

Zur Entwicklung von Kältemaschinen

Autor(en): **A.O.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **73 (1955)**

Heft 49

PDF erstellt am: **29.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-62030>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Zur Entwicklung der Kältemaschinen

DK 621.57:93

Die Geschichte der Dampfmaschine ist dank den eingehenden Schilderungen, die anfangs unseres Jahrhunderts hierüber erschienen sind, gut bekannt. Ueber Entstehen und Werden der Kältemaschine weiss man jedoch nur wenig, trotz der enormen wirtschaftlichen Bedeutung dieses Zweiges der Technik und trotzdem fast in jedem Haushalt ein Kühlschrank steht. Dieser Mangel ist nicht nur ein Schönheitsfehler, sondern zeitigt schwerwiegende Folgen. Denn ohne ein tieferes Wissen um Wesen und Werden der Dinge, deren wir uns direkt oder indirekt bedienen, gewinnen wir nicht jene enge, persönlich verpflichtende Beziehung zu ihnen, die uns davor bewahrt, sie zu missbrauchen. Zu diesem Wissen gehört in besonderem Masse das Nacherleben der geistigen Haltung, aus der heraus unsere technischen Hilfsmittel geschaffen wurden, sowie der Anstrengungen, des Wagemutes und des Glaubens, deren es bedurfte, um aus den gegebenen Möglichkeiten das Neue zu schaffen und unausgesetzt zu verbessern. Ueberdies lassen sich der gegenwärtige Stand und die zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten nur aus der Entwicklungsgeschichte zutreffend beurteilen. Es ist daher in hohem Masse begrüssenswert und verdienstlich, dass Prof. Dr.-Ing. Dr. phil. nat. h. c. *Rudolf Plank* an den Anfang des ersten Bandes des von ihm herausgegebenen Handbuches der Kältetechnik¹⁾ eine Geschichte der Kälteerzeugung und Kälteanwendung gesetzt hat. Mit seinem Einverständnis und mit demjenigen des Springer-Verlages sollen nachfolgend einige interessante Phasen dieser Geschichte auszugsweise geschildert werden. Die Entwicklung der Kältetechnik, die mit der Gründung unserer Eidg. Technischen Hochschule zusammenfällt, ist auch in unserem Lande stark gefördert worden, so dass sich eine zusammenfassende Darstellung an dieser Stelle rechtfertigt, um so mehr, als der bedeutendste und erfolgreichste Förderer, Carl von Linde, ein Schüler eines der ersten Kurse des Eidg. Polytechnikums war.

1. Anfänge und Vorarbeiten

Schon Jahrtausende vor Christi Geburt liessen mächtige Herrscher durch Sklaven im Winter Schnee und Eis in Höhlen oder in künstlich isolierte Kellerräume bringen, um darin im Sommer Lebensmittel und hauptsächlich Getränke zu kühlen. Im 5. Jahrhundert v. Chr. verwendeten die Bewohner der Nilebene wassergefüllte Tongefässe, die sie über Nacht von Sklaven aussen besprengen liessen, um am Morgen kaltes Wasser zu bekommen. Kältemischungen waren wahrscheinlich schon in den ersten christlichen Jahrhunderten bekannt. Zuverlässig beschrieben werden sie erst im 16. Jahrhundert. Bevorzugt war die Mischung von Salpeter mit Wasser oder Schnee.

Abgesehen von diesen primitiven Kälteanwendungen, die sich mit geringem apparativem Aufwand verwirklichen liessen, erforderte die künstliche Erzeugung tiefer Temperaturen zutreffendere Vorstellungen über das Wesen der Wärme. Die Abklärung dieser Vorstellungen und der hier gültigen Gesetze und Grössen setzte erst in der Mitte des 18. Jahrhunderts ein. Bemerkenswerter Weise beteiligten sich dabei neben Physikern und Ingenieuren auch Chemiker und Aerzte. Diese grundlegenden und schwierigen Forschungen standen naturgemäss in engem Zusammenhang mit den Entwicklungen auf dem Gebiete des Dampfmaschinenbaues. Für die künstliche Erzeugung tiefer Temperaturen bestand damals wohl kein vordringliches wirtschaftliches Bedürfnis, wohl aber war das theoretische Interesse sehr gross, da hierdurch die Kenntnis der physikalischen Eigenschaften von Gasen, Dämpfen und Flüssigkeiten wesentlich erweitert werden konnte.

¹⁾ *Handbuch der Kältetechnik*. Unter Mitarbeit zahlreicher Fachleute herausgegeben von *Rudolf Plank*, Karlsruhe. Erster Band: Entwicklung, Wirtschaftliche Bedeutung, Werkstoffe. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1954. Buchbesprechung in Nr. 27, S. 426 des 1fd. Jahrgangs

Schon im Jahre 1755 gelang es *William Cullen*, Professor der Chemie an der Universität Glasgow, durch Verdampfen von Aether unter Vakuum Wasser zum Gefrieren zu bringen, während sein Schüler und Nachfolger, *Joseph Black* (1728 bis 1799), der zugleich praktischer Arzt war, für uns namentlich durch seine Bestimmungen der Schmelzwärme von Eis (1761) — er fand 77 bis 78 kcal/kg statt 79,8 kcal/kg — und der Verdampfungswärme von Wasser unter Atmosphärendruck (1764; er stellte 445 bis 456 kcal/kg fest statt 539) von Bedeutung ist.

Die weiteren Forschungen betrafen vor allem die Verflüssigung von Gasen. Unter ihnen ragt *Michael Faraday* (1791—1867) hervor, der 1823 die erste klassische Arbeit über die Verflüssigung von SO₂, H₂S, CO₂, N₂O, C₂H₂, NH₃ und HCl veröffentlichte. In einer späteren 1845 erschienenen Arbeit beschrieb er ein Verfahren, mit dem er die Temperatur des Kältebades auf —110° absenken und zahlreiche andere Gase einschliesslich des Aethylens verflüssigen konnte. Von grösster Bedeutung waren die grundlegenden Arbeiten verschiedener Forscher des 19. Jahrhunderts, aus denen jene Vorstellungen, Gesetzmässigkeiten, Grössen und Werte hervorgingen, die wir heute als Wärmelehre kennen und die im «Handbuch» in überaus ansprechender Weise beschrieben werden.

Die eigentliche Kältemaschine ist nur wenig mehr als hundert Jahre alt. Während *Thomas Newcomen* und *John Cawley* bereits im Jahre 1712 ihre ersten atmosphärischen Wasserhaltungs-Dampfmaschinen erstellten und *James Watt* sein berühmtes Patent am 9. Januar 1769 erhielt, gelang es erst 1844 dem amerikanischen Arzt *John Gorrie*, eine erste brauchbare Kaltluftmaschine herzustellen und am 6. Mai 1851 sein US-Patent zu erlangen. John Gorrie liess sich 1833 als praktischer Arzt in der Stadt Apalachicola in Florida nieder. Die Sorge um seine Kranken, die in Fieberzuständen unter dem heissen Klima zu leiden hatten, bewog ihn, nach Möglichkeiten der künstlichen Kühlung der Krankenräume zu suchen. So baute er seine Kaltluftmaschine, die im wesentlichen aus einem Kompressor von etwa 8" Zylinderdurchmesser und einem entsprechend kleineren Expansionszylinder bestand. Der Verdichtungsdruck betrug nur etwa 2 at abs. Die Verdichtungswärme wurde durch Einspritzen von Wasser abgeführt und die Druckluft anschliessend in einen durch Wasser gekühlten Sammler geleitet. Während der anschliessenden Ausdehnung der Luft wurde in den Expansionszylinder Salzwasser eingespritzt, das sich dabei an der Luft auf etwa —7° C abkühlte und in einem Bassin zur Eisfabrikation diente. Eine kommerzielle Verwertung seiner Ideen blieb Gorrie versagt. Er erlag 1855, erst 52jährig, einem Herzleiden.

Inzwischen war die Zeit für die Kältetechnik allmählich reif geworden. Als praktisch verwirklichte Möglichkeiten erkannte und förderte man drei Verfahren, nämlich die Kaltluftmaschine, die Kompressions-Kaltdampfmaschine und die Absorptionsmaschine.

2. Die Kaltluftmaschine

Bald nach Gorries Erfindung fing man auch in England an, der Kaltluftmaschine grössere Aufmerksamkeit zu schenken. 1852 beschreibt dort *Rankine* eine solche nach dem offenen Prozess arbeitende Maschine in allen Einzelheiten. 1857 begegnen wir in einem Bericht von *Sir William Siemens* dem Vorschlag, die kalte Luft, die beim Gorrie-Verfahren nach der Abkühlung des Salzwassers frei ausströmte, in einem Gegenstrom-Wärmeaustauscher zur weiteren Abkühlung der verdichteten Luft vor ihrem Eintritt in den Expansionszylinder zu verwenden. Das war eine der ersten Anwendungen des Siemesschen Regenerativverfahrens, das später in Absorptions- und Luftverflüssigungsmaschinen mit grossem Erfolg angewandt wurde.

In der Folge bildeten sich zwei Verfahren aus, das eine mit geschlossenem Luftkreislauf, das andere als offener Pro-

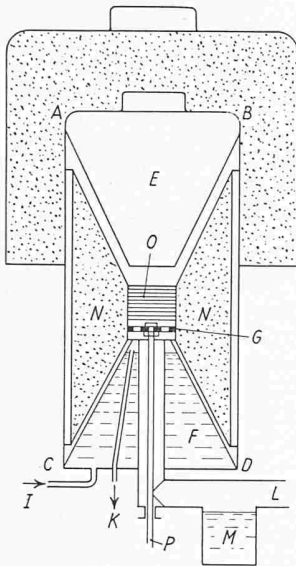


Bild 1. Kaltluftmaschine von Alexander Carnegie Kirk, Modellausführung aus dem Jahre 1862, ohne den zugehörigen Luftkompressor. ABCD Arbeitszylinder von 125 mm Durchmesser; E oberer Deckel des Arbeitszylinders, zugleich Kammer für das Kühlgut, durch den stark isolierten Deckel gegen Wärmeeinfall geschützt; F wassergekühlter unterer Deckel des Arbeitszylinders; NN Arbeitskolben (Hub 30 mm) mit konischen Böden, inwendig mit trockenen Sägespänen isoliert, P Kolbenstange, G Kolbenboden mit Öffnungen, O Zentrale Öffnung, mit mehreren Lagen Drahtnetzplatten gefüllt, die als Regenerator wirken; I Kühlwasserzutritt; K Kühlwasserablauf; L Luftleitung zum Luftkompressor, M Gefäß mit konzentrierter Schwefelsäure zum Trocknen der Arbeitsluft

zess. Es sind also damals schon ähnliche Ueberlegungen angestellt und verwirklicht worden, wie sie gut 70 Jahre später bei der Entwicklung der Gasturbinen in entsprechend abgewandelter Form wieder neu aufgegriffen wurden. Die bedeutendsten Verwirklichungen von Kälteverfahren mit geschlossenem Kreislauf der Luft sind mit den Namen Kirk, Allen und Windhausen verbunden.

1862 baute der schottische Ingenieur *Alexander Carnegie Kirk* die erste industriell verwertbare Kaltluftmaschine, mit der es ihm schliesslich gelang, Quecksilber zum Erstarren zu bringen, also Temperaturen bis -40°C zu erreichen. Die interessanten Gedanken, die dabei verwirklicht wurden, sollen an Hand von Bild 1 verfolgt werden. Die Versuchs-Apparatur, die Kirk zuerst ausführte und ausprobierte, bestand aus einem Zylinder ABCD aus Weissblech von 125 mm Durchmesser, in welchem ein Kolben N mit stark konischen Böden einen Hub von 30 mm beschreiben konnte und durch eine Kolbenstange P bewegt wurde. Der Kolben wies in der Mitte eine Öffnung O auf, die mit mehreren Lagen engmaschiger Drahtnetze gefüllt war; diese wirkten als Regenerator. Der Hohlraum zwischen den Böden war mit Sägespänen gefüllt, die eine Wärmeisolierung bildeten; aussen besorgte mit Fett getränkter Flanell die Abdichtung. In den oberen Raum E führte Kirk das zu kühlende Gut ein, wozu der stark isolierte Deckel diente; der untere Raum war von Kühlwasser durchströmt. Die Leitung L stand mit einem einfach wirkenden Luftkompressor in Verbindung, der auf Bild 1 nicht dargestellt ist und dessen Druckventile ausgebaut waren. Bei M befand sich konzentrierte Schwefelsäure, um die Arbeitsluft zu trocknen.

Die Maschine arbeitete wie folgt: Der Kompressor drückt beim Abwärtsgang seines Kolbens die Luft durch die Leitung L unter den Kolben N, der sich in der Nähe seiner

oberen Totpunktlage befindet. Dabei steigt der Druck auf etwa 2 at abs., während sich die komprimierte Luft am gekühlten Deckel F abkühlt. In der folgenden Phase, in der der Kompressorkolben sich nahe seinem untern Totpunkt befindet, bewegt sich der Kolben N nach unten, wobei die Druckluft vom Raum unter N durch den Regenerator O in den Raum über N übertritt und sich dabei an O weiter abkühlt. In der dritten Phase bewirkt der Aufwärtsgang des Kompressorkolbens eine Expansion der Luft verbunden mit starker Abkühlung, wodurch dem Kühlgut im Raume E Wärme entzogen wird. In der letzten Phase tritt mit dem Aufwärtsgang des Kolbens N die kalte Luft durch den Regenerator O von oben nach unten, in welchem ihre Kälte für das nächste Kolbenspiel bereitgestellt wird. Die Saugventile des Kompressors öffneten nur gegen Ende des Expansionshubes, um die kleine Luftmenge in den Kreislauf einzuführen, die durch Undichtheit verloren ging.

Kirk hat später noch andere Bauarten entwickelt und dabei den Kompressionsraum, den Expansionsraum und den Wärmeaustauscher räumlich voneinander getrennt, um die schädlichen Wandungswirkungen zu verringern. Er hat damit analoge Wirkungen mit entsprechenden Massnahmen erzielt, wie fast hundert Jahre vor ihm James Watt durch die Trennung von Dampfzylinder und Kondensator. Bei den späteren Modellen erhöhte Kirk den Druck von 2 auf 6 bis 8 at abs. Eine der ersten grösseren Maschinen wurde 1864 in den Oelwerken von Young, Meldrun und Binny in Bathgate aufgestellt.

Auch die Idee des geschlossenen Kreisprozesses mit erhöhtem Druckpegel, die heute in der Heissluftturbine von Escher Wyss wieder zu hoher Bedeutung gelangt ist, hat sich schon in den Anfängen der Kältetechnik ausgewirkt. Der Amerikaner *Leicester Allen* baute die ersten geschlossenen Hochdruckkaltluftmaschinen, in der die Luft mit 4 bis 5 at abs. angesaugt und auf etwa 15 at abs. verdichtet wurde (DRP 20 227, vom Jahre 1882). Dadurch erhielt er kleine Abmessungen für Maschinen und Apparate. Kompressions- und Expansionszylinder waren voneinander getrennt; dazwischen kühlte sich die Luft in einer von Kühlwasser umflossenen Kupferschlange ab. Die von Allen gebauten Maschinen wurden in den Vereinigten Staaten von Amerika ausgiebig verwendet und haben sich besonders auf Handels- und Kriegsschiffen bewährt.

In Deutschland konstruierte *F. Windhausen* um 1869/70 seine ersten Kaltluftmaschinen, die mit geschlossenem Kreislauf, Atmosphärendruck im Saugteil und etwa 3 at abs. nach der Verdichtung arbeiteten.

Die offene Kaltluftmaschine wurde 1873 von *Paul Giffard* in Paris vervollkommen und 1877 auf der Weltausstellung in Paris gezeigt. In England übernahm 1880 die Firma *J. & E. Hall, Ltd.* in Dartford (Kent), die Maschine von Giffard und entwickelte sie weiter für den Ueberseetransport von Fleisch. Den höchsten Grad der Vollkommenheit erreichten diese Maschinen erst in den Ausführungen der Bell-Coleman Refrigerating Co. in Glasgow, von denen noch einzelne Ausführungen bis vor kurzem in den Victoria Docks in London zu sehen waren. In der Folge haben auch andere Firmen den Bau von Kaltluftmaschinen aufgenommen und Anlagen mit bedeutenden Leistungen gebaut. Es wurden Kaltlufttemperaturen bis -60 und -70° erreicht.

Obwohl schon in den siebziger Jahren die Ueberlegenheit der Kaltdampfmaschinen erkannt und durch Ausführungen bestätigt worden war, vermochte sich die Kaltluftmaschine doch bis Ende der achtziger Jahre zu behaupten. Dies lag hauptsächlich an der Verwendung eines ungeeigneten, sehr giftigen und feuergefährlichen Kältemittels (Aethyläther) für die Kaltdampfmaschinen, bei dem der ganze Prozess unter Vakuum verlief.

In neuester Zeit hat die Kaltluftmaschine erneut für Sonderzwecke wieder Bedeutung erlangt. So baut die *Gesellschaft für Lindes Eismaschinen*, in der von Allen gewiesenen Richtung weiterentwickelnd, geschlossene Hochdruckmaschinen mit Verdichtung auf 200 Atm. und Entspannung auf 150 Atm., während *Brown Boveri & Cie.* durch Anwendung raschlaufender Turbomaschinen bedeutende Platzersparnisse erzielte. Anknüpfend an alte Gedanken entwickelte die *Philips-Gesellschaft* in Eindhoven (Holland) einen Kaltluftprozess, der für gewisse Anwendungen Vorteile bietet. Auch auf die Luftwärmepumpe, die vom Fernheizkraftwerk der

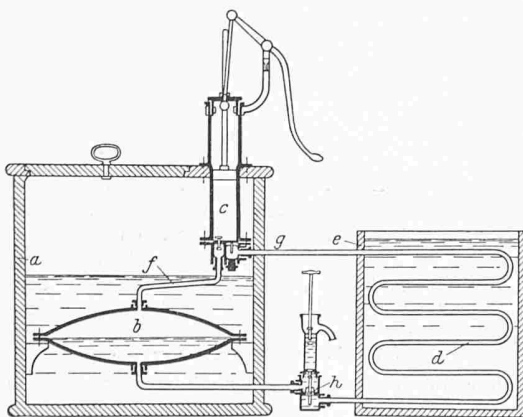


Bild 2. Kaltdampfmaschine von Jacob Perkins (Patentzeichnung aus dem Jahre 1834). a Isoliertes Gefäss, b Verdampfer, c Dampfpumpe, d Kühlschlange, e Behälter mit Kühlwasser, f Absaugleitung, g Leitung zur Kühlschlange, h Drosselventil

ETH unter der Leitung von Prof.-Dr. B. Bauer in den Jahren 1936/38 entwickelt wurde, sei hier hingewiesen²⁾.

3. Die Kompressions-Kaltdampfmaschine

Der eigentliche Erfinder des Kaltdampfprozesses war der 1766 in Newburyport, Mass., geborene *Jakob Perkins*, der als erfahrener und kühner Dampfmaschinenkonstrukteur am 14. August 1834, also mit 68 Jahren, sein berühmtes britisches Patent anmeldete, in dem er erstmals den geschlossenen Kreisprozess eines leichtflüchtigen Mediums mit den zu seiner Durchführung nötigen Organen Verdampfer, Kompressor, Kondensator und Drosselventil, beschreibt, Bild 2. Perkins überlebte sein Patent noch um 15 Jahre, ohne dass seine diesbezüglichen Gedanken eine praktische Auswirkung gehabt hätten. Die kommerzielle Ausnützung des Kaltdampfprozesses setzt vor allem einen zuverlässig wirkenden Verdichter voraus. Wenn auch die beim damals bevorzugten Aethyläther zu überwindenden Druckdifferenzen klein sind, so stellten doch die Abdichtung der Kolbenstange, der Bau der Ventile und die Sicherung eines genügenden Liefergrades bei der Förderung von nassen Dämpfen konstruktive Probleme, die mit den damals verfügbaren Mitteln nicht leicht zu lösen waren.

Mit der Verwirklichung des Kaltdampfprozesses beschäftigten sich in Deutschland *Hagen* (1834) und in England *Shaw* (1836). Einen grösseren Erfolg aber erzielte erst der 1801 in New Haven, Conn., geborene *Alexander C. Twinnig*, der 1848 wie andere Forscher mit Aethyläther zu arbeiten begann, 1850 ein englisches und 1853 ein amerikanisches Patent erhielt. Er baute damals einen doppelwirkenden Kompressor von 8½" Bohrung und 16" Hub. Eine seiner Maschinen wurde 1855 in den Cuyahoga Locomotive Works in Cleveland aufgestellt und erzeugte 2000 lbs Eis in 20 Stunden.

Die stärkste Förderung erfuhr damals die Kompressionskaltdampfmaschine durch *James Harrison*, der 1816 in Glasgow geboren wurde, 1837 nach Sydney übersiedelte und sich 1840 in Geelong bei Melbourne ansiedelte. Seine grundlegenden britischen Patente meldete er 1856 und 1857 an, wobei er als Kälte-träger zwar immer noch am Aethyläther festhielt, aber schon bei seinen ersten Maschinen die Verwendung von Ammoniak erwog. Seit 1859 wurden seine Maschinen mit grossem Erfolg bei der Firma *P. N. Russel & Co* in Sydney gebaut und dienten hauptsächlich der Eiszeugung. Schon 1860 findet man Brauereikühlanlagen, die mit seinen Maschinen arbeiteten, in England und in Amerika. Dann widmete sich Harrison dem Gefrieren von Fleisch, um solches nach England exportieren zu können. Der 1873 in Melbourne durchgeführte Gefrier-versuch mit einer Stapeldauer von 6 Monaten verlief erfolgreich; dagegen misslang der erste, unmittelbar anschliessend durchgeführte Gefrierfleischtransport wegen Maschinendefekt, indem die ganze Ladung von 20 t Hammel- und Rindfleisch, die auf dem mit Kältemaschinen ausgerüsteten Segler «Norfolk» eingefroren und kühl gehalten

²⁾ SBZ Bd. 114, S. 13 (1. Juli 1939)

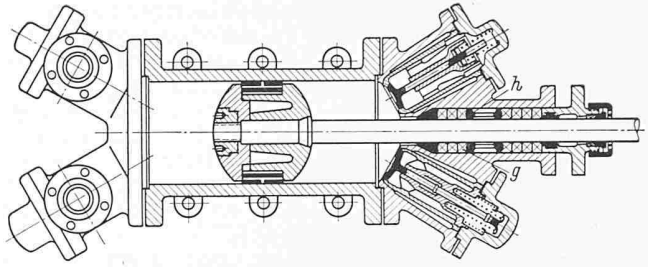


Bild 4. Erster liegender doppelwirkender Ammoniak-Kompressor von Linde aus dem Jahre 1877. g Stopfbüchspackung, h Laterne

wurden, bei der Ankunft in London unverkäuflich waren. Harrison hatte dabei sein ganzes Vermögen eingebüsst; er zog sich nun vom Geschäftsleben zurück und starb 1893 in Geelong.

Unabhängig von Harrison hat *Ferdinand Carré*, 1824 bis 1900, eine Kaltdampfmaschine für Aethyläther oder Schwefelkohlenstoff entwickelt und darauf am 27. Juni 1857 ein französisches Patent erhalten. Bemerkenswert sind die sorgfältige Durchbildung der Stopfbüchse sowie anderer konstruktiver Einzelheiten seiner Kompressoren. Hier ist auch *Charles Tellier* (1828—1913) zu nennen, der seit 1864 in Paris Kaltdampfmaschinen mit Methyläther entwickelte, in der Absicht, die Verdampfungsdrücke über dem Atmosphärendruck zu halten (+1,77 at abs. bei -10° ; 6,05 at abs. bei $+25^{\circ}$), im Gegensatz zu Aethyläther, bei dem die Drücke im ganzen System unter der Atmosphäre liegen und das Eindringen von Luft nur mit Schwierigkeiten verhindert werden konnte.

Die entscheidende Förderung erfuhr die Kältetechnik jedoch erst durch *Carl von Linde*, der am 11. Juni 1842 in Berndorf (Oberfranken) geboren wurde, 1861—64 am Eidgenössischen Polytechnikum in Zürich unter *Clausius* (Physik), *Zeuner* (theor. Maschinenlehre) und *Reuleaux* (Mechanik) Maschinenbau studierte und schon 1868 an die neu gegründete Technische Hochschule in München als Professor der Maschinenlehre berufen wurde. Seine erste, 1873/74 konstruierte Kältemaschine wurde 1875 in der Maschinenfabrik Augsburg ausgeführt; sie arbeitete mit Methyläther und wies zwei vertikale Kolben auf, deren Stangen durch eine Sperrflüssigkeit hindurch gingen, um deren Abdichtung zu erleichtern.

Schon seit 1874 befasste sich Linde mit der Entwicklung einer neuen Bauart für Ammoniak als Kältemittel. Die ersten Maschinen, die seit 1876 ebenfalls von der Maschinenfabrik Augsburg ausgeführt wurden und sich sehr gut bewährt hatten, wiesen zwei vertikale Zylinder mit einfachwirkenden Kolben auf, auf deren Unterseite sich eine Sperrflüssigkeit befand, Bild 3. Darauf ging Linde 1877 zur liegenden, doppelwirkenden Konstruktion mit kugelförmigem Kolben und in die Deckel eingebauten Ventilen über, bei der in die Stopf-

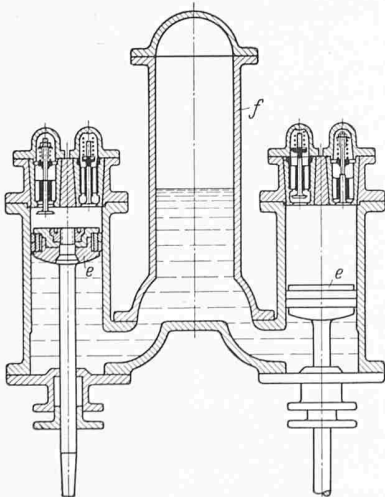


Bild 3. Erster stehender Ammoniak-Kompressor von Linde aus dem Jahre 1876. e Arbeitskolben, f Windkessel

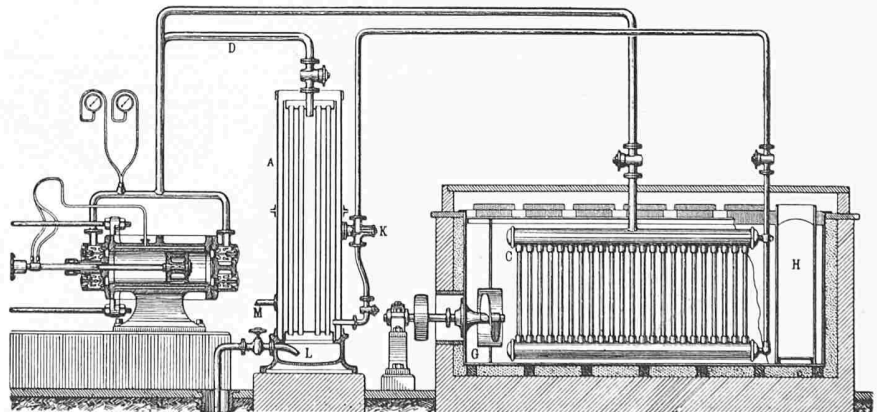


Bild 5. SO₂-Eismaschine von Raoul Pictet, Genf, aus dem Jahre 1874

A Kondensator, C Verdampfer, D Druckrohr, G Rührwerk, H Eiszelle, K Drosselventil, L Wassereintritt in den Kondensator, M Wasseraustritt

büchse ein mit Sperröl unter Saugdruck gefüllte Laterne eingebaut war, Bild 4. Damit hatte die Entwicklung jenen Stand erreicht, der die Ausführung im grossen erlaubte. Es kamen damals die Verträge mit der Maschinenfabrik Augsburg, mit Gebrüder Sulzer, Winterthur, mit Carels Frères (Belgien), mit Morton (England) und mit Fred. W. Wolf Co. in Chicago zustande. 1890 übernahm Linde die Führung der neugegründeten *Gesellschaft für Lindes Eismaschinen* in Wiesbaden, die er zu hoher Blüte brachte. Er starb 1934 im 93. Lebensjahr in München.

Neben Linde hat *David Boyle* (1837—1891) die Ammoniak-Kältemaschine wesentlich gefördert. Boyle wuchs in Johnstown, Schottland, auf, siedelte 1859 nach den Vereinigten Staaten von Amerika über und liess sich 1872 in New Orleans nieder. Im selben Jahr erhielt er sein erstes Patent, 1873 erzeugte er mit seiner ersten Maschine Eis, 1874 hochwertiges Klareis. 1877 wurde eine Maschine mit einer Kälteleistung von 60 000 kcal/h mit zwei stehenden einfachwirkenden Zylindern von 10'' Durchmesser und 18'' Hub in einer Brauerei in Chicago aufgestellt, bei der die Schmierung des Kolbens und die Oelabscheidung besonders sorgfältig durchgebildet waren.

In Genf baute 1874 *Raoul Pictet* seine erste Kältemaschine mit Schwefeldioxyd, Bild 5. Der liegende Zylinder sowie Kolben und Kolbenstange wiesen Wasserkühlung auf. Kondensator und Steilrohrverdampfer waren als moderne Hochleistungsapparate durchgebildet, wie sie erst rd. 45 Jahre später wieder aufkamen. 1876 wurde die erste Kunsteisbahn in Chelsea (England) angelegt, die mit SO₂-Maschinen von Pictet arbeitete. SO₂-Kältemaschinen wurden später besonders von Quiri & Co. in Strassburg und A. Borsig in Berlin gebaut und fanden seit etwa 1920 in der Kleinkältetechnik weite Verbreitung.

Als weiteres Kältemittel von grosser Bedeutung ist Kohlendioxyd zu nennen. Es ist geruchlos und weder giftig

noch brennbar. Diese Vorzüge sicherten ihm ausgedehnte Anwendungsgebiete für Schiffskühlung sowie in der Lebensmittelkonservierung, insbesondere bei Milch und Milchprodukten. Die Beherrschung der hohen Drücke setzte eine hochentwickelte Maschinenteknik voraus. Bemerkenswert sind namentlich die Stopfbüchskonstruktionen. In Europa baute 1881 *C. Linde* die erste CO₂-Maschine. Neben vereinzelt anderen Ausführungen hat vor allem der uns schon bekannte *F. Windhausen* in Berlin (1886) die Entwicklung gefördert. Nach seinen Patenten führten seit 1887 *L. A. Riedinger* in Augsburg, *J. & E. Hall* in Dartford (Kent), und *Escher Wyss & Cie.* in Zürich³⁾ Kohlensäure-Kühlanlagen aus.

Von andern Kältemitteln kamen vor allem dem Methylchlorid (erstmal 1878 von *Vincent* verwendet und seither von *Crespin & Marteau* erfolgreich eingeführt), ferner dem Aethylchlorid (vor allem in England) und später (1912) dem Stickoxydul (N₂O) für ganz tiefe Temperaturen eine gewisse Bedeutung zu. Aber erst die seit etwa 1930 in den Werken der *Kinetic Chemicals Inc.* in Wilmington (Del.), im grossen hergestellten Freone brachten eine tiefgreifende Umstellung, vor allem auf dem Gebiete der Kleinkältetechnik und der Klimatechnik. Die Anregung zu dieser Entwicklung ging von *Midgley, Henne* und *McNary* aus, die im Laboratorium der *Frigidaire-Gesellschaft* in Dayton (Ohio) arbeiteten und 1930 die Eignung verschiedener organischer Fluoride als Kältemittel erkannten.

Neben den Kolbenkompressoren fanden seit etwa 1920 verschiedene Bauarten von Umlauf-Kompressoren eine gewisse Verbreitung, besonders als Kleinkompressoren für Haushaltskühlschränke. Für grössere Leistungen (bis 30 000 kcal/h) verwenden seit etwa 1930 Gebrüder Sulzer in Winterthur Vielzellenverdichter für Ammoniak und neuerdings auch für Freon, während *Escher Wyss* in Zürich seit 1938 Schleif-

³⁾ SBZ Bd. 10, S. 153 (17. Dez. 1887)

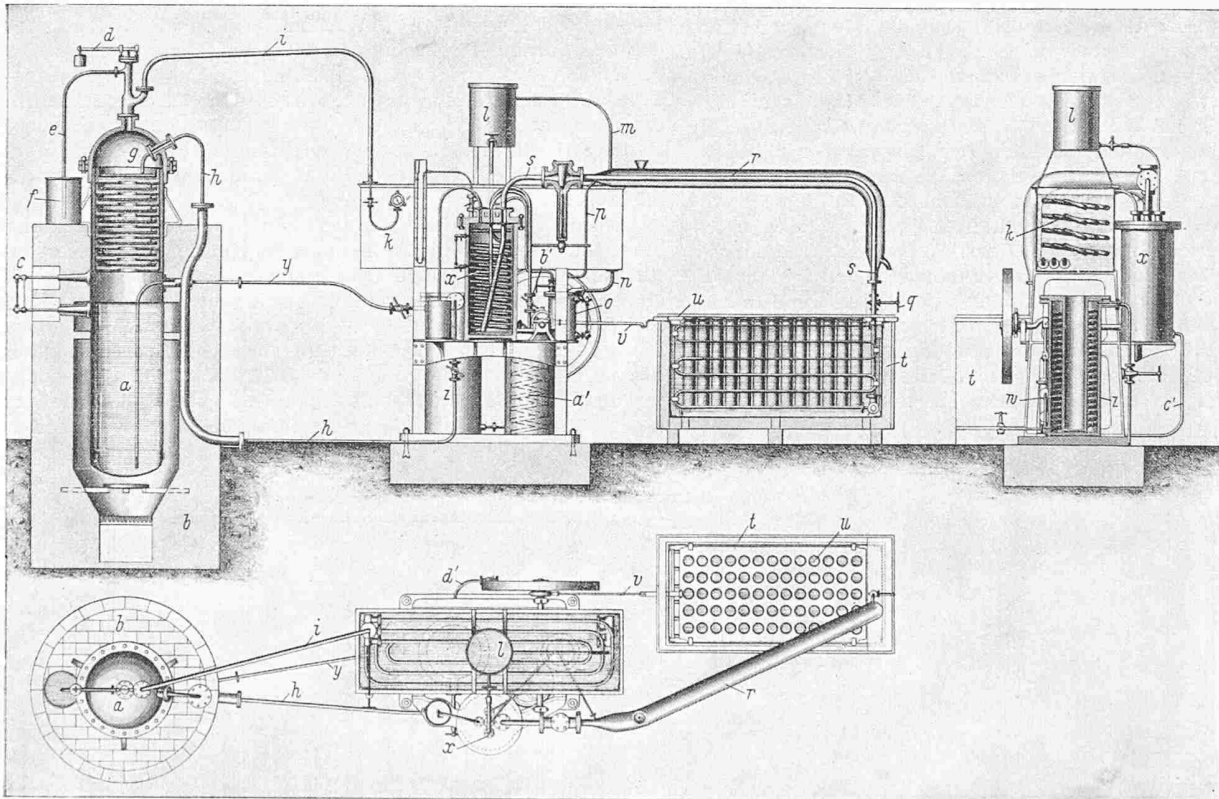


Bild 6. Ununterbrochen wirkende Absorptionsmaschine von F. Carré für 12 bis 200 kg Eis pro Stunde, erstmals auf der Weltausstellung in London 1862 gezeigt

- | | | | |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| a Kocher | i Verbindungsleitung zwischen Kocher | q Drosselventil | x Absorber |
| b Heizofen | und Kondensator | r Hülse (Wärmeaustauscher) | y Leitung für arme heisse Lösung |
| c Flüssigkeitsstandglas | k Tauchkondensator | s Leitung für verdampftes Ammoniak | z Wärmeaustauscher (Temperaturwechsler) |
| d Sicherheitsventil | l Kühlwasserbehälter | t Tauchverdampfer | a' Kühlbehälter |
| e Verbindungsrohr | m Kühlwasserleitung | u zylindrische Eiszellen | b' Drosselventil |
| f Wassertopf | n Ammoniakflüssigkeitsleitung | v Pleuelstange des Schwingungsmechanismus | c', d' Leitungen für die reiche Lösung |
| g Rektifikator | o Sammler | w Pumpe | |
| h Rückflussleitung | p Leitung zum Drosselventil | | |

kolbenkompressoren für Ammoniak und Freon bis zu den grössten Leistungen mit grossem Erfolg herstellen.

Die Anwendung von Turbokompressoren setzte ein geeignetes, in Dampfform genügend schweres Kältemittel voraus. Es war das Verdienst von *Carrier*, der das Problem 1911 aufgriff, die notwendigen Vorarbeiten durchgeführt und die ganze Entwicklung massgebend gefördert zu haben. Seine ersten Turbokompressoren arbeiteten mit Dichloräthylen ($C_2H_2Cl_2$); seit 1933 wählte er Freon 11 ($CFCl_3$), mit dem er für seine Klimaanlage mit zwei bis drei Stufen auskam. Carrier-Anlagen haben in den USA grösste Verbreitung gefunden. In Europa hat Brown Boveri & Co. in Baden 1926 eine erste Grossanlage mit Turbokompressoren für 6 Mio kcal/h bei -15° mit Ammoniak als Kältemittel ausgeführt. Später entwickelte diese Firma geschlossene Aggregate (Frigibloc), bei denen Kompressor, Motor, Kondensator und Solekühler in einem Gehäuse eingeschlossen sind⁴⁾. Diese Bauart ergab sich u. a. wegen der Verwendung giftiger Kältemittel (Aethylchlorid und Aethylbromid). Neuerdings wird F 11 bevorzugt. Auch Escher Wyss hat für einzelne Grosskälteanlagen Turbokompressoren verwendet.

4. Die Absorptionskältemaschine

Die starke Absorptionsfähigkeit konzentrierter Schwefelsäure für Wasserdampf scheint erstmalig von *Gerald Nairne* im Jahre 1777 beobachtet worden zu sein. 1810 führte *Sir John Leslie*, Professor der Mathematik und Physik in Edinburgh, den Prozess der Absorption von Wasserdampf durch Schwefelsäure unter Vakuum durch, und es gelang ihm, auf diese Weise Eis zu erzeugen. Der selbe Gedanke lag den Kühlapparaten zugrunde, die *Edmond Carré* seit 1850 baute und die mit einer einfachen Handpumpe zur Erzeugung des Vakuums ausgerüstet waren. *Franz Windhausen* versuchte 1878 die sich verdünnende Schwefelsäure durch Auskochen des Wassers in kontinuierlichem Betrieb zurückzugewinnen, wobei er auch vom Siemensschen Regenerativverfahren Gebrauch machte.

Die entscheidende Förderung erfuhr die Absorptionskältemaschine durch den bereits erwähnten *Ferdinand Carré* (1824—1900), der ein sehr vielseitiger Ingenieur war, und am 24. August 1859 sein grundlegendes Patent auf die Ammoniakabsorptionsmaschine anmeldete. Weitere Zusätze folgten bis Ende 1862. Darin beschreibt Carré zwei Arten von Maschinen, eine periodisch wirkende Maschine für kleine Leistungen und für den Gebrauch als Eiszeuger in Haushaltungen und eine in allen Einzelheiten sorgfältig durchgebildete ununterbrochen wirkende Maschine, die zum Vorbild für alle späteren Bauarten wurde. Eine solche Maschine für 12 bis 200 kg/h Eis wurde von Mignon und Rouart in Paris gebaut und erstmalig auf der Weltausstellung in London 1862 gezeigt (Bild 6). Sie wies alle wesentlichen Merkmale der modernen Absorptionsmaschine auf und stellt eine für den damaligen Stand der Erkenntnis bewunderungswürdige Leistung dar, die höchste Anerkennung verdient.

Carrés Ammoniakabsorptionsmaschine fand bald starke Verbreitung. In Deutschland wurde sie von *Vaass* und *Littmann* in Halle (später Halesche Maschinenfabrik), von *Oscar Kropf* in Nordhausen und von *Wegelin* und *Hübner* in Halle übernommen und teilweise beachtlich verbessert. In Frankreich bauten Mignon & Rouart, in England Reece & Stanley, Pontifex und Wood in London sowie in Australien Mort & Nicolle Carrésche Maschinen. 1867 hat Reece durch Einbau eines wirksamen Rektifikators eine wesentliche Verbesserung erzielt, während Stanley den mit Kohle beheizten Kocher durch einen dampfbeheizten ersetzte.

Während in Europa die Absorptionsmaschinen durch die grossartige Entwicklung der Kaltdampfmaschine bald stark in den Hintergrund gedrängt wurden, konnten sie sich in Amerika viel länger halten. Verschiedene bedeutende Maschinenbauunternehmungen bauten Absorptionsanlagen bis zu ganz grossen Leistungen, so die York Manufacturing Co. in York, Pa., die Carbondale Machine Co. in Carbondale, Pa., und die Henry Vogt Machine Co. in Louisville, Ky.

Der Gedanke, die Absorptionsmaschine mit billiger Abwärme zu betreiben, ist besonders von August Osenbrück und C. Sensesbrenner in Düsseldorf zielbewusst verfolgt worden und gab einen neuen Ansporn zum Bau und Betrieb solcher Kälteanlagen. Osenbrück hat 1895 auch eine Ver-

knüpfung des Absorptionsprinzips mit dem Kompressionsprinzip angestrebt. Gleichzeitig haben andere Ingenieure weitere Möglichkeiten, die sich durch das Arbeiten mit einem Zweistoffgemisch ergeben, auszunützen versucht; doch ist es erst Edmund Altenkirch 1913 gelungen, technisch verwirklichte Lösungen zu finden. Ganz besonders wirtschaftlich erscheinen seine Schaltungen mehrstufiger Absorptionsmaschinen, die in Deutschland für grosse Kälteleistungen von Rheinmetall-Borsig in Berlin-Tegel und in England von G. Maiuri ausgewertet wurden.

Zahlreiche Forscher bemühten sich, Ammoniak und Wasser durch andere Stoffpaare zu ersetzen, um den Druck zu verringern. Wesentlich fruchtbarer erwies sich ein Gedanke von *Hermann Geppert* in Karlsruhe 1899; Geppert versuchte, die Lösungspumpe, die den Druckunterschied zwischen Kocher und Absorber überwinden muss, durch Einführen eines nicht-kondensierbaren, neutralen Gases überflüssig zu machen, das sich in Verdampfer und Absorber sammelt, wo es durch seinen Partialdruck den Druckausgleich in der ganzen Apparatur bewirkt. Geppert wählte als neutrales Gas Luft, durch die aber das Ammoniak im Verdampfer nur sehr langsam diffundiert. Ein praktischer Erfolg blieb ihm versagt. Erst als *v. Platen* und *Munters* in Stockholm 1922 die Luft durch Wasserstoff ersetzten, entstand die bedeutungsvolle Absorptionsmaschine ohne bewegte Teile, die dann von der Firma Elektrolux in Stockholm als Haushaltkältemaschine zu hoher Vollkommenheit entwickelt wurde und heute auch von vielen anderen Firmen in grosser Zahl gebaut wird.

Periodische Absorptionsmaschinen mit festem Absorptionsmittel, die nach dem ersten Weltkrieg zu praktischer Bedeutung gelangten, haben eine interessante Entwicklungsgeschichte hinter sich. Ihre wissenschaftliche Grundlage stammt von *Michael Faraday* (1823), der zuerst Ammoniak auf pulverförmigem Silberchlorid absorbieren liess. *Ferdinand Carré* erkannte die Möglichkeit einer industriellen Verwertung, auf die er in seinen Patentschriften von 1859 hinwies, ohne sie aber weiter zu verfolgen. Erst 1912 haben A. W. Browne und R. P. Nichols wieder ein festes Absorptionsmittel für Ammoniak vorgeschlagen, und zwar Kupfersulfat. Im Jahre 1925 gelangten die «trockenen» Absorptionsmaschinen mit Kalziumchlorid- und Strontiumchloridammoniakaten in den Ausführungen der Siemens-Schuckert-Werke in Berlin zu industrieller Bedeutung.

Eigentlich sollte unser auszugsweiser Ueberblick durch die Geschichte der Erzeugung sehr tiefer Temperaturen und insbesondere durch jene der Luftverflüssigung ergänzt werden. Weiter wäre hier die äusserst aufschlussreiche historische Entwicklung der Kälteanwendung zu schildern, die Wesentliches zum Verständnis des heutigen Standes der Kältetechnik beiträgt. Wir müssen aus Raumgründen hierauf verzichten. Ueberblickt man die Entwicklung, die die Kältetechnik im ersten Jahrhundert ihres Bestehens durchlaufen hat, vergegenwärtigt man sich die Fülle von Ideen, die schrittweise Abklärung der thermodynamischen Gesetzmässigkeiten und der physikalischen Vorgänge, die geistige Beweglichkeit, die Kühnheit und den Wirklichkeitssinn, der sich in den konstruktiven Lösungen kundtut, das hohe Können der ausführenden Organe, z. B. in der Beherrschung der Abdichtungsfragen, dann die Auswirkungen dieser technischen Aktivität in fast alle Lebensbezirke hinein, so wird die ausserordentliche technische, wirtschaftliche und soziologische Bedeutung offenbar, die diesem verhältnismässig noch jungen Zweig moderner Ingenieurtechnik zukommt. Diese Bedeutung rechtfertigt sehr wohl die Herausgabe des «Handbuches der Kältetechnik», das zwölf Bände von je rd. 400 Seiten umfassen wird und ein literarisches Ereignis ersten Ranges darstellt. Es führt den Kälteingenieur in umfassender und vertiefter Weise in die Gesamtheit seines Aufgabenkreises ein. Die Geschichte der Kälteerzeugung und Kälteanwendung, über die hier auszugsweise berichtet wurde, gewährt Einblicke, die auch für weitere Kreise wertvoll sein dürften, liefert doch die schöne und umfassende Darstellung im «Handbuch» für das Verständnis unserer Zeit massgebliche Beiträge. Ein besonderer Vorzug liegt dabei in der neutralen Haltung gegenüber allen an der Entwicklung beteiligten Ländern. Tatsächlich durchbrach die Kältetechnik von Anfang an die politischen Grenzen nach allen Richtungen und zeigt sich als das Werk der ganzen westlichen Kulturwelt. A. O.

⁴⁾ SBZ Bd. 101, S. 192 (22. April 1933).