend etwa der halben Leistung der untersten Leistungsstufe, also auf etwa 12 000 kcal/h, einreguliert.

##### 5. Zusätzliche Steuereinrichtungen

Zusätzliche Einrichtungen sind nötig, wenn in einem Raum schnellgekühlt und im anderen gelagert wird. So

kann, wie aus Bild 2 ersichtlich, die Verdampfungstemperatur in den ersten Phasen des Schnellkühlvorganges, namentlich bei starken Einführen im Sommer, wesentlich über die Lagertemperatur im Nachbarraum ansteigen, so dass dessen Luftkühler als Kondensator wirken und den Raum heizen würde, was unzulässig wäre. Um dies zu vermeiden, muss die Kühlung in dem zur Lagerung benützten Raum (z. B. Raum I) durch selbsttätiges Schliessen der Motorventile V<sub>kz</sub> 1, 2, 5 und 6 in den Flüssigkeitsleitungen solange unterbrochen werden, bis die Verdampfungstemperatur unter die betreffende Raumtemperatur gesunken ist. Hierzu tritt mit dem Einstellen dieser Betriebsart ein besonderer Ueberwachungsthermostat T<sub>l</sub> in Funktion, der bei Erreichen einer eingestellten oberen Grenztemperatur die genannten Motorventile schliesst. In den selben Steuerstromkreis ist zugleich auch der Pressostat P<sub>ks</sub> 1 eingeschaltet, der erst bei Ueberschreiten des eingestellten Verdampfungsdruckes die Schliessfunktion frei gibt, während er bei Absinken dieses Druckes unter den eingestellten Grenzdruck das Öffnen der Ventile auslöst. Demnach steht während dieser Phase dem Schnellkühlvorgang die volle Leistung beider Kompressoren zur Verfügung, die auch dank der reichlich bemessenen Luftkühler voll ausgenutzt werden kann. Dementsprechend erfolgt die Abkühlung rasch, und die Kühlung des Nachbarraumes setzt nur kurzzeitig aus.

Das Klima im Lagerraum kann nicht nur durch zu hohe Verdampfungstemperatur wie im eben beschriebenen Fall beeinträchtigt werden, sondern auch durch ein zu tiefes Sinken dieser Temperatur. Wenn z. B. Raum I auf Schnellkühlung und Raum II auf Lagerbetrieb eingestellt sind und die Schnellkühlung die volle Kompressorenleistung verlangt, während der Kältebedarf der Lagerung klein ist, so sinkt die Verdampfungstemperatur sehr rasch und es besteht die Gefahr, dass dadurch die Raumluft im Lagerraum zu trocken wird und sich ein ungünstiger Betrieb ergibt. Um ihr zu begegnen, spricht bei einem einstellbaren Saugdruck (entsprechend etwa  $-10^{\circ}\text{C}$ ) der Rheo-Pressostat P<sub>ksrd</sub> 1 an und stellt unabhängig vom sonst massgebenden Rheo-Thermostaten T<sub>lrd</sub> 4 oder 5 im Schnellkühlraum diejenige Leistungsstufe ein, bei der die Verdampfungstemperatur den eingestellten Grenzwert nicht unterschreitet.

Da sich mit der Kälteleistung auch die im Kondensator abzuführende Wärme in weitem Bereich verändert, war es mit Rücksicht auf eine gute Ausnützung des Kühlwassers geboten, die Kühlwasserzufuhr selbsttätig so zu regeln, dass der Verflüssigungsdruck konstant bleibt. Diese Regelung besteht aus dem Rheo-Pressostaten P<sub>kdrd</sub> am Kondensator, der das Motorventil V<sub>wrd</sub> in der Kühlwasserleitung progressiv steuert. Jeder Kompressor erhält weiter Kühlwasser für die Oelkühlung und die Gehäusekühlung. Die zugehörigen Motorventile V<sub>wz</sub> 1 und V<sub>wz</sub> 2 öffnen und schliessen selbsttätig mit dem Ein- und Ausschalten der Kompressormotoren.

Jeder Kompressor ist gegen unzulässiges Ansteigen des Druckes doppelt gesichert (Sicherheits-Pressostaten P<sub>kd</sub> 1 und P<sub>kd</sub> 2, Sicherheitsventile 12), ebenso gegen zu tiefes Absinken des Saugdruckes (Pressostat P<sub>ks</sub> 2). Die Motoren sind in üblicher Weise gegen Ueberlastung, Phasenausfall, Kurzschluss usw. gesichert. Im Brandfall ist das Kältemittel durch Öffnen des Brandventils 27, das sich im Freien befindet, abzulassen.

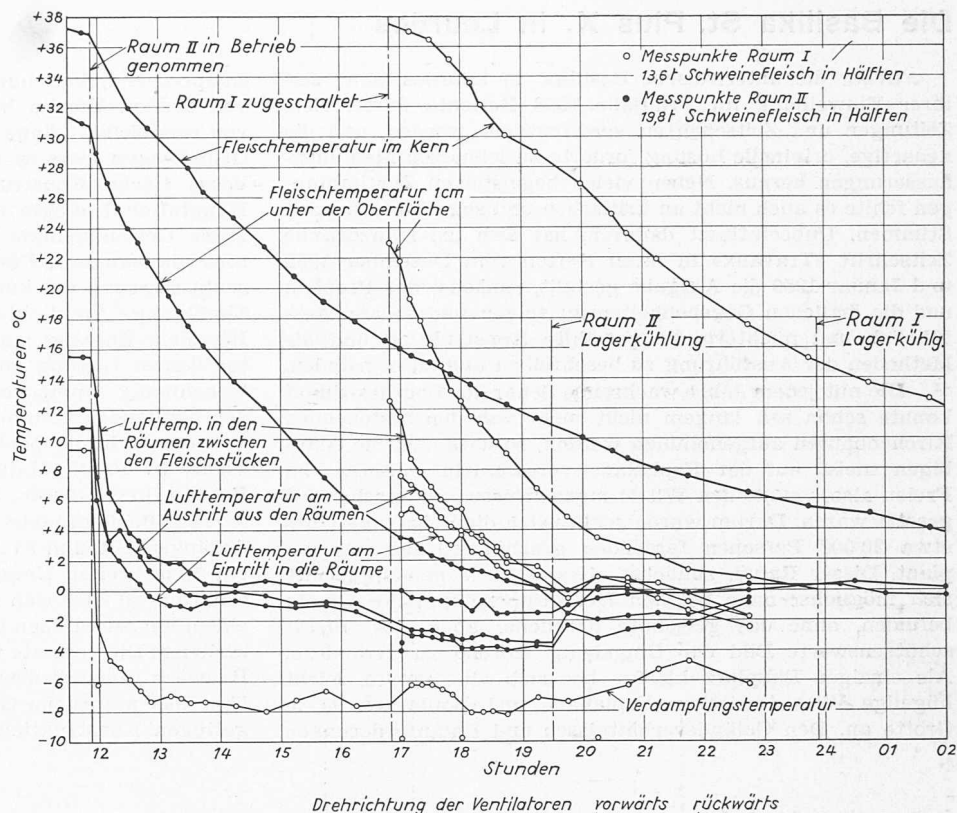


Bild 14. Verlauf der gemessenen Temperaturen während des Versuchsbetriebes vom 4./5. April 1960

## 6. Betriebsverhalten

Das Betriebsverhalten der Anlage wurde im Anschluss an das Einstellen der Regel- und Steuerrichtungen durch eingehende Beobachtungen und Messungen verfolgt. Die Temperaturen und die aufgenommenen elektrischen Leistungen sind mittels Registrierinstrumenten aufgezeichnet worden. Bilder 12 und 13 zeigen den Ausschnitt vom 4./5. April 1960, auf welchem die Vorgänge beim Abkühlen von 220 Schweinen im Raum II (Beginn 11.48 h) und von 160 Schweinen im Raum I (Beginn 16.48 h) aufgezeichnet sind. Die gleichzeitig mit Quecksilberthermometer gemessenen Temperaturen sowie die Verdampfungstemperatur (am Manometer abgelesen) sind auf Bild 14 dargestellt.

Bei den Raumtemperaturen bei Ein- und Austritt gemäss Bild 12 ist zu berücksichtigen, dass sich die Linien bei jeder Umstellung der Strömungsrichtung vertauschen und sich die Abstände zwischen den beiden Linien wegen geringer Instrumentenfehler etwas verändern. Die Lufttemperatur zwischen den Fleischstücken liegt wegen der Wärmeabstrahlung des Fleisches fast durchwegs über jener bei Raumaustritt. Der Uebergang auf Lagerkühlung ist an der gewollten Erhöhung der Raumtemperatur deutlich sichtbar (um 19.30 h in Raum II und um 23.50 h in Raum I).

Auf dem Leistungs-Messtreifen Bild 13 erkennt man zunächst das Einschalten der Ammoniakpumpe (um 11.35 h). Um 11.50 h schalten die Kompressoren und wenig später die sechs Ventilatoren des Raumes II ein. Dann folgen schrittweise Umschaltungen auf niedrigere Leistungsstufen, bis um 16.48 der Raum I zugeschaltet und damit wieder auf volle Leistung umgestellt wird. Jede Stunde kehren die Ventilatoren die Drehrichtung um. Dabei wird die Stromzufuhr während fünf Minuten unterbrochen, was im Diagramm deutlich zum Ausdruck kommt.

Die Fördermengen der Ventilatoren sind dank geringerer Luftwiderstände wesentlich grösser als nach Tabelle 1; dementsprechend liegt auch der Leistungsbedarf höher. Da sich die grösseren Leistungen günstig auswirkten, wurden sie beibehalten.