

Beide Verfahren können während des Winters zu einer theilweisen Vorwärmung der Luft benutzt werden.

Die Kühlung durch anderes, z. B. Leitungswasser, welches durch Rohre strömt, ist von dem *Fischer und Stiehl'schen* Verfahren nur in so weit unterschieden, als die Temperatur des Wassers näher bekannt, das Wasser fast an jedem Ort verwendbar, dabei aber, in größeren Mengen benutzt, viel theurer ist.

Man hat die Kühlung durch Wasser in der Gestalt vorgeschlagen, das die Luft ohne eine vermittelnde Zwischenwand, also unmittelbar, ihre Temperatur mit derjenigen des Wassers ausgleicht, und hierbei in zwei Richtungen eine Wirkung erwartet. Die Einen wollen lediglich durch Erwärmen des Wassers der Luft Wärme entziehen. Sie lassen daher das Wasser in mehreren, über einander liegenden Canälen allmählich nach unten fließen, während die Luft über dem Wasserpiegel und unter der nächst höheren Canalföhle entlang allmählich nach oben getrieben wird, gerade entgegengesetzt, wie bei dem *Schinz'schen* Wassererwärmungsapparat (Fig. 258, S. 228) der Fall ist, oder sie drücken die Luft geradezu durch das Wasser (vergl. Art. 202, S. 164, *Lacy* und *Vogt*), oder endlich, sie lassen das Wasser in Gestalt eines feinen Regens in die Luft fallen. Die zuletzt genannten beiden Verfahren gestatten keinen Gegenstrom, verlangen somit zu große Wassermengen und sollen deshalb keine weitere Beachtung finden.

Die Anderen erwarten von der Verdunstung des Wassers die Kühlung der Luft. Sie machen sich hierbei des Irrthums schuldig, das die Luft immer geneigt sei, Wasser zu verdunsten, während doch mit zunehmender Abkühlung der Sättigungsgrad der Luft zunimmt, sonach in vielen Fällen eine Verdichtung des Wassers eintreten muss, also eine Entbindung von Wärme eintritt. Da sonach die Kühlung durch Wasserverdunsten unzuverlässig ist, so soll hier nicht weiter von diesem Verfahren die Rede sein.

Die Kühlung durch Eis ist in so fern mit der zu Eingang dieses Kapitels genannten Kühlung verwandt, als die Winterkälte im Eis aufgespeichert ist. Im Uebrigen ist die Kühlung durch Eis recht wohl verwendbar, da der Rohstoff Handelsware geworden ist. Durch Schmelzen zu Wasser von 0 Grad bindet das Eis 80 Wärmeeinheiten; lässt man das Wasser der zu kühlenden Luft entgegenströmen, so kann man in vielen Fällen dasselbe durch diese auf 20 Grad sich erwärmen lassen, so dass auf Bindung von 100 Wärmeeinheiten durch 1 kg Eis gerechnet werden kann. Wenn noch bemerkt wird, dass 1 cbm aufgehäuften Eises etwa 800 kg wiegt, so ist ersichtlich, welche Eismengen und welcher Raum für eine größere Kühlanlage erforderlich ist. Die Eisstücke lassen im Haufen zahlreiche Oeffnungen frei, durch welche die Luft zu strömen vermag, so dass eine große, nicht von vornherein bestimmbare Kühlfläche entsteht. In den Eiskellern der Brauereien pflegt man daher das Eis zusammenfrieren zu lassen, um der Luft nur die Oberfläche des so gebildeten, gewaltigen Eisklumpens darzubieten. Des Preises halber dürfte für die Luftkühlung das künstliche Eis nicht in Frage kommen, wohl aber unter Umständen die Mittel, welche zur künstlichen Erzeugung des Eises dienen<sup>121)</sup>.

Von denselben soll hier nur der Ausdehnung vorher verdichteter und hierauf gekühlter Luft gedacht werden.

Nach *Poisson* ist, wenn  $t_1$  die Anfangs-,  $t_2$  die Endtemperatur trockener Luft bezeichnet, die von der Spannung  $p_1$  auf die Spannung  $p_2$  verdichtet wird:

<sup>121)</sup> FISCHER, F. Ueber die Herstellung von Eis. Polyt. Journ. Bd. 224, S. 165.

284.  
Kühlung  
durch Eis.

285.  
Kühlung  
verdichteter  
Luft.



$$\frac{273 + t_2}{273 + t_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0,29} \dots \dots \dots 149.$$

Feuchte Luft verhält sich ein wenig anders; jedoch ist die Abweichung gering, weshalb sie hier vernachlässigt werden kann. Lässt man die Luft von der höheren Spannung  $p_2$  auf die kleinere  $p_1$  sich ausdehnen, so ist die entstehende Temperaturabnahme nach derselben Formel 149. zu berechnen.

Beispielsweise werde Luft von 30 Grad Temperatur und atmosphärischer Spannung (etwa 10 000 kg auf 1<sup>qm</sup>) auf 15 000 kg Spannung für 1<sup>qm</sup> verdichtet, so dass, nach 149.

$$\frac{273 + t_2}{273 + 30} = \left(\frac{15\,000}{10\,000}\right)^{0,29}$$

oder  $t_2 = 67,8$  Grad wird. Kühlt man diese verdichtete Luft durch irgend ein Mittel bis auf 40 Grad, ohne die Spannung zu ändern, und lässt dieselbe hierauf bis zur atmosphärischen Spannung sich ausdehnen, so erhält man, da nunmehr  $t_1 = 40$  Grad ist:

$$\frac{273 + t_2}{273 + 40} = \left(\frac{10\,000}{15\,000}\right)^{0,29},$$

$$t_2 = 5,28 \text{ Grad.}$$

Offenbar ist es weit leichter, die Luft von 67,8 Grad auf 40 Grad, als von 30 Grad auf 5,28 Grad abzukühlen; aus diesem Grunde dürfte das erwähnte Verfahren oft gut zu verwenden sein.

In den Art. 93 bis 95, S. 80 und 81 wurden die nöthigen Unterlagen für die Verfolgung des Sättigungsgrades der Luft während einer Temperaturänderung gegeben, auch schon erwähnt, dass man bei Kühlung der Luft an ein Mittel zum Trocknen derselben denken müsse. Hierauf werde ich unten noch zurückkommen. Ein hiermit zusammenhängender Umstand, nämlich die Entbindung von Wärme bei Verdichtung des Dampfes, erfordert sofort ein näheres Eingehen. Nach *Clausius* werden bei 10 Grad rund 600 Wärmeeinheiten gebunden, wenn 1 kg Wasser in Dampf derselben Temperatur verwandelt wird. Dieselbe Wärmemenge wird selbstverständlich frei, sobald der Dampf wieder in Wasser verwandelt wird. Es muss daher nicht allein für die Kühlung der Luft Wärme gebunden werden, sondern auch für die Verdichtung des Wassers. Der erstgenannte Theil der gesammten, durch das Kühlverfahren zu beseitigenden Wärme ist leicht zu bestimmen; er beträgt 0,24 Wärmeeinheiten für 1 kg Luft und für jeden Grad Temperaturerniedrigung. Der zweite Theil ist abhängig von dem zufälligen Sättigungsgrade der zu kühlenden Luft. Da eine Kühlanlage auch bei voller Sättigung der freien Luft sicheren Erfolg haben muss, so wird man bei Berechnung der Wärmemenge, welche durch dasselbe gebunden werden muss, regelmässig diesen ungünstigsten Fall zu Grunde legen und nur in besonderen Fällen anders verfahren. Aus der Tabelle auf S. 75 ist die zu verdichtende Dampfmenge leicht zu entnehmen.

Beispielsweise möge eine gesättigte Luft, deren Temperatur 25 Grad beträgt, zur Verwendung kommen; sie solle auf 5 Grad abgekühlt werden. Alsdann ist für je 1 kg der Luft die Wärme zu binden:

$$20 \cdot 0,24 + (22,25 - 6,75) \cdot 0,6 = 4,8 + 9,3 = 14,1 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Es ist somit die für die Verdichtung des Dampfes zu bindende Wärmemenge etwa doppelt so groß, als diejenige, welche zur eigentlichen Luftkühlung erforderlich ist.

## b) Verwendung der Mittel.

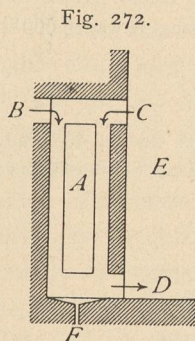
Der jedenfalls recht unangenehmen Kältestrahlung halber wird man die abzukühlenden Flächen meistens so anbringen, dass die Strahlung derselben Menschen nicht treffen kann. Es wird daher in der Regel die Kühlung der Luft in besonderen Kammern erfolgen müssen. Die erforderliche Bewegung der Luft kann wieder durch den Auftrieb — der hier negativ wirkt — erfolgen, welchen die Tem-

286.  
Wärme-  
entbindung  
durch Dampf-  
verdichtung.



peraturänderung hervorruft, oder durch Gebläse und Lockfchornsteine. Der eigene Auftrieb der Luft ist bei Benutzung des Eises ohne Weiteres zu verwenden; bei Verwendung kalten Wassers bedingt sie das Emporsteigen des letzteren.

Fig. 272 verfinnlicht die Anordnung einer Kühlkammer, in welcher der Körper *A* entweder einen mit Eis gefüllten Korb oder ein Gefäß, bezw. eine Rohr-schlange bezeichnet, durch welches das Kühlwasser von unten nach oben fließt. Die Luft des Freien strömt bei *B* ein (Kühlung mit Lüftung), oder die Luft des zu kühlenden Raumes *E* gelangt durch *C* in die Kühlkammer (Kühlung mit Umlauf) und strömt durch *D* in den Raum. Bei *F* entweicht das in einer Vertiefung sich sammelnde Wasser.



Die Berechnung der Dimensionen einer solchen Anordnung findet nach denselben Grundfätzen statt, welche für die Berechnung der Beheizung genannt sind.

Beispielsweise werde die Aufgabe gestellt, die Temperatur des Raumes *E* gleich derjenigen des Freien = 25 Grad zu halten, während 100 Männer in *E* sich befinden. Die Einschließungsflächen mögen dieselbe Temperatur haben, also ein Beharrungszustand eingetreten sein. Die 100 Menschen entwickeln stündlich (nach Art. 49, S. 44)  $100 \cdot 100 = 10\,000$  Wärmeeinheiten und verdunsten (nach Art. 77, S. 68)  $100 \cdot 100 = 10\,000\text{ g} = 10\text{ kg}$  Wasser. Es sollen für jeden Mann stündlich 30 kg, also zusammen 3000 kg Luft zugeführt werden. Damit diese Luftmenge die von den Menschen abgegebene Wärmemenge bindet, muß ihre Anfangstemperatur  $t_1 = 25$  Grad auf die Temperatur  $t_2$  gebracht werden, wobei

$$(t_1 - t_2) 0,24 \cdot 3000 = 10\,000$$

oder

$$t_2 = 11,1 = \approx 11 \text{ Grad.}$$

Die als gesättigt angenommene Luft verliert hierbei (nach Art. 93, S. 80):  $(22,25 - 9,86) \cdot 3000 = 37\,170\text{ g}$  oder  $37,17\text{ kg}$  Wasser, wobei  $37,17 \cdot 600 = 22\,300$  Wärmeeinheiten frei werden. Die Kühlvorrichtung hat somit  $10\,000 + 22\,300 = 32\,300$  Wärmeeinheiten stündlich zu binden. Wird  $k = 15$  und ferner angenommen, das Kühlwasser die Anfangstemperatur 10 Grad und die Endtemperatur 20 Grad hat, so berechnet man die erforderliche Kühlfläche in gewöhnlicher Weise zu:

$$F = \frac{32\,300}{15} \frac{2}{(11 + 25) - (10 + 20)} = 718\text{ qm.}$$

Man sieht also, das trotz sehr kalten Wassers außerordentlich große Kühlflächen erforderlich sind.

Jedes Kilogramm der gekühlten Luft enthält  $9,86\text{ g}$  Wasserdampf, somit die gesammte, stündlich einströmende Luft  $29\,580\text{ g}$ . Hierzu kommen die  $10\,000\text{ g}$ , welche die Menschen verdunsten, so das je  $1\text{ kg}$  der im Raume auf 25 Grad wieder erwärmten Luft  $13,2\text{ g}$  enthält, d. h. zu 59 Procent gesättigt ist.

Würde man von einer Lufterneuerung absehen, so würden nur die  $10\text{ kg}$  von den Menschen abgegebenen Wasserdampfes zu verdichten, also hierfür nur  $600 \cdot 10 = 6000$  Wärmeeinheiten erforderlich sein, so das die Kühlfläche nur etwa halb so groß als vorhin berechnet zu sein brauchte. Die nöthige Wassermenge ist im ersten Falle  $\frac{32\,300}{10} = 3230$  Kilogr. oder Liter, im anderen Falle = 1600 Liter stündlich.

Unter Hinweis auf das betreff der Einführung frischer Luft Gefagte muß man die Frage aufwerfen, ob es zulässig ist, die auf 11 Grad abgekühlte Luft ohne Weiteres in den von Menschen bewohnten Raum einzuführen.

Den Ausstellungsraum, welchen das französische Ministerium für öffentliche Arbeiten gelegentlich der 1878-ger Weltausstellung zu Paris für seine Zwecke errichten liefs, lüftete man, indem verhältnismäßig kühle Luft mittels Gebläses unter den Fußboden gedrückt wurde, die sich unter diesem verbreitete, hinter der ringsum laufenden Holzschalung nach oben stieg, und über den oberen Rand der letzteren in den Raum floß. Auf diese Art wurde ein Theil der im Raum entwickelten Wärme durch Vermittelung des Fußbodens und der Holzschalung an die kühle Luft abgegeben, so das diese mit höherer Temperatur in den Raum trat. Vielleicht ist dieses Verfahren das richtige für die Einführung kalter Luft; vielleicht ist es zweckmäßiger, die kühl zu haltenden, von Menschen zu benutzenden Räume mit dicken Wänden und dicken Pfeilern zu versehen, sie vor der Benutzung zu kühlen und nicht zu lange hinter einander zu benutzen. Erfahrungen liegen nur in sehr geringer Zahl und unvollkommenem Umfange vor, so das ein