

Beitrag zur Geschichte der Raumklimatechnik ¹

Prof. Dr.-Ing. Klaus Fitzner
Dr.-Ing. Ulrich Finke
Klimakonzept Ingenieurgesellschaft, Berlin

Einleitung

In Höhlen und Behausungen muss es schon seit Urzeiten Lüftungstechnik bewusst oder unbewusst gegeben haben, sonst hätten unsere Vorfahren nicht überlebt. Nach der Erfindung des Feuers wurde sie um die Heiztechnik erweitert. Erste Aufzeichnungen darüber reichen bis 3000 v. Chr. zurück (z. B. Ondol in Alaska). Die Lüftung wurde später auch als Ventilation [23] bezeichnet, bis die Medizin diesen Namen in Deutschland für sich einnahm. Mit der „natürlichen“ oder „freien“ Lüftungstechnik wurde im Rahmen der natürlich gegebenen Möglichkeiten auch schon gekühlt. Aber erst mit der sehr jungen maschinellen Kühltechnik, war Klimamatechnik, oder besser Raumklimamatechnik möglich. Mit dem Begriff Raumklimamatechnik hat Esdorn [28] Heiz- und Klimamatechnik zusammengefasst und sie aufgeteilt in Raumheiz-, Raumluft- und Raumkühltechnik. Dieser Beitrag beschränkt sich auf Schritte in der Entwicklung der Raumluft- und Raumkühltechnik in der Vergangenheit für Aufenthaltsräume von Personen.

Technologie

Die Unterscheidung von Technologie und Technik hat im Sprachgebrauch der Raumklimamatechnik noch nicht stattgefunden und Klimafirmen wurden davor bewahrt, Technologie zu verkaufen! Wenn man aber unterscheidet zwischen Technologie, als der Theorie oder dem Wissen über die Zusammenhänge, und ihrer Anwendung, der Technik selbst, dann war seit Beginn der Neuzeit zuerst die Technologie. Sie entwickelte sich schon früh. Hier können nur einige wichtige Schritte erwähnt werden: Nach der Entwicklung des Thermometers durch Fahrenheit (1686-1736), Raumur (1683-1757), Celsius (1701-1744), des PitotRohres (1732) und der Aufstellung der Gasgesetze, Klärung des Zusammenhang von Druck, Temperatur und Volumen durch Boyle (1627-1692), Mariotte (1620 bis 1684), bestand ein weiterer wichtiger technologischer Fortschritt in der Erforschung der Bestandteile der Luft.

Lavoisier untersuchte die chemische Zusammensetzung der Luft. Er trennte ihre Bestandteile und maß die Kohlendioxidproduktion (1792) des Menschen bei verschiedenen Aktivitäten. Eindrucksvolle Bilder von der Labortätigkeit Lavoisiers sind uns erhalten geblieben. Seine Frau hat sie gezeichnet [2]. Bild 1 zeigt die Messung der Kohlendioxidproduktion einer sitzenden Person. Lavoisiers Messungen waren auch ein Beitrag dazu, die alte aristotileische Vorstellung von den vier Ele-

¹ Ausführliche Fassung des Vortrages bei der Jahrestagung des

menten Wasser, Luft, Feuer und Erde endgültig abzuschaffen. Auch Phlogiston gab es nicht länger! Die Aufklärung zeigte hier ihre Wirkung. Lavoisier beschäftigte sich auch mit den für die Raumluftechnik wichtigen Fragen der Lufthygiene und forderte Verbesserungen des Luftaustausches vor allem in Gefängnissen, Hospitälern und Versammlungsräumen. Es ging bei Gefängnissen und Hospitälern nicht etwa um thermische Behaglichkeit, sondern die Zahl der Todesfälle sollte reduziert werden! Lavoisiers Erkenntnisse wurden leider nicht zu seiner Zeit umgesetzt, vielleicht deshalb, weil er zwei Jahre später Opfer der französischen Revolution wurde.



Bild 1: Lavoisiers Labor [2]

Mehr als ein halbes Jahrhundert verging, bis sich vor allem Pettenkofer erneut mit Fragen der Hygiene in Räumen (1858) beschäftigte und die CO₂-Konzentration als Luftqualitätsmaßstab einführte. Der von Pettenkofer [3] aufgestellte Maßstab für gute Luftqualität in einem Raum, der nur durch Personen verunreinigt wird, wird heute immer noch häufig angewendet. Durch Experimente zur Luftqualität fand er heraus, dass die Kohlendioxid-Konzentration der Luft im Raum, möglichst nur um 200 ppm, aber keinesfalls um mehr als 500 ppm durch Personen erhöht werden sollte. Er errechnete damit einen erforderlichen Außenluftstrom von 60 bzw. 24 m³/h je Person. Er ging von einer Kohlendioxid-Konzentration der Außenluft von 500 ppm aus. Pettenkofer wird oft missverstanden. Er hat selbst geschrieben [3]:

„Der Kohlensäuregehalt allein macht die Luftverderbnis nicht aus, wir benützen ihn bloss als Maassstab...“ und er hat dabei vorausgesetzt, dass keine anderen Verunreinigungsquellen vorliegen und das drastisch und anschaulich so ausgedrückt: *„Ein Raum, welcher einen verwesenden Misthaufen einschliesst, wird trotz aller Ventilation eine ekelhafte Wohnstätte...bleiben.“*

Es galt damals wie heute, dass vermeidbare Luftverunreinigungsquellen zunächst aus dem Raum zu entfernen sind und erst danach belüftet wird. Der Misthaufen war eine klar erkennbare Verunreinigungsquelle, heutige Verunreinigungsquellen sind differenzierter, werden oft gar nicht bewusst als Verunreinigungen empfunden und müssen erst noch herausgefunden und benannt werden.

Um 1900 gab es große Fortschritte durch den Elektromotor und die Kompressionskältemaschine. Danach war nochmals Theorie erforderlich für die Auslegung der Luftkühlung. Darauf wird später noch näher eingegangen.

1906 gab Willis Carrier in USA seine Psychrometrische Tafel (t-x-Diagramm) in einem Ventilatorcatalog von Buffalo Forge Co. heraus. In Deutschland wurde das Verhalten feuchter Luft mit Molliers h-x-Diagramm ab 1923 leichter berechenbar und besser verstanden. Mit Fanger werden ab 1970 Maßstäbe für thermisch „be-
hagliches Klima“ gesetzt. 1988 knüpft Fanger außerdem an die 1934 von Yaglou begonnenen Untersuchungen der empfundenen Luftqualität an und schafft neue Maßstäbe für ihre Beurteilung. Hier fehlt allerdings heute noch in weiten Kreisen der Bevölkerung die Einsicht in ihre Notwendigkeit. Hier besteht noch großer Informations- und Forschungsbedarf.

Die frühe Technik

Die Technik, und zwar Raumklimatechnik, wie wir sie heute verstehen, bei der Außenluft in Räume gefördert wird, nachdem sie gefiltert, erwärmt oder gekühlt, be- oder entfeuchtet wurde, lag schon kurz vor Pettenkofers Zeiten sozusagen in der Luft: Im Dezember 1815 wurde ein britisches Patent an Marquis de Chabannes erteilt für Methoden, die Luft in Gebäuden durch Heizen und Kühlen zu regeln, wobei ein Verdunstungskühlturm und Ventilator eingesetzt wurden [30].

Im Jahre 1836 wird im Haus of Commons in London eine Klimaanlage [5,6] eingebaut mit allen Klimafunktionen: Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten und Filtern, mit Quelllüftung! Die Kühlung wird mit Wasser oder seltener mit Natureis durchgeführt, die Luftbewegung allein durch thermischen Auftrieb, im Sommer mit einem speziell beheizten Kamin! Viktoria-Tower und Big Ben sind nicht nur Fahnen- und Uhrturm, sondern sie dienten zur Fortluftförderung durch thermischen Auftrieb.

Bild 2 zeigt eine Skizze der Anlage. Links befindet sich die Ansaugöffnung a der Außenluft dicht über der Themse. Es folgt eine Einströmkammer, die mit Eis zum Kühlen gefüllt werden konnte. Bei c sind Kammern für Schichten von Baumwolle als Filter angebracht. Danach folgen Heizkammern. Die Luft wird im Doppelboden A unter dem Saal verteilt und tritt durch Öffnungen im Fußboden in den Saal ein. Sie durchströmt den Saal und wird oberhalb der Decke bei F abgesaugt. Sie tritt im Winter durch die Fenster direkt nach außen aus und wird im Sommer über den Abluftkanal b, c, d zu dem Kamin gesaugt, in dem ein „Lockfeuer“ für den erforderlichen Auftrieb und die Absaugung, die Aspiration, sorgt. Allerdings gab es zu der Lösung auch kritische Stimmen, vor allem vom Architekten, der die hohen Türme nicht mochte, und weil die Heizer nicht immer richtig heizten [6]:

“When the House of Commons was rebuilt after the fire of 1834, it was the Scottish chemist, Dr David Boswell Reid, who was entrusted with the design of a fireassisted ventilation scheme. This was never satisfactory, partly due to the never ending arguments between Reid the engineer and Barry the architect.

Reid war auch der Erste, der sich gegen große Widerstände für die Luftführung von unten nach oben stark machte, die heute als Quelllüftung bezeichnet und 175 Jahre nach Reid jetzt immer häufiger angewendet wird [21].

Das Prinzip, die Luft nur durch Auftrieb zu fördern, wurde im 19. Jahrhundert in Versammlungsräumen unterstützt durch die Abwärme der Gasbeleuchtung [7].

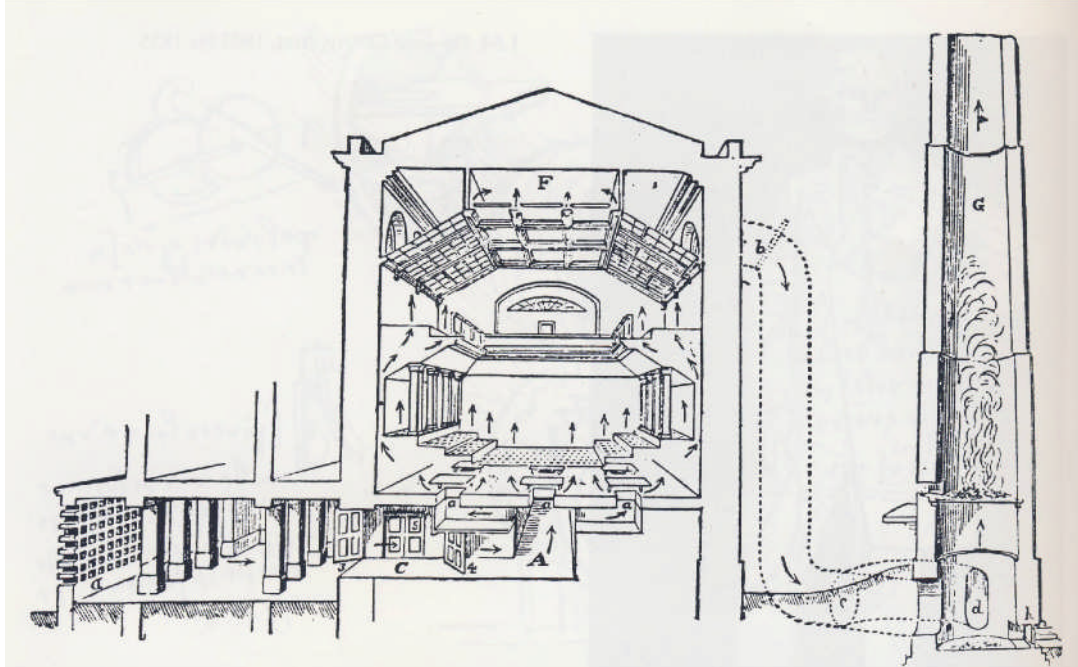


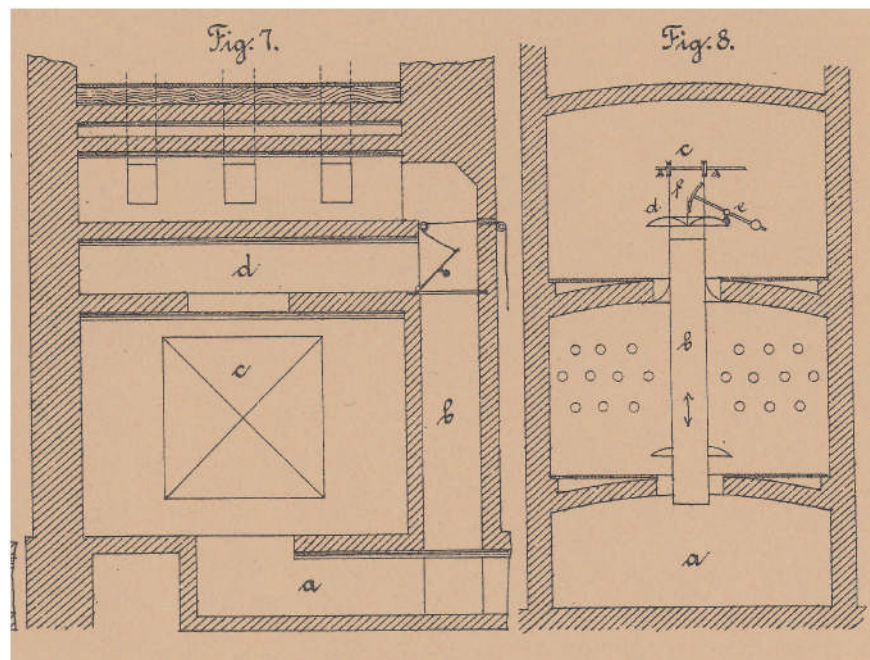
Bild 2. Klimatechnik im House of Commons [5]

Die Zuluftkanäle der Lüftungsanlagen bestanden aus zusammenhängenden Räumen in den Kellergeschossen der Gebäude, wie schon auf Bild 2 zu erkennen ist und auf Bild 3 an zwei Teilbereichen, den Heiz- und Mischkammern dargestellt. Es handelt sich also um Zweikanalanlagen. Links auf Bild 3 (Fig. 7) ist eine Heizkammer c mit der Zuluftleitung a dargestellt. Die in der Heizkammer direkt erwärmte Luft strömt durch die Leitung d vorbei an der Mischklappe e in eine Sammelkammer, von der aus die Luft zu den einzelnen Räumen weitergeleitet wird. Bei großen Sälen bildet die Sammelkammer einen Doppelboden unter dem Saal. Links auf Bild 3, Fig. 7, wird gezeigt, wie die Temperatur mit einer Klappe mit Kette per Hand vom Gang aus geregelt wird.

Rechts in Bild 3 (Fig. 8) wird die verbesserte Konstruktion einer Mischkammer im Wiener Opernhaus (1890) gezeigt. Auch in der Oper Frankfurt/M, der heutigen Alten Oper, wurden 1911 allein für den großen Saal 32 solcher Mischgeräte eingesetzt. Die drei übereinander liegenden Kanäle haben dort eine gesamte Höhe von fast 7 m. Die Kammern werden von Rietschel [4] so beschrieben:

„Es sind dann noch Vorrichtungen nöthig, um der erwärmten Luft noch kühlere Luft beimengen zu können und so die Temperatur der Zuluft je nach Belieben schnell zu ändern ohne den Betrieb der Heizkörper ändern zu müssen. Zu diesem Zwecke gebraucht man bei großen Anlagen sogenannte Mischkammern, d. h. größere, neben oder über der Heizkammer liegende Räume, in welche die wär-

mere Luft einströmt und gleichzeitig auch, je nach Bedarf, kühle Luft zugelassen werden kann. Natürlich sind hier die Ein- und Austrittsöffnungen so angeordnet, daß eine gute Mischung nothwendig stattfinden muß. Vorteilhaft ist es, wenn man bei hohen Kellergeschossen die Mischkammer direct über die Heizkammer legen kann; die Anordnung neben der Heizkammer ist nur zulässig, wenn Pulsion (oder Aspiration) zur Verfügung steht. Fig. 8 zeigt die Anordnung der Mischkammer im Wiener Opernhaus. Das Rohr b, welches durch die Heizkammer hindurchreicht und der darüber liegenden Mischkammer kalte Luft zuführt, trägt zwei Schirme, mit denen durch Heben oder Senken des Rohres entweder die obere oder die untere Öffnung der Heizkammer verschlossen werden kann; alsdann gelangt keine warme Luft in die Mischkammer. Bei einer Mittelstellung jedoch kann kalte Luft von a her die Heizkammer durchströmen und sich dabei erwärmen. Der Eintritt kalter Luft in die Mischkammer kann dadurch verhindert werden, daß der Hut d auf die Öffnung des Rohres b herabgesenkt wird und so dieselbe abschließt.“



	Linkes Bild: Fig 7	rechtes Bild: Fig. 8
a	Kaltluftkanal	Kaltluftkanal
b	Kaltluftbeipass	Kaltluftbeipass
c	Heizkammer mit direkter Heizung	Förderrollen zur Bewegung von b
d	Warmluftkanal	Regulierventil
e	Mischklappe mit Seilzug	Ausgleichsgewicht

Bild 3: Gemauerte Warm- und Kaltluftkammern einer „Klimaanlage“ [4]

Die rechte Mischkammer ist regelungstechnisch schon viel besser als die linke zu beherrschen.

Pulsion bedeutet Anlage mit Zuluftventilator, Aspiration Absaugung mit thermischem Auftrieb oder mit Abluftventilator. Beides war nicht immer gleichzeitig erforderlich, weil die Gebäude reichlich undicht waren.

Luftförderung

Der Nachteil dieser ersten Klimaanlage, die nur mit thermischem Auftrieb arbeiteten, bestand darin, dass die Luftförderung nicht immer beherrschbar war. Es gab deshalb viele Versuche, Ventilatoren einzusetzen. Aber es gab keinen brauchbaren Antrieb dafür. Bild 4 zeigt das Beispiel eines mit Wasserkraft betriebenen Ventilators [4;20]. Dazu wird folgende Erklärung abgegeben:

Die Bewegung der Schraube b wird durch ein horizontales Wasserrad a bewirkt, gegen dessen Schaufeln ein Wasserstrahl mit hohem Drucke spritzt. Das verbrauchte Wasser fließt durch d ab; ist dieser Abfluss aber verschlossen, so fließt das Wasser über und gelangt in die an der Drehung teilnehmenden Schalen c, welche es zu dem Zwecke der Luftbefeuchtung und Luftwaschung an die Wandung des Zylinders schleudern. Von diesem fließt es dann herab in die Rinne e und wird von hier aus abgeleitet. Häufig enthalten die Apparate noch Vorrichtungen zum Parfümieren der Luft, indem irgend ein Parfüm tropfenweise in die Schale c gelangt und so zerstäubt wird.

Der Wasserstrahl mit hohem Druck musste aber verfügbar sein!

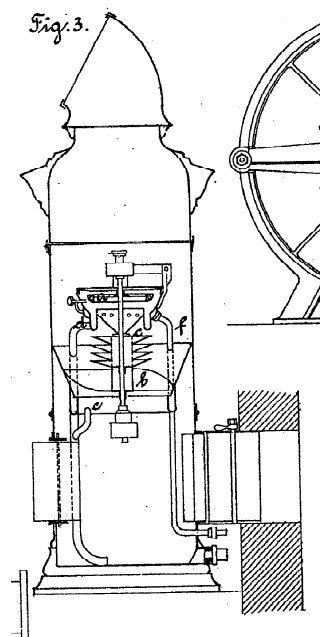


Bild 4: Der mit Wasserkraft angetriebene Ventilator „Ärophor“ [20]

Der Antrieb von Ventilatoren mit Dampfmaschinen, Strahlpumpen oder Wasserturbinen war bis zum Ende des 19. Jahrhunderts nicht gut gelöst [4,20]. Ein Antrieb mit einer Dampfmaschine ist auf Bild 5 dargestellt. Der Radialventilator selbst unterscheidet sich äußerlich kaum von den heute eingesetzten [23].

Der Elektromotor wird erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts anwendbar. Das setzte nicht nur den funktionierenden Motor, sondern auch ein Stromverteilnetz voraus, wenn nicht schon Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt wurde. Der Elektroantrieb leistete einen ganz wesentlichen Beitrag für den technischen Fortschritt nicht nur in der Klimatechnik. Damit können Ventilatoren, Pumpen und Kältemaschinen angetrieben werden. Gebäude wie der Reichstag in Berlin (1894) erhalten

Klimaanlagen mit elektrisch angetriebenen Ventilatoren. Die Anlage wurde noch mit Dampfantrieb geplant. Bild 6 zeigt den angewendeten Ventilator (Typ Blackman), importiert aus England, mit Elektroantrieb [10]. Die Blackman-Ventilatoren wurden mit Durchmessern von 355 bis 3048 mm gebaut [24] mit Antriebsleitungen 0,1 bis zu 10 kW.

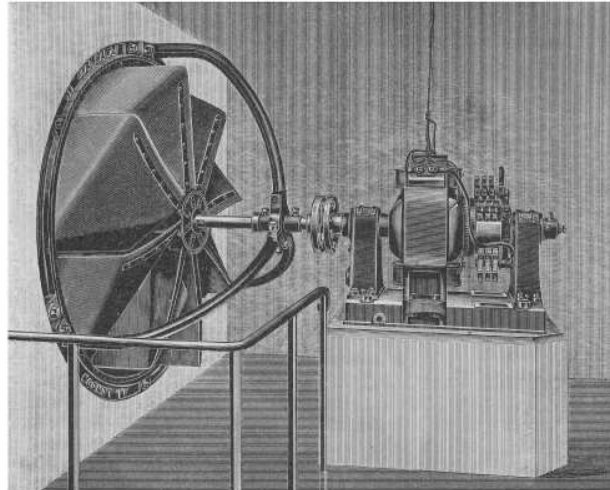
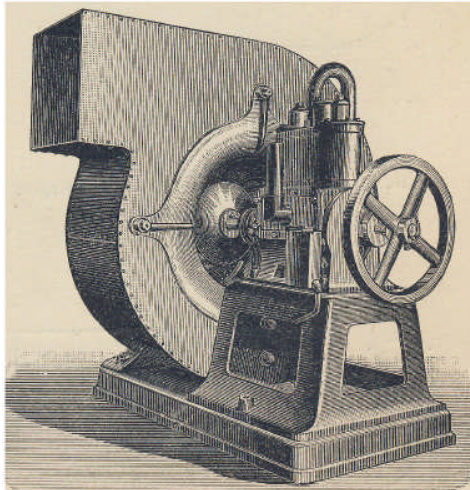


Bild 5: Ventilator mit Dampfantrieb Bild 6: Blackman-Ventilator mit Elektromotor

Kühlung

Ähnlich wie bei der Luftförderung vor der Einführung des Elektromotors sah es mit der Kühlung aus. Für Kühlung auf niedrige Temperaturen wurde Natur-Eis verwendet. Bild 7 zeigt in einem nachgestellten Versuch, wie mühsam die „Ernte“ war [25]



Bild 7: Nachgestellte Natureisernte [25]

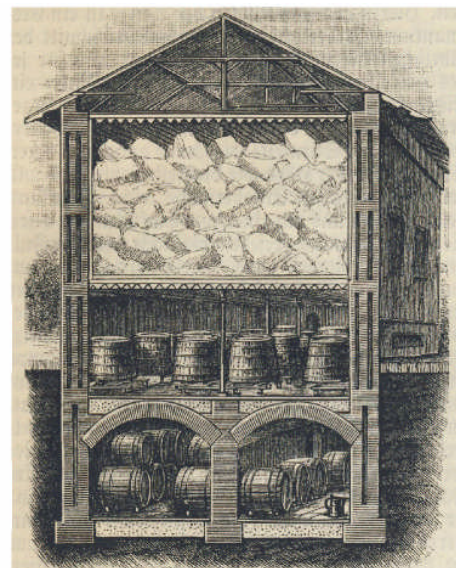


Bild 8: Bierkellerkühlung nach Brainard; Brockhaus' 1892 [23]

Das Eis wurde in ca. 100 kg schwere Stücke zersägt und in Eiskeller eingelagert [26]. Bild 8 zeigt, wie man sich die Anwendung bei der Bierherstellung vorstellen kann.

Die Kühlung versagte, wenn im Sommer die natürlichen Eisvorräte zur Neige gingen. Nachtkühlung, Erdreichwärmetauscher oder Kühlung mit Brunnenwasser konnten nur in wenigen Fällen einen Ausgleich schaffen, wurden aber selbstverständlich auch schon von Fall zu Fall angewendet.

Um mit Eis wirkungsvoll kühlen zu können, wurden spezielle Kühleinrichtungen entwickelt, wie auf Bild 9 dargestellt. Das Eis schmilzt in dem oben angeordneten Eisbehälter. Das Eiswasser strömt durch das Rohr d zu den Rippenrohrkühlern und durch die Rohre c zurück zum Eisbehälter. Das überschüssige Wasser wird durch die Überläufe e abgeleitet. Die Luft tritt durch die Öffnung a in die Kühlvorrichtung und verlässt sie durch die Öffnungen b. Zur Raumkühlung wird empfohlen, diese Einrichtung direkt über einer Saaldecke anzubringen. Die Erwärmung des Wassers auf mindestens 4°C war sicher kein Problem, so dass die Schwerkraftkühlung sich nicht selbst abschaltete.

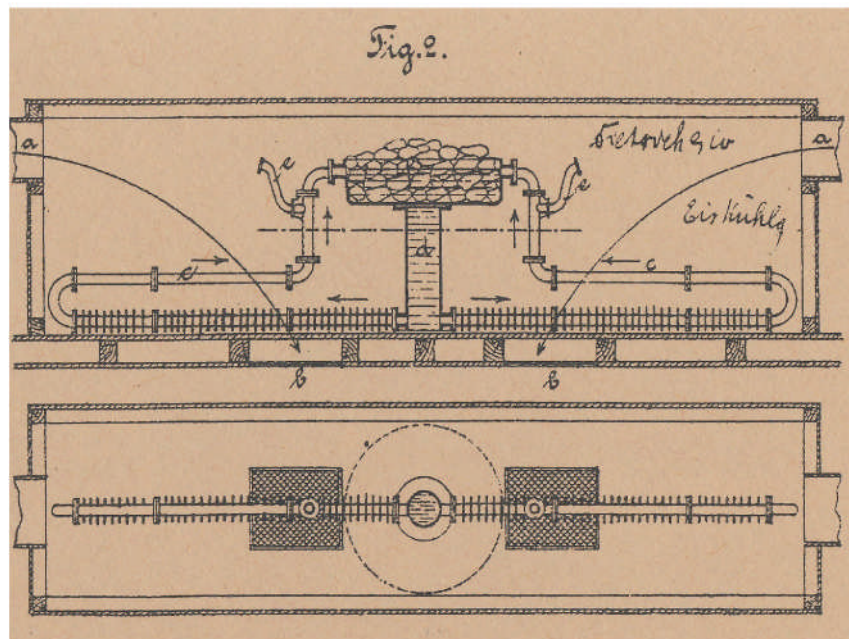


Bild 9: Kühlung mit Natureis (Kühlvorrichtung von Dittrich & Co) [4]

In den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts erreichten Kältemaschinen einen Entwicklungsstand, der sie anwendbar machte, entweder als Absorptionsmaschinen aber vor allem als Kompressionsmaschinen mit Dampfmaschinenantrieb [34]. Weil Mangel an Natureis speziell bei der Bierbrauerei häufig zu Produktionsausfällen führte, erhielt Linde von Brauereibesitzer Sedlmayer den Auftrag, eine funktionierende Kältemaschine zu entwickeln [31], was ihm 1877 bei einer Anlage in einer Brauerei in Triest und 1878 in Bombay gelang. Die Kältemaschine ermöglichte es ihm, zunächst mit Eisfabriken viel Geld zu verdienen.

Die Kältemaschinen wurden anfangs nicht in Klimaanlage eingesetzt, sondern in Eisfabriken. Stangeneis, Kunsteis, wurde in Eisfabriken produziert und statt Natureis wie zuvor eingesetzt. Bild 10 zeigt einen Blick in eine Eisfabrik, die von Vaaß & Littmann in Halle (1892) mit einer Kohlensäure-Kompressionsmaschine als „Eismaschine“ ausgerüstet wurde.

Der Antrieb erfolgte vermutlich noch mit einer Dampfmaschine über die dargestellte Transmission mit Riemen. In einem Solebehälter wurde Eis in den heraus-ziehbaren Stangeneisbehältern erzeugt. Die Kosten für 50 kg Eis beliefen sich 1885 auf 0,18 bis 0,30 Mark bei Anlagenleistungen von 150 bzw. 40 kW. Um 1940 werden in Deutschland noch 1 Million Tonnen Blockeis produziert. Das Kunsteis verdrängte das natürliche Eis, weil die Gefahr, sich mit Cholera zu infizieren, geringer war.

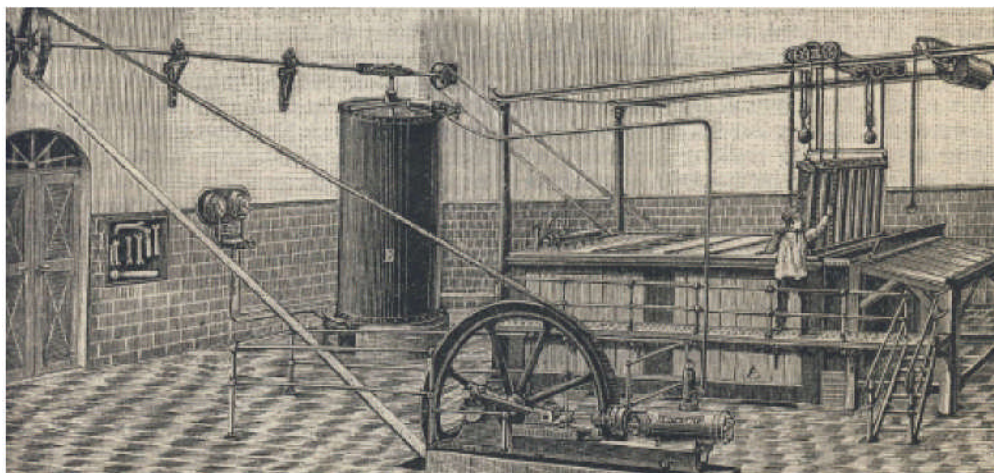


Bild 10: Blick in eine Eisfabrik [23]

Heizungs- und Lüftungsfirmen

Drei Beispiele von Firmen aus der Gründerzeit der Lüftungstechnik sollen hier erwähnt werden:

gründete Hermann Rietschel in Berlin zusammen mit Rudolf Henneberg die Heizungs- und Lüftungsfirma Rietschel & Henneberg [5], und eröffnete später auch Filialen in Dresden und Wien. Die Firma betrieb Planung, Konstruktion, Fertigung und Anlagenbau, alles in einem, was man sich heute kaum noch vorstellen kann.

Die Firma wurde 1931 von der Firma ROM übernommen, die selbst schon 1858 gegründet wurde und mit der Beheizung von Gewächshäusern begann [31]. 1904 feierte die Firma Grove in Berlin, die Sanitär-, Lüftungs-, Heizungs- und Kälteanlagen auslegte und baute, ihr 40 jähriges Jubiläum. Die Mitarbeiter arbeiteten in Großraumbüros mit Gasbeleuchtung [9,10]. Bild 11 zeigt einen Blick in das Büro der Abteilung für Heizungs- und Ventilationsanlagen. Wie einer Anzeige aus dem Recknagel von 1897 [11] zu entnehmen ist, baute die Fa. Grove als königlicher Hoflieferant Ventilationsanlagen nicht nur im Reichstag, Berlin, sondern auch

im Reichsgericht Leipzig, Museum für Naturkunde, Rathaus Hamburg, Centralbahnhof Düsseldorf, Loge zu den 3 Weltkugeln, Berlin; Loge zu den 3 Degen, Halle a. S., Justizpalast München, Schloss Friedrichshof Ihrer Majestät der Kaiserin Friedrich, Kranken- und Siechenhaus Posen.



Bild 11: Abteilung Heizungs- und Ventilationsanlagen der Firma Grove 1904 [9]

In diesen Gebäuden gab es aber noch keine Kühlung mit Kältemaschinen. Nach Meinung von Nagengast [27] waren am Ende des 19. Jahrhunderts alle technischen Mittel vorhanden, aber es fehlte die Theorie für die richtige Auslegung der Anlagen, vor allem zur Berechnung der Lasten und der Luftbe- und -entfeuchtung. Sie wurde nach seiner Meinung in USA erstmals gegeben im Leitfaden von Rietschel [1]. Rietschels Wissen wurde in den USA von Hermann Eisert auf dem Kongress der American Society of Heating and Ventilating Engineers (ASHVE) 1896 vorgetragen.

Kühlung mit Kältemaschinen

In USA soll der Planer Alfred Wolff erstmals u. a. 1903 erfolgreich Rietschels Berechnungen bei einer Klimaanlage mit maschineller Kühlung angewendet haben, und zwar in der New York Stock Exchange Bank, einer Anlage mit Kraft-Wärme-Kopplung mit einer Kälteleistung um 1000 kW [27].

In Köln wurde das Stadttheater etwa zur gleichen Zeit mit einer Klimaanlage mit Kompressionskälteanlage und Kältespeicher ausgerüstet. Der städtische Bauingenieur Musmacher vermutete begeistert: *„Die Luftkühleinrichtung des Zuschauerraumes im hiesigen Theater ist meines Wissens die erste derartige größere Anlage.“* [8]

Geräteentwicklung

In den USA begann um 1900 die Loslösung der Klimaanlage von gemauerten Gebäudekammern durch eine Geräteentwicklung. Ein Beispiel eines solchen Gerätes zeigt Bild 12: „Ventilatoranlage mit Luftwaschung und Befeuchtung“ [12], die von Buffalo Forge Co. um 1907 hergestellt wurde. Man erkennt einen Sprühdüsen-Luftbefeuchter, der sich von heutigen Konstruktionen nur unwesentlich unter-

scheidet, eine Kammer mit Luftherhitzern und einen motorgetriebenen Radialventilator.

Das Ganze ohne gemauerte Kanäle. Die indirekte Beheizung stellte einen Fortschritt dar, weil dadurch die Oberflächentemperaturen der Erhitzer niedriger sein konnten als bei den direkt beheizten Anlagen und Verschmelzung von Staub auf der Erhitzeroberfläche reduziert wurde. Die Gerätekonstruktion erlaubt Vorfertigung der Komponenten außerhalb der Baustelle und ist deshalb ein wichtiger Schritt nach vorn.

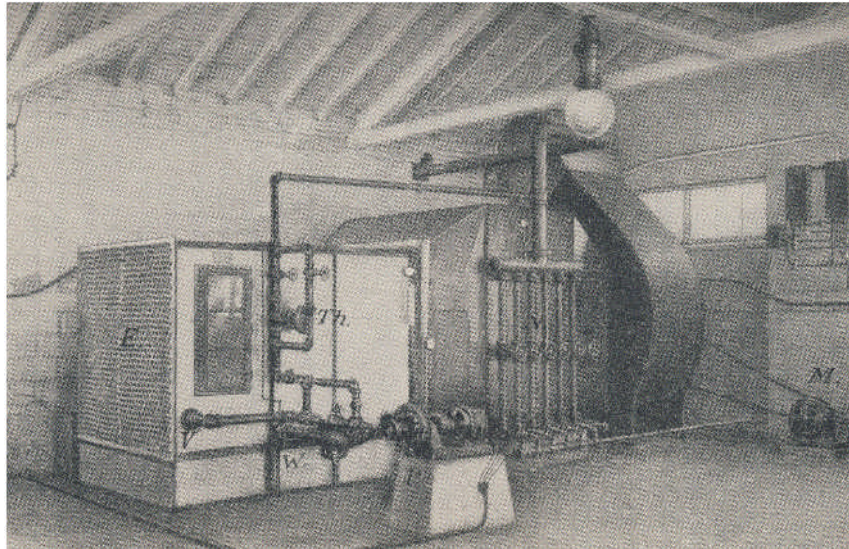


Bild 12 Ventilatoranlage als Gerät mit „Luftwaschung und Befeuchtung“ [12]

Luftbefeuchtung

Der Luftbefeuchter nach dem Sprühdüsenprinzip wurde von Willis R. Carrier in einem speziell dafür gebauten kleinen Labor bei der Buffalo Forge Company für die Anwendung in einer Druckerei für Farbdrucke entwickelt, ursprünglich mit der Absicht, mit einer Wassertemperatur unter dem Taupunkt der Luft oder mit einer Calcium-Chlorid-Lösung, die Luft zu entfeuchten und auf einem konstanten Wert zu halten [22]. Wobei die Calcium-Chlorid-Lösung kein Erfolg war, weil CaCl_2 -Aerosole die Luft verunreinigten. Der Befeuchter wurde 1904 in USA zum Patent angemeldet und 1905 gebaut.

Bei den experimentellen Untersuchungen lernte Carrier auch die Eigenschaften feuchter Luft kennen, die die Aufstellung der Psychrometrischen Tafel 1906 ermöglichte. So z. B. die Erkenntnis: „*it was noticed that the saturation temperature of the air, when passed through a chamber in which the spray water was simply recirculated, was exactly the same as the wet-bulb temperature of the entering air.*”

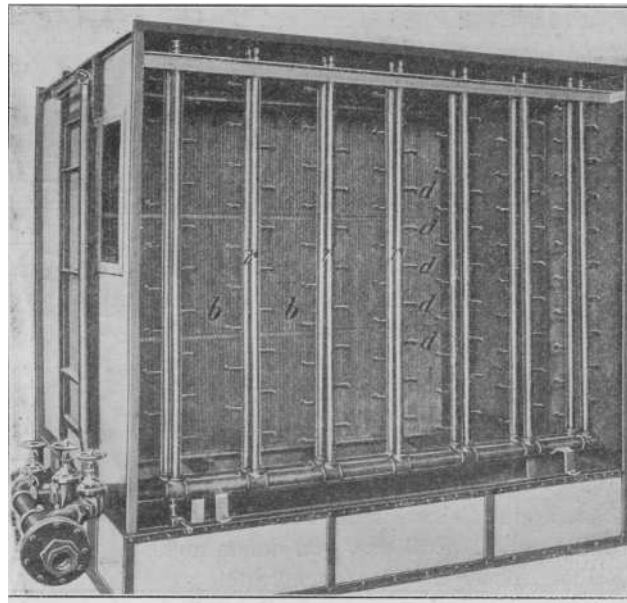


Bild 13: Luftwasch- und Trockeneinrichtung der Buffalo Forge Co. 1905 [12;13;27]

Ozongeräte

Interessant ist auch, dass es um 1900 schon Geräte zur Luftreinigung mit Ozon gab. Das Stuttgarter Hoftheater hat schon 1907 ein solches Gerät benutzt [12]. „Geringe Ozonkonzentrationen von 0,05 bis 0,5 mg pro cbm Luft“ wurden empfohlen. Heute werden höchstens 0,01 bis 0,02 mg/m³ angeraten [17], aber keinesfalls empfohlen, weil die Nebenwirkungen noch zu unbekannt sind. Selbst der MAK-Wert liegt heute bei 0,1 ppm (0,2 mg/m³).

Fernbedienung

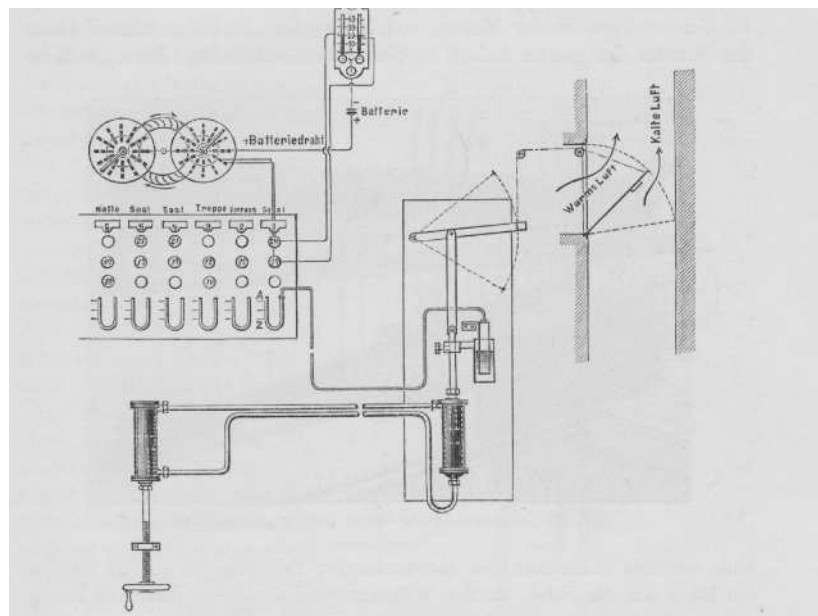


Bild 14: Fernverstellung und Stellungsanzeige [10]

Die Regelungstechnik beginnt um 1900 mit Fernablesung und Fernverstellung. Ein gutes Beispiel dafür aus dem Reichstag in Berlin zeigt Bild 14. Die Verstellung entfernt liegender Klappen wurde mit Seilzügen oder mit Wasserdruck durchgeführt. Der Klappenmotor wird mit Wasserdruck vom handverstellbaren Kolben links im Bild verstellt. Es handelt sich hier noch um wirkliche Handregelung [33].

Die U-Rohre zeigen die Klappenstellung durch Luftdruck an, den ein Tauchzylinder an der Schubstange des Stellmotors abgibt. Mit elektrischen Impulsen werden beim Erreichen von oberen und unteren Grenzwerten der Temperatur Anzeige-klappen betätigt. Dazu schaltet das Quecksilberthermometer in Bildmitte oben, wenn die Quecksilbersäule eine Elektrode im Thermometer erreicht. Ein mechanischer Messstellenumschalter, links oben im Bild, leitet die Signale zu den verschiedenen Anzeigeclappen, oberhalb der Stellungsanzeige für die jeweilige Drosselklappe.

Filterentwicklung

Bevor es Filter gab, wurden so genannte Staubkammern empfohlen. Rietschel schreibt [4]: „...bei Lüftungsanlagen mittelst Temperaturdifferenzen (also ohne Ventilator), benutzt man die sog. Staubkammern zur Reinigung der Luft, große Räume, welche die Luft durchströmt, und in denen sie ihre Geschwindigkeit fast völlig verliert und dadurch den fortgeführten Staub zu Boden sinken lässt. Diese Staubkammern müssen sorgfältig hergestellt und gut abgeschlossen sein, müssen aber andererseits stets leicht zugänglich sein und möglichst Tageslicht besitzen, so dass sie jederzeit rewidert und gereinigt werden können.“

Für Anlagen mit maschinellem Antrieb wurden auch schon zusätzlich Filter vorgeschlagen aus Leinen oder Baumwollgeweben. Bild 15 zeigt Vorschläge für die Filteranbringung in Staubkammern. Die Außenluftansaugung erfolgt ebenerdig.

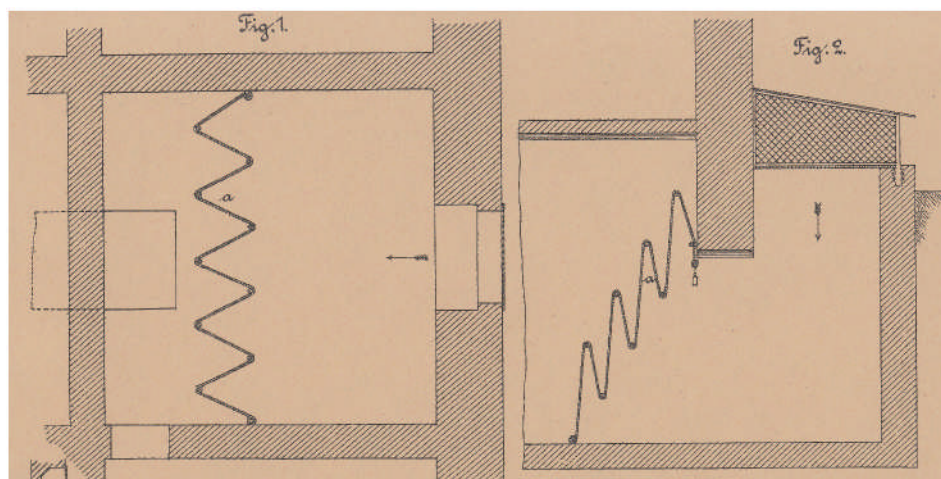


Bild 15: Kombination von Staubkammer und Filter [4]

Während zahlreiche Komponenten für den Einbau ins Gebäude schon um 1900 gut entwickelt waren, kann man das von den Luftfiltern nicht behaupten. Im House of Commons sollte gestopfte Baumwolle als Filter verwendet worden sein. Später

wurden Gewebefilter eingebaut aus rauhen Woll- oder Baumwollgeweben oder Watte. Ein Beispiel eines Taschenfilters um 1900 zeigt Bild 16. Die Taschen waren über einem Drahtgeflecht aufgespannt, die zum Reinigen aus dem stabilen Rahmen herausgenommen werden konnten. Der Druckverlust war anfangs umstritten. Die Firma Möller gab nach Rietschel einen Druckverlust von 0,2 mm Wassersäule bei $100 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ an, während Rietschel 2 bis 4 mm Wassersäule maß, der auch feststellte, dass der Druckverlust linear mit dem Volumenstrom ansteigt.

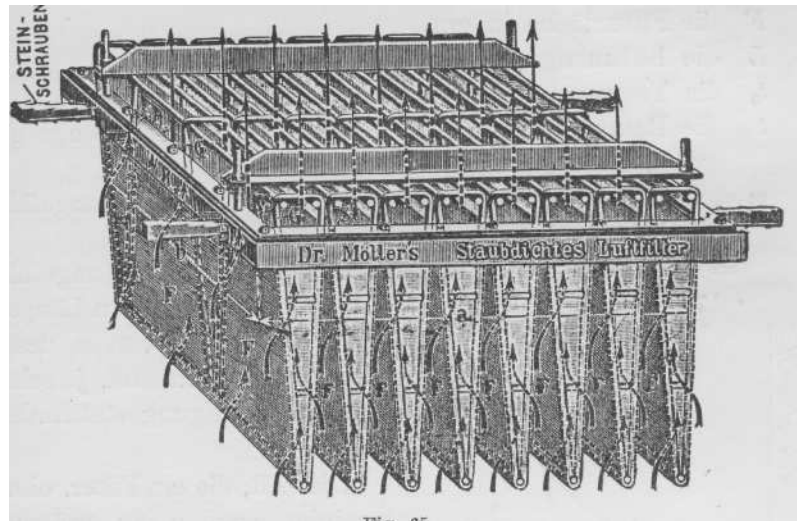


Bild 16: Möllers Luftfilter [12] um 1900;

Nesseltuch 17 Faden Schuss, 27 Faden Kette je cm

Einen Tiefpunkt der Filterentwicklung stellten ölbenetzte Gestrick- oder Raschiringfilter dar, die vermutlich aus Materialmangel während der Kriegs- und Nachkriegszeit in Deutschland angewendet wurden. Bild 17 zeigt zwei verschiedene Filter dieser Art im sauberen und verschmutzten Zustand.

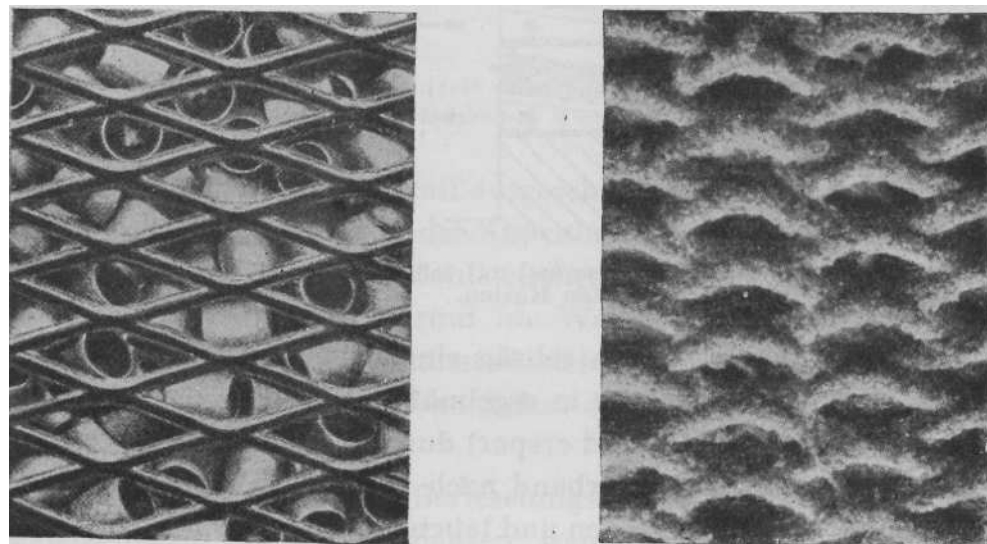


Bild 17: Filter in Deutschland 1951: Ölbeschichtete Metallfilter [14]

In den 1940er Jahren wurden in USA Glasfaserfilter entwickelt, die hinsichtlich Partikelabscheidung jede Anforderung von sehr niedrig bis außerordentlich hoch erfüllen können. Von Grobstaub über Feinstaub zu HEPA- und ULPA-Filtern lassen sich alle Anforderungen erfüllen. Die HEPA-Filter wurden für das Manhattan Projekt (Amerikanisches Atomwaffenprogramm) entwickelt, um radioaktive Verunreinigungen auszufiltern.

Der Nachteil aller dieser Filter besteht darin, dass die frische Luft den abgeschiedenen Staub durchströmt und dabei gasförmige Verunreinigungen aufnehmen kann, die aus den abgelagerten Stoffen oder aus Stoffwechselfvorgängen unter anderem durch Oxidation durch Ozon entstehen. Elektrofilter, bei denen diese Problematik geringer wäre, haben die flächendeckende Anwendung bis heute nicht erreicht.

Großflächige Anwendung der Raumklimatechnik

Die großflächige Anwendung der Raumklimatechnik (air-conditioning) beginnt in den USA in den 1920er Jahren. Das Wort „Air Conditioning“ wurde 1907 in USA zum ersten Mal benutzt [13]. In Deutschland begann die Anwendung der Klimatechnik bedingt durch den 1. und 2. Weltkrieg erst nach 1950 [16]. Sie wurde gefördert durch den Bauboom und die ersten Bürohochhäuser in dieser Zeit. Anfangs wurden amerikanische Klimasysteme übernommen, ab 1970 gibt es Weiterentwicklungen in Deutschland und Nordeuropa [15].

Klimageräte

In den 1960er Jahren begann in Europa eine eigene Geräteentwicklung. Es wurden Gehäuseteile zunächst aus schwarzem, später aus verzinktem Blech hergestellt. Sie enthielten einzelne Komponenten, wie Ventilator, Befeuchter, Heiz- und Kühlregister und wurden zu einem Gerät zusammengebaut.



Bild 18: Heutiges doppelwandiges Klimagerät

Anfangs wurden einfache Blechwände in Rahmenkonstruktionen verwendet, die innen mit Glasfasermatten zur thermischen Isolierung und zur Schalldämpfung

beklebt waren. Für Außenaufstellung wurden größere Geräte aus Sandwichplatten, sog. ISO-Wänden, hergestellt, die aus zwei Blechen mit einer Kunststoffschäumfüllung dazwischen bestehen. Weil sich Glasfasermatten auf der Innenseite nicht gut reinigen lassen, wurden in den 1980er Jahren zunächst für Krankenhäuser so genannte Hygienegeräte entwickelt, die aus einer Doppelblech-wand mit dazwischen liegender Steinwollschicht bestehen. Bild 18 zeigt ein solches Gerät für Zu- und Abluft. Die Geräte werden heute überwiegend auch für normale RLT-Anlagen verwendet und haben einen großen Marktanteil.

In den 60er Jahren wurde in Deutschland begonnen, Induktionsgeräte herzustellen, die als Endgeräte in den Räumen unter Fensterbrüstungen eingebaut wurden. Bild 19 zeigt ein Beispiel. Ihr Vorteil ist, dass die Energie zum Heizen und Kühlen bevorzugt mit Wasser gefördert wird.

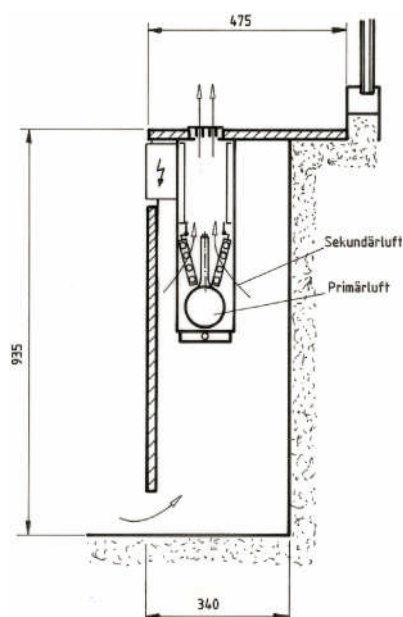


Bild 19: Induktionsgerät Rox Convair 1968

Das Prinzip wurde schon 1919 in den USA von dem Deutschen, Albert R. Klein, patentiert [5], allerdings für große Geräte in großen Werkshallen und eigentlich mit einem anderen Ziel. Es sollte die kalte Luft am Boden ansaugen und die Temperatur in der Halle gleichmäßig machen. Es enthält keine Wärmeaustauscher zur Erwärmung oder Kühlung der angesaugten Luft.

Aus der amerikanischen Herkunft erklärt sich auch der ins Deutsche falsch übersetzte Name. Induction unit hätte mit „Injektionsgerät“ übersetzt werden müssen. Bis heute existieren zahlreiche Variationen dieser Geräte, je nach Leistung, Art der Regelung, mit Klappen oder Ventilen, nach Art und Zahl der Wärmetauscher und nach ihrer Anordnung in der Brüstung, in der Decke, im Fußboden und dergleichen.

Geräte, die als dezentrale Raumgeräte einzusetzen waren, kamen ab 1950 auf den Markt. Sie haben sich aber im größeren Stil damals nicht durchgesetzt, wohl auch deshalb, weil sie nicht alle Klimafunktionen erfüllen konnten. Erst ab 2000 gibt es Neuentwicklungen, die das können, und sie sind jetzt immer häufiger anzutreffen.

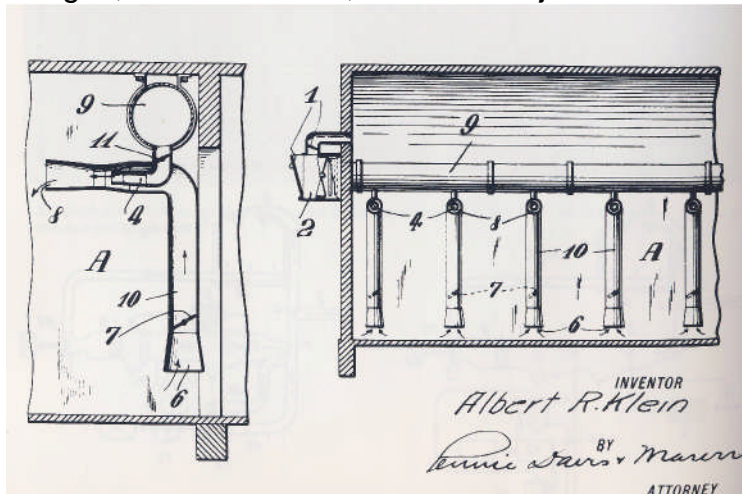


Bild 20: Patentanmeldung des Induktionsprinzips in USA 1919

Systementwicklung

Zunächst wurden Nurluftanlagen mit konstantem Volumenstrom, insbesondere Zweikanalanlagen gebaut, die an das Prinzip der alten gemauerten Anlagen aus den Anfängen der Klimatechnik anschlossen. Die verzweigten Kalt- und Warmluftkanäle enden in den einzelnen Räumen in Zweikanalgeräten, die verschiedene Kombinationen von Volumenstrom- und Drosselreglern für den Kalt-, Warm- und Mischluftkanal enthalten. Sie wurden bis in die 80er Jahre eingesetzt, sogar auch als Variabel-Volumenstromanlagen, schließlich aber von Einkanalanlagen mit variablem Volumenstrom und Induktionsanlagen abgelöst.

Wegen der wachsenden Verwendung großflächiger Glasfassaden ohne äußeren Sonnenschutz und zunehmender Beleuchtungsstärke in den Bürogebäuden, wuchsen die thermischen Lasten in den Räumen in den 70er Jahren auf raumströmungstechnisch nicht beherrschbare Werte. Sie erbrachten zwar die erforderliche Kühlleistung, nachdem Wasser-Luftsysteme, wie die Induktionsgeräte, eingeführt wurden, aber die Luftgeschwindigkeiten überschritten die Behaglichkeitsgrenzen [151], die aber selbst erst gefunden werden mussten.

Um 1980 wurden die Wasser-Luft-Systeme verbessert durch Einführung der Deckenkühlung, die bei großflächiger Anwendung für thermisch behaglichere Bedingungen sorgt, weil die Wärmeabgabe von Personen bei hohen thermischen Lasten im Raum den natürlichen Bedingungen näher kommt, bei denen etwa je 50% der sensiblen Wärme durch Konvektion und Strahlung abgegeben werden. Induktionsanlagen werden aber immer noch angewendet, weil sie preiswerter sind und bis zu thermischen Lasten von ungefähr 50 W/m^2 auch thermisch behagliche Bedingungen schaffen können.

Die Regelung wurde zunächst (in USA schon ab 1900) pneumatisch durchgeführt. Sie war preiswert und übersichtlich. Elektrische Regler und Stellmotoren setzten sich zunächst nur zögernd durch. Erst mit den Erfolgen der Digitaltechnik wurde die elektrische Regelung erfolgreich; denn Rechner konnten die gesamte Regelung ersetzen. Für pneumatische Regler gibt es heute kaum noch Ersatzteile.

Raumströmung

Wie oben schon angedeutet, waren Klimaanlage, die hohe Kühlleistungen einzubringen hatten, nicht in der Lage, thermisch behagliche Bedingungen herzustellen. Die Temperaturen stimmten zwar, aber es zog. In Laborversuchen in Firmenlabors und auch an Hochschulen wurde herausgefunden, dass die klassische Mischlüftung, die ab 1900 nach Einführung des Ventilators fast überall angewendet wurde, bei hohen thermischen Lasten zu hohe Luftgeschwindigkeiten erzeugt. Die Luftgeschwindigkeit steigt [15] mit der thermischen Last, und bei 100 W/m^2 ist auch für die beste Klimaanlage mit Mischlüftung die Grenze ihrer Möglichkeiten erreicht! Quelllüftung, Lüftung von unten nach oben, wie im House of Commons, hat sich in der Zeit von 1900 bis 1980 nur in Theatern erhalten, wurde dann aber wiederentdeckt [15]; [21], nachdem die hygienischen Argumente gegen diese Luftführung durch Untersuchungen der Staub- und Gaskonzentrationen in Räumen widerlegt waren.

Eine weitere Strömungsform wurde realisiert. Die laminare Verdrängungsströmung. Sie wird aber nur selten angewendet, vorwiegend im industriellen Bereich, weil sie sehr hohe Luftströme erfordert. Sie wird in einigen Reinräumen und manchmal auch partiell in OP-Räumen angewendet.

Hygiene

Im 18. Jahrhundert stand bei Überlegungen zum Luftaustausch nicht die thermische Behaglichkeit im Vordergrund, sondern die hygienische Verbesserungen durch Heizen und Lüften. Die Zahl der Todesfälle in Gefängnissen durch Krankheiten war erschreckend groß, und es wurde ein Zusammenhang zwischen schlechter Luft und Krankheit erkannt. Anfangs wurden die ersten Anlagen deshalb auch so gebaut, dass man sie gut reinigen konnte.

Seit Pettenkofer [3], Mitte des 19. Jahrhunderts, gibt es klare messbare Forderungen für den Luftaustausch, die weitgehend anerkannt und umgesetzt wurden, wenn man vielleicht von Ausnahmen, wie den Schulen in Deutschland, absieht.

Erst Mitte des 20. Jahrhunderts setzt sich die Raumluftechnik großflächig in Deutschland durch, allerdings mit nachlassender Berücksichtigung der Hygiene. Die Geräteentwicklung führte zu immer kleineren preiswerteren Gerätequerschnitten und die Zugänglichkeit der einzelnen Komponenten wurde immer schlechter. Erst in den 1980er Jahren gab es so viele Klagen, Stichwort „Sick-BuildingSyndrom“, dass mit der Richtlinie VDI 6022 Ende der 90er Jahre Regeln für die Planung, Ausführung und Wartung von Raumluftechnischen Anlagen aufgestellt wurden [18];[19];[29].

Luftgeschwindigkeiten

Die wichtigste Größe für die thermische Behaglichkeit ist die Luftgeschwindigkeit im Raum. Im Detail kann hier nicht darauf eingegangen werden, aber es soll nur dargestellt werden, wie die als behaglich angenommenen Grenzwerte im Laufe der Zeit schwankten.

Zulässige Luftgeschwindigkeit im Laufe der Zeit:

Jahr	Autor	Geschwindigkeit m/s	Messmethode
1885	Rietschel	0,18	Pulverdampf / Maßstab / Uhr
1930	Gröber	0,5. .1,4	Katathermometer.
1970	Fanger	1,2	Hitzdrahtanemometer, geringe Turbulenz
1980	Fanger	0,15	Hitzdrahtanemometer Turbulenzgrad 40%

Erst seit den 70er Jahren lässt sich die Luftgeschwindigkeit einigermaßen gut messen. Das erklärt einen großen Teil der Ungereimtheiten. Aber interessant ist der Lösungsvorschlag, der ähnlich heute oft auch für die Lösung anderer Probleme gemacht wird, von Prof. Dr. med. Bürger, Danzig, in Rietschel-Gröber, 1930 [32]:

„Die Furcht vor Zug hat der Lüftungstechnik seit jeher starke Fesseln angelegt. Diese Furcht ist eine dem Deutschen teils angeborene, größtenteils aber anerzogene Manie, die durch systematische Aufklärung in der Schule bekämpft werden kann. Durchweg empfindet der Mensch erst Luftströmungen von 50 cm pro Sekunde“.

Schlusswort

Obwohl die Geschichte der Raumklimatechnik nicht sehr lang ist, stellt sie doch schon eine interessante Entwicklung dar und in einem Referat, wie diesem, sind alle bemerkenswerten Schritte im einzelnen gar nicht darstellbar. Die Aufklärung im 18. Jahrhundert sorgte für die ersten Schritte zum Verständnis der theoretischen Zusammenhänge. Am Anfang war Behaglichkeit kein Thema, sondern Hygiene. Man ahnte, dass schlechte Luft Krankheit und Tod bringen konnte. Und das sollte verhindert werden. Im 19. Jahrhundert wurden in einigen besonders wichtigen Gebäuden erste Raumluftechnische Anlagen gebaut, auch schon mit dem Ziel, thermische Behaglichkeit zu erreichen. Erst als elektrischer Strom verfügbar war und Elektromotoren verwendet werden konnten, ließen sich funktionierende Anlagen bauen, weil ganzjährig Luftförderung und Kühlung mit Kompressionskälte möglich war. Es dauerte dann aber nochmals bis 1930 in USA und bis 1960 in Deutschland, bis sich Raumluftechnische Anlagen allgemein durchsetzten. Die Anforderungen der thermischen Behaglichkeit wurden nach und nach erhöht und die hygienische Bedeutung der Raumluftechnik wiederentdeckt. Inzwischen gibt es definierte Forderungen für die Sauberkeit von RLT-Anlagen, die erfreulicherweise auch immer häufiger beachtet werden. Ungelöst ist aber immer noch die Frage, wie groß der personenbezogene Mindestluftvolumenstrom sein muss, wenn akzeptable Luftqualität im Raum herrschen soll, weil noch zu wenig bekannt ist über die Luftverunreinigungen in Räumen. Und erst wenn die Verunreinigungen reduziert werden, kann auch der Luftaustausch verringert werden.

Literatur:

- [1] Rietschel, H.: Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- und Heizungs-Anlagen, Verlag von Julius Springer 1894, Berlin
- [2] Beretta, M.: Lavoisier: Die Revolution in der Chemie, Spektrum der Wissenschaft, Biographie 3/1 999
- [3] Pettenkofer, M.: Über den Luftwechsel in Wohngebäuden, Cotta'sche Buchhandlung, München 1858
- [4] Rietschel, H.: Lüftung und Heizung, (handgeschrieben) 1890/91 und Abbildungen zu den Vorlesungen 1886, privater Nachdruck Hubertus Protz 1999
- [5] Usemann, K. W.: Entwicklung von Heizungs- und Lüftungstechnik zur Wissenschaft, R. Oldenbourg Verlag München Wien 1993
- [6] Sturrock, N.; Lawson-Smith, P.: David Boswell: Reid's Ventilation of the Houses of Parliament, The Victorian Web;
<http://www.victorianweb.org/technology/engineers/reid/1.html>
- [7] Schwartze, Th.: Heizung, Beleuchtung und Ventilation Verlagsbuchhandlung J. J. Weber, Leipzig 1884
- [8] Musmacher, J.: Die Luftkühlanlage für das neue Stadttheater in Köln a. R.; Gesundheitsingenieur (1904) 27 Jg. No 7, S. 101-104
- [9] Anonym: Die Firma David Grove von 1864-1904, Gesundheitsingenieur 27 (1904) Jg. No 34, S. 555-564
- [10] Grove, D.: Ausgeführte Heizungs- und Lüftungs-Anlagen, 1895
- [11] Recknagel, H.: Kalender für Gesundheits-Techniker, Verlag R. Oldenbourg, München, 1897
- [12] Dietz, L.: Ventilations- und Heizungsanlagen, Oldenbourg's TH 1909
- [13] Carrier, W. H. et al.: Modern Air-Conditioning, Heating and Ventilating, Pitman Publishing Corp. 1950
- [14] Rietschel-Gröber 1951: Heiz- und Lüftungstechnik; 12. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1951
- [15] Rietschel: Raumklimotechnik, Raumluft- und Raumkühltechnik, Herausg. K. Fitzner, 16. Aufl. Springer Verlag, 2008
- [16] Jahn, A.: Von der Lüftungstechnik über die Raumlufttechnik zur Raumklimotechnik – 1949 bis 1999, 50 Jahre Klimotechnik in Deutschland, in 50 Jahre Gesundheitstechnische Gesellschaft e. V. Berlin, 29. 10. 1999
- [17] Recknagel-Sprenger: Heizung- und Klimotechnik. 73. Auflage 07/08
- [18] VDI 6022 (4/2006) Hygienische Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte
- [19] REHVA Guidebook No 8 (FGK-Statusreport Nr. 19): Die Sauberkeit von Lüftungsanlagen, VDI; FGK 2007
- [20] Fitzner, K.: Luftförderung um 1890, Aus „Rietschel: Vorlesung über Lüftung und Heizung 1890/91“, Sonderdruck der Gesundheitstechnischen Gesellschaft 11/2009
- [21] Fitzner, K.: Wege und Umwege zur Quelllüftung. Vortrag VDI Jahrestagung Oktober 1999 in Dresden, HLH 11/1999, S.74
- [22] Nagengast, B.: 100 Years of Air Conditioning, ASHRAE Journal, June, 2002
http://www.civil.uwaterloo.ca/BEG/Arch673/ASHRAE_Jrnl_History.pdf
- [23] Brockhaus Konversationslexikon: „Ventilation I“; 1892/5 u. „Eismaschine“, 1895/6, 14. Auflage

[24] Lueger, Otto: Lexikon der gesamten Technik und ihrer Hilfswissenschaften, Bd. 2; Stuttgart, Leipzig 1905, S. 38-39

[25] Witgar Neumaier. Eisernte, www.vhk.org-HKK-Aktuelles (Historischer Kälte- und Klimatechnik e. V. (HKK) [26 Heintze, N.: Eiskeller;

<http://www.vhkk.org/biografien/index.php:>

[27] Nagengast, B.: Early Twentieth Century Air-Conditioning Engineering; ASHRAE Journal 1999/3 S. 55-62

[28] Rietschel: Raumklimotechnik, 1. Grundlagen, Herausg. H. Esdorn, Springer Verlag 1994

[29] Finke, U., K. Fitzner: Die hygienebewußte Planung, Ausführung und Instandhaltung von Raumluftechnischen Anlagen in den Normen, KI Luft- und Kältetechnik 11/1995

[30] Nagengast, B.: The first 80 years of air conditioning, ASHRAE Journal s Product and Show Guide, Jan. 1992

[31] Engel, S.; S. Tode: 150 Jahre Pioniergeist, Imtech Deutschland 1858-2008, Verlag Hanseatischer Merkur, 2008

[32] H. Rietschels Leitfaden der Heiz- und Lüftungstechnik, Herausgeber H. Gräber, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1930

[33] Protz, H.: Über die fortschreitende Zweckerfüllung durch angewandte Regelungstechnik-... in „50 Jahre Gesundheitstechnische Gesellschaft E. V.“, Berlin, 29.10.1999

[34] Stenzel, B.: Geschichte der Kältemaschine;

<http://www.vhkk.org/biografien/index.php>